

இருபதாம் நூற்றாண்டு
இயல்பியல் வரலாறு

- கே.ரவி



வானவில் பண்பாட்டு மையம் வெளியீடு

இருபதாம் நூற்றாண்டு
இயல்பியல் வரலாறு

கே.ரவி, எம்.ஏ., எம்.ஃபில்., பி.எல்.

வானவில் பண்பாட்டு மையம்

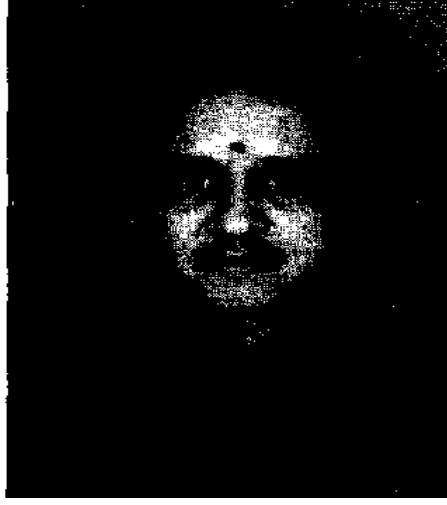
சென்னை

நூல் விவரம்

நூலின் பெயர்	: இருபதாம் நூற்றாண்டு இயல்பியல் வரலாறு
இரண்டாம் பதிப்பு	: டிசம்பர், 2002
பதிப்பகம்	: வானவில் பண்பாட்டு மையம்
செயல் அலுவலகம்	: 3 ஆவது தளம், ஓய்.எம்.சி.ஏ. கட்டடம், எண் : 223, என்.எஸ்.சி. போஸ் ரோடு, சென்னை - 600 001.
ஆசிரியர்	: கே. ரவி
அச்சகம்	: ஹை-டெக் ஆப்செட் (பி) லிட்., 1, அங்க முத்து நாயக்கன் தெரு, ராயப்பேட்டை, சென்னை - 600 014 தொலைபேசி - 8482697, 8484681
தாளின் தன்மை	: டபுள் டெமி 16Kg வெள்ளை தாள் அட்டை: Duplex White Back Board, கட்டு (பைண்டிங்): தையல்
எழுத்து	: 12 புள்ளி
பக்கங்கள்	: 304
நூலின் பொருள்	: அறிவியல்
உரிமை	: ஆசிரியருக்கே
விலை	: ரூ. 100/-

தெளிவுறவே அறிந்திடுதல் தெளிவுதர மொழிந்திடுதல்
சிந்திப் பார்க்கே
களிவளர உள்ளத்தில் ஆனந்தக் கனவுபல
காட்டல் கண்ணீர்த்
துளிவரஉள் ளுருக்குதல்இங் கிவையெல்லாம் நீயருளும்
தொழில்கள் அன்றோ
ஒளிவளரும் தமிழ்வாணீ அடியனேற் கிவையனைத்தும்
உதவு வாயே

மஹாகவி பாரதியார்



பள்ளிப் பருவத்திலேயே என் நெஞ்சில்
அறிவியல் வேட்கை வளரக் காரணமாய்
இருந்தும், இந்த நூலைப் படித்துப் பார்த்து
அறிவுரை வழங்கியும் உதவிய என்
இனிய நண்பன், 'ரேனே டி.ஆர். டப்ல்யூ'
என்ற நிறுவனத்தில் பொது மேலாளராக
பணியாற்றும் திரு. ச. ரவிக்கு இந்த நூலை
அன்புப் பரிசாகப் படைத்து மகிழ்கிறேன்.

06-11-2002

கே. ரவி

பொருளடக்கம்

முன்னுரை	1
1. ஒலிக்குறிப்பு விளக்கம்	5
2. ஐந்து படிகள்	7
3. முன்கதைச் சுருக்கம்	9
4. ஒரு புதிய ஊடுருவல்	18
5. ஒரு புதிய வெளிப்பாடு	24
6. அணுவைத் துளைத்து...	29
7. துளித்துளி...	37
8. அறிவியல் சித்து	44
9. அலை ஓய்ந்தது	47
10. தனிச்சார்புக் கொள்கை	52
11. அணுவா, அண்டமா?	65
12. பாயுமொளி நீயெனக்கு	71
13. வானம் வளைந்தது	79
14. ஐயத்தின் மையத்தில்	89
15. அலைகள் ஓய்வதில்லை	96
16. மரமா, மத யானையா?	101
17. எதிரும் புதிரும்	117
18. நிழல் நிஜமாகிறது	123

19.	சீரும் சிறப்பும்	131
20.	கதவு திறந்தது	141
21.	நிழற் பந்தாட்டம்	150
22.	கணிதமும் கமண்டலமும்	156
23.	விண்வெளி விருந்தாளிகள்	163
24.	இடமும் வலமும்	177
25.	ஒற்றையா, இரட்டையா?	184
26.	தூணிலும் உள்ளான் துரும்பிலும் உள்ளான்	192
27.	துகள் அரிச்சுவடி	211
28.	அலகிலா விளையாட்டு	215
29.	நேரம் தொடங்கிய நேரம்	220
30.	வியப்புரை	236
	வரலாற்றுப் படிகள்	238
	கலைச்சொற்கள்: அகர வரிசை தமிழ் - ஆங்கிலம்	253
	Glossary of Technical Terms English - Tamil	261
	துணைநூற் பட்டியல்	268
	விஞ்ஞானிகளின் பெயர்கள்: அகரவரிசை	274
	வரலாற்று நாயகர்கள்	287

முன்னுரை

‘அகர முதல எழுத்தெல்லாம் ஆதி
பகவன் முதற்றே உலகு.’

இருபதாம் நூற்றாண்டு அறிவியல் வரலாறாக இந்நூல் அமைய வேண்டும் என்ற ஆர்வமிருந்தும், இடம், காலம் போன்ற கட்டுப்பாடுகளால், ‘இயல்பியல்’ என்று குறிக்கப்படும் ஒருதுறையின் வரலாறாகவே இந்நூல் அமைய நேர்ந்தது. இந்நூலில், அடிப்படைக் கருத்துகளுக்கே முதலிடம் தரப்பட்டுள்ளது. அதாவது, ‘தொழில்நுட்பம்’ எனப்படும் துறைசார்ந்த கண்டுபிடிப்புகள் பற்றிய செய்திகள் இந்நூலில் அதிகம் இடம் பெறவில்லை. எடுத்துக்காட்டாக, இருபதாம் நூற்றாண்டில் பெரும் புரட்சி ஏற்படுத்திய கணினி¹ முதலான கண்டுபிடிப்புகள் பற்றிய செய்திகள் இந்நூலில் இடம்பெறவில்லை. இந்நூலில் இடம் பெறாமையால், அத்தகைய கண்டுபிடிப்புகளின் சிறப்பு, எந்த விதத்திலும் குறைத்து மதிப்பிடப்படுவதாகக் கொள்ளத் தேவையில்லை. எந்த அடிப்படைக் கேள்விகளில் இயல்பியற் சிந்தனை தோற்றம் கொண்டதோ, அந்த அடிப்படைக் கேள்விகளுக்கான விளக்கங்களை விரிவு செய்த நிகழ்ச்சிகளின் வரலாறாகவே இந்நூல் அமைந்துள்ளபடியால், தொழில்நுட்பப் புரட்சிகள் பற்றிய செய்திகள் இதில் தவிர்க்கப்பட்டுள்ளன. இந்த நூலாசிரியன் அறிந்தவரை, இந்நூலில் தரப்பட்டுள்ள செய்திகள் அனைத்தையும் உள்ளடக்கிய ஒரு நூல், தமிழில், இதுவரை வெளிவரவில்லை. மிகமுயன்று எழுதப்பட்ட இந்நூலிலும் சில செய்திகள் விடுபட்டிருக்க வாய்ப்புண்டு.

இருபது மாடிகள் கொண்ட மிக உயர்ந்த கட்டடமாக அறிவியல் வளர்ச்சியை உருவகம் செய்துகொண்டால், கி.பி. முதல் நூற்றாண்டிலிருந்து, பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டு இறுதிவரை, அக்கட்டடத்தின் முதல்தளம் மட்டுமே கட்டி முடிக்கப் பட்டதென்று சொல்லலாம்; மீதிப் பத்தொன்பது தளங்களும் இருபதாம் நூற்றாண்டில்தான் கட்டி முடிக்கப் பட்டன. இவ்வாறு ஓர் அதிவிரைவு வளர்ச்சி இருபதாம் நூற்றாண்டில் திடீரென ஏற்பட என்ன காரணம்? வெப்பம், ஒளி என்று பல விதங்களில் வெளிப்படும் ஆற்றலும், ஆற்றலால் மாற்றங்களுக்கு உள்ளாகும் பொருள்களும் வேறுவேறு என்றே கருதிக் கொண்டிருந்த நிலைமாறி, ஆற்றலும் பொருளும் அடிப்படையில் ஒன்றே என்ற ஒருமைப்பாட்டை மனிதன் உணரத் தொடங்கியதே இந்த வளர்ச்சிக்குக் காரணம்.

இருபதாம் நூற்றாண்டு இயல்பியல் வரலாற்றின் கதாநாயகன் (அல்லது கதாநாயகி) ‘அணு’தான். இப்படிச் சொல்வது கூடச் சரியில்லை. தமிழில் பாவேந்தர்

பாரதிதாசன் படைத்த 'அமைதி' என்ற நாவலில் வரும் 'மண்ணாங்கட்டி' என்ற பாத்திரத்தைப்போல் இந்த வரலாற்றில் ஒரே பாத்திரமாக மேடையை நிறைத்திருப்பவள், 'அணு'தான். எனவே, இந்நூல் ஒரு நூற்றாண்டு அணுவியல் வரலாறாகவே அமைந்துவிட்டது.

பிறமொழிகளில் தேர்ச்சியின்றித் தமிழ் மட்டுமே அறிந்தவர்களுக்குக் கூட அறிவியல் நுட்பங்களை விளக்குவதே இந்நூலின் அடிப்படை நோக்கம். உயர்நிலைப் பள்ளி மாணவர்கள் கூடப் புரிந்துகொள்ளக் கூடிய நடையில் இந்நூல் எழுதப்பட்டுள்ளது. இந்நூலில் கையாளப்பட்டுள்ள கலைச்சொற்களின் தமிழ்வடிவம் பற்றி இந்த முன்னுரையில் சில குறிப்புகள் தரவேண்டியுள்ளது.

தமிழ் மட்டுமே அறிந்தவர்க்குக் கூடக் கடினமான தமிழில் இந்நூல் அமைந்துவிடக் கூடாது என்ற கவனம் ஒருபுறம்; தமிழில், கலைச்சொல் தட்டுப்பாடு கிடையாது என்பதை உலகறியச் செய்யவேண்டும் என்ற ஆர்வம் ஒருபுறம். வேறு விதமாகச் சொல்லப் போனால், நடையெளிமை, மொழிவளம் என்ற இரண்டுமே இணைந்திருக்கும் வண்ணம் இந்நூல் அமையப் பெறவேண்டும் என்பதே நூலாசிரியரின் விருப்பம். எடுத்துக்காட்டாக, 'பௌதிகம்' என்பதைப் 'பொருண்மையியல்' என்று தமிழில் அழைக்கவே மொழிவளத்தில் உள்ள ஆர்வம் தூண்டியது. ஆனால், 'இயல்பியல்'² என்றே அது அழைக்கப்பட்டுப் பெரும்பாலும் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட பிறகு, அதை அப்படியே பயன்படுத்த வேண்டும் என்று நடையெளிமையில் உள்ள ஆர்வம் தூண்டியது. வென்றது, எளிமையார்வம். பல சமஸ்கிருதச் சொற்கள் வழக்குத் தமிழில் விரவித் தமிழ்ச் சொற்களாகவே ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டுவிட்டன. எடுத்துக்காட்டாக 'காரணம்', 'மனம்', 'மூலம்' போன்ற சொற்களைத் தமிழாக்கம் செய்யத் தேவையில்லை என்பது நூலாசிரியரின் கருத்து. ஆனால், அப்படிப்பட்ட சொற்களிலும், சில சொற்களுக்கு ஈடான தமிழ்ச் சொற்கள் வழக்கில் உள்ளன. அந்த நிலையில், தமிழ்ச் சொற்களையே பயன்படுத்துவது பொருத்தம். எடுத்துக்காட்டாக, 'உதாரணமாக' என்ற சொல் வழக்கில் இருந்தாலும் அது தவிர்க்கப்படலாம்; தக்க இடங்களில், 'அவசியம்' என்ற சொல்லுக்கு ஈடாகத் 'தேவை' என்ற தமிழ்ச்சொல் உதவக்கூடும்.

இன்னொரு குறிப்பு. தமிழறிஞர்கள் பலர், அறிவியற் கலைச்சொற்களைத் தமிழில் தந்துள்ளனர். அரசின் உதவியோடு கலைக்களஞ்சியங்களும், அறிவியற் களஞ்சியங்களும் வெளியிடப் பட்டுள்ளன. ஆனால், அவற்றை நோக்காமலேயே இந்நூல் முழுதும் எழுதி முடிக்கப்பட்டது. அப்படி எழுதி முடிக்கப்பட்ட பிறகு, பிறர் செய்துள்ள

கலைச்சொல் ஆக்கங்கள் ஒப்புமைக்காக நோக்கப்பட்டன. எங்கெல்லாம், இந்த நூலாசிரியர் பயன்படுத்திய சொற்களைக் காட்டிலும், பிறர் தந்துள்ள கலைச்சொற்கள் பொருத்தமாக நூலாசிரியருக்குத் தோன்றியதோ, அங்கெல்லாம் பிறர் உதவிய கலைச்சொற்களே பொருத்தப்பட்டன. மற்ற இடங்களில் நூலாசிரியருக்குத் தோன்றிய சொல்லாக்கங்களே தரப்பட்டுள்ளன. பிறர் செய்துள்ள கலைச் சொல்லாக்கங்களை அறிந்துகொண்ட பிறகு நூல் எழுதப்பட்டால், நூலாசிரியருக்கு இயல்பாகத் தோன்றக் கூடிய சொல்லாக்கங்கள் தோன்றாமல் போய்விடக் கூடுமோ என்ற அச்சமே இப்படிச் செய்யத் தூண்டியது. இதற்கு முன் தமிழில் கலைச்சொற்களை உருவாக்கியுள்ள அறிவாளர்களுடைய உழைப்பும் உணர்வும் போற்றத் தக்கவையே. கலைச்சொற்களைத் தமிழில் அப்படியே மொழிபெயர்க்காமல், அச்சொற்கள் என்ன கருத்தை, அல்லது, கருத்தீட்டைப்³ புரியவைக்க வேண்டுமோ அந்தக் கருத்துக்கு, அல்லது, கருத்தீட்டுக்குத் தகுந்த தமிழ்ப்பெயர் தரும் முயற்சியே இந்நூலில் மேற்கொள்ளப்பட்டுள்ளது.

தமிழ்மொழிப் பெயர்களைப் பிறர் சிதைக்கும்போது ஏற்படும் வருத்தம், எந்த மொழிச்சொல் சிதைக்கப்பட்டாலும் ஏற்பட வேண்டும் என்ற உணர்வோடு, பிறமொழிப் பெயர்ச்சொற்களின் மூல ஒலிக்குறிப்புகள் சிதைவடையாமல் எழுதும் முயற்சி, நூல் முழுதும் மேற்கொள்ளப்பட்டுள்ளது. பிறமொழிச் சொற்களின் மூல ஒலிக்குறிப்புகள், அந்தந்த மொழி அறிந்தவர்களிடம் கேட்டறிந்தபடித் தரப்பட்டிருந்தாலும், சில இடங்களில் தவறு நேர்ந்திருக்க வாய்ப்புண்டு. தவறுகள் திருத்தப்பட வேண்டியவையே. மேலும், பிறமொழிகளின் ஒலிக்குறிப்புகளையெல்லாம் எழுதிக் காட்டத் தற்போது வழக்கில் உள்ள தமிழ் எழுத்து வடிவங்கள் போதுமானவையாக இல்லை என்பதால், புதிய ஒலிக்குறிப்புகளுக்குப் புதிய எழுத்து வடிவங்களை உருவாக்கிக்கொள்ள வேண்டியதாயிற்று. அப்படிச் செய்யும் பொழுது, முற்றிலும் புதிய வடிவங்களைப் புகுத்த முயலாமல், ஏற்கனவே இருக்கும் வடிவங்களில் சில மாற்றங்கள் செய்வதன் மூலம் புதிய ஒலிக்குறிப்புகளை அறிமுகம் செய்வதே பொருத்தமாகத் தோன்றியது. அதற்கேற்பவே, இந்நூலின் தொடக்கத்தில், ஒலிக்குறிப்பு விளக்கம் ஒன்று தரப்பட்டுள்ளது.

விறுவிறுப்பான கதைபோல அறிவியல் வரலாற்றைச் சொல்ல முற்பட்டால், படிப்போர்க்குச் சுவையாக அது அமையக் கூடும். ஆனால் அந்த முயற்சியில் நூலின் அளவு இருமடங்காகப் பெருகலாம். மேலும், படிப்பவர் கவனம், அடிப்படைக் கருத்தோட்டத்தை விட்டு விலகி, நடையிலும், சுற்றுச் செய்திகளிலும் சிதறிவிடலாம். எனவே, இயல்பியல் வரலாற்றை அறிந்துகொள்ள வேண்டும் என்ற நாட்டம் உள்ளவர்க்கே இந்நூல் பயன்படும். இந்நூலில் சில இடங்கள், இரண்டு, மூன்று முறை படித்துப் பார்த்துச்

சிந்தித்தால் மட்டுமே புரியக்கூடியவையாக இருக்கக் காரணம், அவ்விடங்களில் சொல்லப்பட்டுள்ள கருத்தோட்டங்களின் புதுமையும் நெளிவு சுளிவுகளுமே. கணித வழியிலேயே அறிவியல் கருத்தோட்டம் பெரும்பாலும் வளர்ந்து, வெளிப்பட்டதால் உயர்கணிதப் பயிற்சியின்றி அறிவியல் வரலாற்றை எளிதில் விளங்கிக்கொள்ள இயலாத நிலை உருவாகியுள்ளது. கூடுமானவரை கணிதச் சமன்பாடுகள் இந்நூலில் தவிர்க்கப் பட்டுள்ளன. தவிர்க்க முடியாத இடங்களில், மிக எளிமையாகவே கணிதம் பயன்படுத்தப் பட்டுள்ளது. அதுவும், 9-ஆம் வகுப்புக்குத் தேவையான கணிதப் பயிற்சியுள்ளோர் கூடப் புரிந்துகொள்ளக்கூடிய வண்ணமே கணிதம் இந்நூலில் கையாளப்பட்டுள்ளது.

08.12.1996 அன்று வானவில் பண்பாட்டு மையத்தின் பாரதி விழாவில் இன்று இந்தியக் குடியரசுத் தலைவராக இருக்கும் மேதகு டாக்டர் ஏ.பி.ஜே. அப்துல் கலாம் அவர்களுக்கு பாரதி விருது வழங்கப்பட்டபோது எழுந்த கிளர்ச்சி, அன்றிரவே இந்நூல் எழுதத் தொடங்கத் தூண்டுகோலாய் அமைந்தது. அன்று தொடங்கி 1999-ஆம் ஆண்டு இந்நூல் எழுதி முடிக்கப்பட்டது.

இந்த நூல் பொழுதுபோக்குக்காகப் படிப்பதற்கன்று. ஆழப் படித்துச் சிந்தித்து, அறிவை விரிவாக்கிக்கொள்ளும் முனைப்புடன் படிக்கப்பட வேண்டிய நூல் இது. இயற்கையின் ஒரு கூறான மனித அறிவு, முழுமையான இயற்கையைப் புரிந்துகொள்ளும் அளவு எப்படி விரிய முனைகிறது என்ற சுவையான வரலாற்றை இந்நூல் சுமந்து வருகிறது. படிப்பவர் அறிவில் இந்த வரலாறு பதிக்கும் சுவடுகள், ஒளிமிசுந்த சுடர்களாக மாறி, உண்மையை நோக்கிச் செல்லும் மானுடப் பயணத்திற்கு உதவ வேண்டும் என்று இயற்கையாகவே விரிந்தியங்கும் பராசக்தியை இறைஞ்சுவோம்.

குறிப்புகள்:

1. 'கணிப்பொறி' என்பது பிழை. வினைத்தொகையில் வல்லினம் மிகாது. ஆனால், 'கணிப்பொறி' என்பதில் ஒலிநயம் இல்லை. எனவே, 'கணினி' என்ற சொல்லே இந்நூலில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.
2. இயல்பு + இயல் = இயல்பியல். 'இயற்பியல்' என்பது சரியில்லை.
3. 'கருத்தீடு' என்பது 'கான்ஸெப்ட்' (concept) என்ற ஆங்கிலச் சொல்லுக்கு ஈடானது.

1. ஒலிக்குறிப்பு விளக்கம்

(பிறமொழிப் பெயர்களைக் குறிப்பதற்கு மட்டும்)

1. சில இடங்களில் அழுத்தம் அதிகமாக, அல்லது கனமாக, உச்சரிக்கப்பட வேண்டிய ஓர் எழுத்து, வேறுசில இடங்களில் அழுத்தம் அல்லது கனம் குறைவாக உச்சரிக்கப்பட வேண்டியிருக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக, 'சங்கம்' என்ற சொல்லில் 'க' என்ற எழுத்து சற்று கனமாகக் கூடுதல் அழுத்தத்துடன் உச்சரிக்கப்பட வேண்டும். ஆனால், 'கலை' என்ற சொல்லில் 'க' என்ற எழுத்து கனம் குறைவாக உச்சரிக்கப்பட வேண்டும். இவ்வாறு கனமாக உச்சரிக்கப்பட வேண்டிய வல்லின எழுத்துகள் 'போல்ட்' (**BOLD**) என்று ஆங்கிலத்தில் குறிக்கப்படும் அழுத்தமான வரிவடிவத்திலும், கனம் குறைவாக உச்சரிக்கப்பட வேண்டிய வல்லின எழுத்துகள் சாதாரண வரிவடிவத்திலும் இந்நூலில் தரப்பட்டுள்ளன. எடுத்துக்காட்டுகள்:

டிமொக்ரிடஸ் (Democritus); பெல் (Bell).

'கனம்' என்ற சொல்லிலும் 'க' என்ற ஒலி இப்படித்தான் என்றாலும் அந்தச் சொல்லில் 'க' என்ற எழுத்துக்கு அழுத்தம் தரப்படவில்லை; காரணம், இந்த நூலில் பிறமொழிப் பெயர்களைக் குறிப்பதற்கு மட்டுமே இந்த ஒலிக்குறிப்பு விளக்கம் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது.

2. பிறமொழிப் பெயர்களில் விரவிவரும் முக்கியமான சில ஒலிக்குறிப்புகளுக்குத் தக்க வரிவடிவங்கள் தமிழில் இல்லை. எடுத்துக்காட்டாக, 'அணு' என்பதன் ஆங்கிலப் பெயரான 'ஆட்டம்' என்பதை இப்படியே எழுதினால் இதற்கும், 'ஆடுதல்' என்பதைக் குறிக்கும் 'ஆட்டம்' என்பதற்கும் வேறுபாடு இல்லாமல் போய், தமிழே ஆட்டம் கண்டுவிடும். ஏறும்புக்கு ஆங்கிலப் பெயரான 'ஆன்ட்' என்பதில் முதல் எழுத்தாகிய 'ஆ', ஆங்கிலத்தில் எப்படி உச்சரிக்கப்படுகிறது என்பதைக் கேட்டறிந்து கொண்டால்தான், 'அணு' என்பதன் ஆங்கிலப் பெயரான 'ஆட்டம்' என்பதையும் சரியாக உச்சரிக்க முடியும். அந்த ஒலி 'அ' என்பதற்கும், 'ஆ' என்பதற்கும் இடைப்பட்ட நெடில் ஒலி. இந்த நூலில் வரும் சில பிறமொழிப் பெயர்களில் இத்தகைய ஒலி தேவைப்படுவதால் அந்த ஒலியைக் குறிக்க, 'இட்டாலிக்ஸ்' என்று ஆங்கிலத்தில் சொல்லப்படும் சாய்ந்த எழுத்துகள் இந்நூலில் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. எடுத்துக்காட்டுகள்:

ஆட்டம்ஸ் (Atoms); மேக்ஸ்வெல் (Maxwell).

3. தமிழைப் பொறுத்தவரை சொற்களின் இறுதியில் மட்டுமே குற்றியலுகரங்கள் வரும். ஆனால், பிற மொழிச் சொற்களின் தொடக்கத்திலும் நடுவிலும் கூடக் குற்றியலுகரங்கள் வரக்கூடும். அப்படி வரும் குற்றியலுகரங்களைக் குறிக்க, அந்த எழுத்துகளுக்கு முன் 'என்ற வடிவம் இந்த நூலில் தரப்பட்டுள்ளது. எடுத்துக்காட்டுகள்:

'அரிஸ்டாட் 'டுல்' (Aristotle); ஹப் பல் (Hubble).

அதேபோல் அகர ஒலியும் பிற மொழிகளில் சற்றே குறுகி வரும். முத்து என்பதைக் குறிக்கும் ஆங்கிலச் சொல்லைத் தமிழில் 'பேர்ல்' என்று எழுதி அப்படியே படித்தால் அது சரியில்லை. இந்தச் சொல்லில் வரும் முதல் ஒலி 'பேய்' என்ற சொல்லில் உள்ளதைப் போன்றதில்லை. எனவே அந்த ஆங்கிலச் சொல்லை வேறுவிதமாக உச்சரிக்க வேண்டும் என்பதை உணர்த்த, அதைத் தமிழில் 'பர்ல்' (PEARL) என்று எழுதும் முறை இந்த நூலில் கையாளப்பட்டுள்ளது. எடுத்துக்காட்டுகள்:

'ஜர்மனி' (Germany) ; ஹைஸன்'பர்க்' (Heisenberg).

4. 'ஜ்' என்ற ஒலியுடன் 'ஸ்' என்ற ஒலி இணைந்தது போன்ற ஓர் ஒலி சில இடங்களில் தேவைப்படக்கூடும். இந்த ஒலி, ஆங்கிலத்தில், 'Z' என்ற எழுத்து மூலம் குறிக்கப் படுகிறது. 'ஜ்' என்ற எழுத்தை அடுத்து * என்ற வடிவம் வருமிடங்களில் மேற்சொன்னவாறு உச்சரிக்க வேண்டும். எடுத்துக்காட்டுகள்:

'ஸ்விட் 'ஜ்'ர்லென்ட்' (Switzerland) ; ஜீனோ (Zeno).

2. ஐந்து படிகள்

அறிவியல் வரலாற்றை விளங்கிக்கொள்ள முதலில், அறிவியல் முறை பற்றி அறிந்துகொள்ள வேண்டும்.

'பார்த்தல்' என்றால் என்ன? இது மிகவும் எளிய கேள்வியாக முதலில் தோன்றலாம். ஆனால் இதற்கு விடை காண்பது அவ்வளவு எளிதில்லை. ஒரு வடிவத்திலிருந்து வெளிப்படும் ஒளியோ, ஒரு வடிவத்தைத் தாக்கி மீளும் ஒளியோ ஒருவருடைய விழித்திரைகளில் பட்டு அதிர்வுகள் ஏற்படுத்தியதுமே, அந்த வடிவத்தை அவர் பார்த்து விட்டார் என்று சொல்ல முடியுமா? 'என்னப்பா, பார்த்தும் பார்க்காதது போலப் போகிறாய்' என்ற கேள்வியை அன்றாட வாழ்வில் அடிக்கடி கேட்கிறோம்; கேள்விப்படுகிறோம். சாலையில் நடந்து போகும்போது சாரிசாரியாகப் பலர் நம்மைக் கடந்து செல்கிறார்கள். அவர்களில் ஒருவர் நம்மை மறித்து, மேற்கண்ட கேள்வியை கேட்கக்கூடும். அவருடைய 'உடல்' என்ற வடிவத்தைத் தாக்கி மீண்ட ஒளிக்கற்றைகள் நம் விழித்திரைகளைத் தாக்கி அதிர்வுகள் ஏற்படுத்தி இருக்கலாம். அவர் நமக்கு ஏற்கனவே அறிமுகம் ஆகியிருக்கலாம். ஆனாலும், நாம் அவரை அறிந்துகொள்ளாமல் கடந்து செல்ல முற்படலாம். அதற்குக் காரணம், நம் விழித்திரைகளில் தோன்றும் அதிர்வுகள் அனைத்தையும் நாம் கவனிப்பதில்லை என்பதே. கவனம் கலந்தாலன்றிப் பொருள்- விழித் தொடர்பு மட்டுமே 'பார்த்தல்' என்ற முழுமையான இயக்கம் ஆவதில்லை. பார்த்தலுக்கு மட்டுமன்றி கேட்டல், உண்ணுதல், உயிர்த்தல், உற்றறிதல் ஆகிய மற்ற புலனுக்கர்ச்சிகளுக்கும் கவனம் தேவைப்படுகிறது. சில நேரங்களில், அருகில் உள்ள ஒருவரை இரண்டு மூன்று முறை அழைத்தும், அவர் கவனமின்றி இருத்தலை அன்றாட வாழ்வில் நிறைய எதிர்கொள்கிறோம். என்ன உண்டோம் என்றறியாமல் உண்ணுதலும், சில நேரங்களில் நடக்கக் கூடியதுதான். 'மூச்சுக் காற்றை கவனி' என்று ரமண முனிவர் போதித்துள்ளார். தூங்கிக் கொண்டிருப்பவனைப் பலமுறை தட்டியும் எழுந்திருக்காமல் இருப்பது ஓர் இயல்பு நிகழ்ச்சியே. எனவே, ஐந்து வகைப்பட்ட புலனுக்கர்ச்சிகளில் எதுவுமே கவனச் சார்பின்றி முழுமை அடைவதில்லை. ஐந்து புலனுக்கர்ச்சிகளையும் தனித்தனியே நுகரத் தருபவை ஐந்து பொறிகள் எனப்படும். அவை மெய், வாய், கண், மூக்கு, செவி எனப்படும். பொருள்-பொறித் தொடர்பைப் பொருளுள்ள புலனுக்கர்ச்சியாக அறிவுக்கு அறிமுகப்படுத்துவது கவனமே எனத் துணியலாம்.

கவனம் கலந்த முழுமையான புலன் நுகர்ச்சியைப் 'புலத்தேர்வு' எனலாம். பல்வேறு நுகர்ச்சிகளில் ஒன்றையோ, சில நுகர்ச்சிகளையோ மட்டும் தேர்ந்தெடுத்துத் தனிமைப்படுத்தி நோக்குவதே கவனம். அப்படித் தேர்ந்தெடுக்கப்படும் புலப்பாடே,

‘புலத்தேர்வு’. அன்றாட வாழ்வில் இதைக் ‘கண்காணிப்பு’ என்ற சொல்லால் குறிக்கிறோம். ‘மருத்துவக் கண்காணிப்பில் இருத்தல்’ என்று சொல்வது அன்றாட வழக்கில் உண்டு. ஆனால் அறிவியல் நூலில் ‘கண்காணிப்பு’ என்ற வழக்குச் சொல்லைப் பயன்படுத்துவதில் சிக்கல் ஏற்படக்கூடும். ‘பரிசோதனைக் கூடத்தில் அறிவியல் நிகழ்வு ஒன்றை ஒருவர் கண்காணித்தார்’ என்று சொல்வதில் சற்று நெருடல் ஏற்படுகிறது. மேலும், ஓர் ஒலியையோ, நாவால் நுகரும் சுவை ஒன்றையோ, ஒருவர் கண்காணித்தார் என்று சொல்ல முடிவதில்லை. எனவே ஐம்பொறிகள் மூலம் ஏற்படும் நுகர்ச்சிகளுக்கும் பொதுவாகப் ‘புலத்தேர்வு’ என்று சொல்வதே பொருத்தம்.

புலத்தேர்வு செய்யப்பட்ட நுகர்ச்சிகளைப் ‘புலத்தெரிவுகள்’ எனலாம். தெரிந்து கொள்ளப் படுவது தெரிவு. புலன்களின் மூலம் தெரிந்துகொள்ளப் படுவது புலத்தெரிவு.

புலத்தேர்வு மூலம் கிடைக்கப்பெறும் புலத்தெரிவுகளைப் பகுத்தும் தொகுத்தும் ஓர் அமைப்பின் கீழே கொண்டு வருவதை ‘அமைவொழுக்கம் செய்தல்’, அல்லது சுருக்கமாக, ‘அமைவு செய்தல்’ எனலாம். ‘அமைப்பு’ என்ற சொல் வேறு பொருளிலும் பயன்படுவதால் (அமைப்பு = நிறுவனம்), அது தவிர்க்கப்பட்டு, ‘அமைவு’ என்ற சொல் இங்கே பயன்படுத்தப்படுகிறது.

அமைவு செய்யப்பட்ட புலத்தெரிவுகளிடையே உள்ள தொடர்புகளை விளக்கக் கூடிய அறிவியல் கூற்று ஒன்றை அனுமானம் செய்துகொள்ள வேண்டியது அறிவியல் முறையின் அடுத்த நடவடிக்கை. அனுமானம் என்பதைத் ‘துணிவு’ எனச் சொல்லலாம். ‘யூகம்’ எனப்படும் அடிப்படையற்ற கணிப்பாக இல்லாமல், சான்றுகளின் அடிப்படையில் எடுக்கப்படும் ஒரு தற்காலிக முடிவே துணிவு. இன்னும் இறுதியாக நிறுவப்படாதபோதும், சான்றுகளின் அடிப்படையில் துணியப்பட்ட முடிவாதலால், அது ‘துணிவு’ எனப்படுகிறது.

ஒரு துணிவு, பரிசோதனைகளுக்கு உட்படுத்தப்பட்டு, ஐயமின்றி நிறுவப்பட்டதும், அதுவே ‘தீர்வு’ எனப்படுகிறது. இப்படிப் பெறப்படும் தீர்வுகளே முடிவான அறிவியற் கூற்றுகளாய் அமைகின்றன.

எனவே, ‘தேர்வு’, ‘அமைவு’, ‘துணிவு’, ‘சோதனை’, ‘தீர்வு’ என்ற ஐந்து படிகளையும் கடந்து சென்றுதான் எந்த அறிவியல் கண்டுபிடிப்பும் நிகழ முடியும்.

3. முன்கதைச் சுருக்கம்

'இருபதாம் நூற்றாண்டு இயல்பியல் வரலாறு' என்று தலைப்பிடப் பட்டிருந்தாலும், 01.01.1896 என்ற நாளைத் தொடக்கப் புள்ளியாகக்கொண்டே இந்நூல் எழுதப்படுகிறது. இதற்குக் காரணம், இருபதாம் நூற்றாண்டின் இயல்பியல் வளர்ச்சிக்கெல்லாம் வித்தாக அமைந்த ஒரு கண்டுபிடிப்பு, 01.01.1896 அன்று வெளியிடப்பட்டதே. அன்றுதான், எக்ஸ் கதிர்கள் கண்டுபிடிப்பைப் பற்றிய ஆய்வுத்தாளின் முன்பதிப்பு, அக்கதிர்களைக் கண்டுபிடித்த ரொன்ட்கென் என்பவரால் வெளியிடப்பட்டது. 1895-ஆம் ஆண்டு, நவம்பர் மாதமே ரொன்ட்கென் எக்ஸ் கதிர்களைக் கண்டுபிடித்திருந்தாலும், உலகுக்கு அது அறிவிக்கப் பட்டது 01.01.1896 அன்றுதான்¹. இந்தக் கண்டுபிடிப்பு, மிகப்பெரிய அறிவியல் முன்னேற்றத்துக்குக் காரணமாக அமைந்ததை ரதர் 'ஃபர்ட்' என்ற முன்னணி அறிஞர் 'நாற்பதாண்டு இயல்பியல்' என்ற தலைப்பில் ஆற்றிய பேருரையின் தொடக்கத்தில் குறிப்பிட்டுள்ளார்². ஐந்து புலன்களுக்கும் உட்படாத ஒன்றை, அது புலப்படுத்தும் விளைவுகளைக் கொண்டே நிறுவ முடியும் என்பதை 'எக்ஸ் கதிர்' கண்டுபிடிப்பு உணர்த்தியது. இருபதாம் நூற்றாண்டின் அறிவியல் புரட்சிக்கு அந்தக் கண்டுபிடிப்பே தளம் அமைத்துத் தந்தது. எனவே, எக்ஸ் கதிர்கள் கண்டுபிடிப்பைத் தொடக்கப் புள்ளியாகக் கொண்டு இந்நூல் எழுதப்படுகிறது. அதைப் பற்றி அறிய முற்படுவதற்கு முன், 1895-ஆம் ஆண்டு இறுதியில் இயல்பியல் என்ன நிலையில் இருந்தது என்பதை விளங்கிக்கொள்ள முற்படலாம்.

கடந்த நூற்றாண்டில், இயல்பியலைப் பொறுத்தவரை, இரண்டு விதமான ஆய்வுகள் பரவலாக மேற்கொள்ளப்பட்டிருந்தன. ஒன்று, மூலப்பொருள் ஆய்வு; இன்னொன்று, ஒளித்தன்மை ஆய்வு.

மூலப்பொருள் ஆய்வு, பெரும்பாலும் வேதியியல் ஆய்வாளர்களாலேயே மேற்கொள்ளப்பட்டது. ஆனால், இந்த ஆய்வின் விளைவுகள் இயல்பியல் வளர்ச்சிக்குப் பெரிதும் உதவின. ஒளித்தன்மை ஆய்வு, பெரும்பாலும் இயல்பியல் ஆய்வாளர்களாலேயே மேற்கொள்ளப்பட்டும், அதன் விளைவுகள் வேதியியல் வளர்ச்சிக்குப் பெரிதும் பயன்பட்டன.

புலப்படும் பொருள்கள் அனைத்தும் சில அடிப்படை மூலப்பொருள்களால் ஆனவை என்ற கருத்தே மூலப்பொருள் ஆய்வின் தொடக்கம். கல், மரம், நாற்காலி, பொன், வைரம், எழுதுகோல், யூனிக் கோளம் போன்ற ஏராளமான பொருள்கள் உலகில் உள்ளன. எல்லாப் பொருள்களுக்குமே அடிப்படையாக ஒரு மூலப்பொருள்

உண்டோ? அத்தகைய மூலப்பொருளை வேறுவேறு அளவுகளிலும் வேறுவேறு விதங்களிலும் அடுக்கி வைத்தே மற்ற பொருள்களெல்லாம் உருவாக்கப்பட்டனவோ? இந்தக் கேள்விகளுக்கு விடைகாணும் முயற்சியே 'மூலப்பொருள் ஆய்வு'. அப்படிப்பட்ட அடிப்படையான மூலப்பொருள் ஒன்று உண்டு என்ற கருத்து மிகவும் பழமையானது. இரண்டாயிரத்து நானூறு ஆண்டுகளுக்கு முன்பே இக்கருத்து, லெய்ஸிபஸ் என்ற க்ரேக்க அறிஞரால் முன்மொழியப் பட்டது. அதற்கு அடுத்த நூற்றாண்டிலேயே டிமாக்ரிடஸ் என்ற க்ரேக்க அறிஞரால் அது மேலும் விரித்துரைக்கப்பட்டது. அடிப்படை மூலப்பொருள்களுக்கு 'ஆட்டம்ஸ்' எனப் பெயரிட்டவர் அவரே. இதுவே, தமிழில் 'அணு' எனப்படுகிறது. 'பொருள்களெல்லாம் அணுக்களால் ஆனவை' என்ற கூற்று ஆங்கிலத்தில் 'அடாமிஸம்' எனப்படுகிறது. இதைத் தமிழில் 'அணுக்கொள்கை' எனச் சொல்லலாம். டிமாக்ரிடஸ் காலத்துக்குப் பிறகு பல நூற்றாண்டுகள் இக்கொள்கை மேலும் விரிவு செய்யப்படாமல் அப்படியே இருந்தது. 'நிலம், நீர், காற்று, நெருப்பு' என அடிப்படைப் பொருள்களை நான்காகப் பகுத்து, எம்பேடக்லீஸ் என்ற க்ரேக்க அறிஞர் சொன்னதை மேலும் விரிவாக்கி, அரிஸ்டாட் 'டுல்' என்ற புகழ்மிக்க க்ரேக்க அறிஞர் வகுத்த கொள்கையே இரண்டாயிரம் ஆண்டுகள் அறிவியல் சிந்தனையை வழிநடத்தி வந்தது. பதினேழாம் நூற்றாண்டில், ராபர்ட் பாய்ல் என்பவரும், ஸர் ஐஸக் நியூட்டன் என்பவரும் அணுக்கொள்கை பற்றிக் குறிப்பிட்டிருந்தும், பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டுத் தொடக்கத்தில் தான், ஜான் டால்டன் என்பவரால் அக்கொள்கை ஒரு தெளிவான அறிவியல் துணிபாக வடிவம் பெற்றது.

டால்டன் காலத்துக்கு முன்பே பொருள்கள் மூன்று வகைகளாகப் பகுக்கப் பட்டிருந்தன. பொருள்களில் சில அடிப்படையானவை. எந்தப் பொருள், புலப்பாட்டு எல்லைக்கு உட்பட்டுப் பிளவுபடப் பிளவுபட, அப்பொருளாகவே பிரிகிறதோ அது அடிப்படைப் பொருள். வேறு விதமாகச் சொல்லப் போனால், எந்தப் பொருளில் இருந்து, புலப்படக்கூடிய வேறு பொருள் பிரிக்கப்பட முடிவதில்லையோ அதுவே அடிப்படைப் பொருள்; சுருக்கமாக, 'அடிப்பொருள்' என்று சொல்லலாம். அடிப்பொருள்கள் தவிர மற்ற பொருள்கள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அடிப்பொருள்களால் ஆனவை. இத்தகைய மற்ற பொருள்கள் இரண்டு வகைப்படும். அடிப்பொருள்கள் இணையும் முறையாலும், அவற்றைப் பிரிக்க மேற்கொள்ளப்படவேண்டிய முறையாலும் வேறுபட்டு, இரண்டு வகைப் பொருள்களாக அவை அமைகின்றன: கூட்டுப் பொருள்கள், ஒருவகை; கலவைகள், இன்னொருவகை.

எடுத்துக்காட்டாக 'ஃபாஸ்' ஃபரஸ்', என்று ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படும் பொருள், ஓர் அடிப்படைப்பொருள். சட்டென்று தீப்பற்றிக்கொள்ளும் தன்மை கொண்ட அதைப் 'பொறியியம்' என்று தமிழில் அழைக்கலாம். பொறியிய வில்லையொன்றை வெட்டவெட்ட, அது மேலும்மேலும் சின்னஞ்சிறிய பொறியிய வில்லைகளாகப் பிளவுபடுமேயன்றி, அதிலிருந்து வேறுபட்ட பொருளாக அது மாறுவதேயில்லை. இவ்வாறாக, எவ்வளவு நுட்பமாகப் பிளவுபட்டாலும், வேறு பொருளாகத் திரிபடையாத பொருள்களே அடிப்பொருள்கள். நீரை எடுத்துக் கொள்வோம். அதுவும் வேறுபொருளாகத் திரிபடையாத அடிப்பொருள் என்றே தோன்றினாலும், உண்மையில் அப்படியில்லை; காரணம், 'ஆக்ஸிஜன்' என்று ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படும் 'உயிரியம்' என்ற வளிமமாகவும், 'ஹைட்ரஜன்' என்று ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படும் 'நீரியம்' என்ற வளிமமாகவும் நீரைப் பிரித்து விட முடியும். எனவே அது ஓர் அடிப்பொருள் இல்லை; அது ஒரு கூட்டுப் பொருள். ஆனால் நீரை 'உயிரியம்' என்ற வளிமமாகவும், 'நீரியம்' என்ற வளிமமாகவும் பிரிப்பது அவ்வளவு எளிதில்லை. சோதனைக் கூடத்தில் தக்க சாதனங்கள் மூலம் மின்சாரம் பாய்ச்சித்தான் நீரை அவ்வாறு பிரிக்க முடியும். அவ்வாறு இல்லாமல் எளிதாகப் பிரிக்கப்படக்கூடிய பொருள்கள் 'கலவைகள்' எனப்படும். அரிசியில் கல் கலந்திருந்தால் சல்லடையின் உதவியோடு எளிதில் பிரித்துவிட முடிகிறது. மேலும், அரிசியும் கல்லும் இணைந்து ஒரே பொருளாக ஆவதில்லை. எனவே, அப்படி இணைந்திருக்கும் பொருள்கள் 'கலவை' என்ற வகையைச் சேர்ந்தது.

அடிப்பொருள்கள் பற்றிய ஒரு விளக்கமாகவே டால்டன் வகுத்த அணுக்கொள்கை அமைந்திருந்தது. அக்கொள்கை, பின்வரும் கூற்றுகளால் ஆனது:-

1. அடிப்பொருள்கள் அனைத்தும் அணுக்களால் ஆனவை.
2. அணுக்கள், மேலும் பிளக்கப்படவோ பிரிக்கப்படவோ முடியாதவை.
3. ஓர் அடிப்பொருளின் அணுக்கள் எல்லாம் ஒரே எடை கொண்டவை.
4. ஓர் அடிப்பொருளின் அணுக்கள், மற்ற அடிப்பொருள்களின் அணுக்களிலிருந்து எடையில் வேறுபட்டவை. அதாவது, ஒரே எடையுள்ள அணுக்களுடன் வேறு வேறு அடிப்பொருள்கள் இருக்க முடியாது.

இக்கொள்கையை மேலும் விரிவு செய்து, அடிப்பொருள்களின் அணுப்பட்டியலை ரஷ்ய வேதியியல் அறிஞர், மின்டிலேயெஃப் என்பவர் 1868 -

ஆம் ஆண்டில் வெளியிட்டார். இன்றும் அறிவியற் கூடங்களில் இவர் வெளியிட்ட பட்டியல்தான், சிறிய மாற்றங்களுடன், காட்சி தருகிறது. கிட்டத்தட்ட அதே காலகட்டத்தில், ஏறக்குறைய அதே போன்ற ஒரு பட்டியலை, மையர் என்ற ஜர்மன் அறிஞரும் வெளியிட்டிருந்தார்.

இவ்வாறாக, மூலப்பொருள் ஆய்வு வளர்ந்திருந்த அதே நேரத்தில் ஒளி பற்றிய ஆய்வு என்ன நிலையில் இருந்தது என்பது நோக்கத் தக்கது.

ஒளி என்பது என்ன? அதுவும் பொருள்களால் ஆனதா? அதன் தன்மைகள் என்னென்ன? இக்கேள்விகள் தொன்றுதொட்டே பலராலும் கேட்கப்பட்டு வந்தன. குறிப்பாக, 'ஒளி என்பது, தனித்தனித் துகள்களால் ஆனதா, அன்றித் தொடரலைகளால் ஆனதா?' என்ற கேள்வி அடிக்கடி எழுந்தது. இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்கு முற்பட்ட க்ரேக்க மெய்யியல் வரலாற்றில், பைத்தாகரஸ் என்ற அறிஞரின் கருத்துப் பள்ளியைச் சேர்ந்தவர்கள் இக்கேள்வி பற்றி ஒரு கருத்தை அறிவித்திருந்தனர். விழிக்குப் புலப்படும் பொருள்களில் இருந்து சிறுதுகள்கள் அணிவகுத்து வெளிப்படுவதே 'ஒளி' என்பது அவர்கள் கருத்து. ஆனால் அரிஸ்டாட்டுலோ, 'ஒளி' என்பது அலைபோல் வெளிப்படுவதாகவே கருதினார். தனித்தனித் துகள்களால் ஆனதே ஒளி கூற்றைத் 'துகள் கூற்று' என்றும், அலைகளால் ஆனதே ஒளி என்ற கூற்றை 'அலைக்கூற்று' என்றும் அழைக்கலாம். இவையிரண்டும் ஒளி பற்றிய கூற்றுகளே என்பதை விளக்க, இவற்றை, 'ஒளித்துகள் கூற்று' என்றும், 'ஒளியலைக் கூற்று' என்றும் முறையே குறிப்பிடலாம். இவ்விரண்டு கூற்றுகளில் எது சரி என்ற வாதம் பதினேழாம் நூற்றாண்டில் உச்சகட்டத்தை அடைந்தது. ஹிகென்ஸ், ராபர்ட் ஹூக் ஆகியோர் ஒளியலைக் கூற்றை நிறுவ முயன்றனர். ஆனால் அந்த நூற்றாண்டின் மிகச் சிறந்த சிந்தனையாளரான, ஐஸக் நியூட்டன் என்பவரோ ஒளியலைக் கூற்றை மறுத்து, ஒளித்துகள் கூற்றுக்கு ஆதரவாக ஆய்வுத்தாள்களும் நூலும் வெளியிட்டார். 1675-ஆம் ஆண்டு, தாம் நிகழ்த்திய ஓர் ஆய்வுரையில், இருகூற்றுகள் பற்றியும் பொதுவாகக் குறிப்பிட்டுவிட்டு, ஒளித்துகள் கூற்றைத் தாம் ஆதரிப்பதுபோல் நியூட்டன் குறிப்பிட்டிருந்தார். மேக்ஸ்வெல் போன்ற அறிஞர்களின் கோட்பாடுகளில் இருந்து, வெறுமை எனக் கருதப்பட்ட வெட்டவெளியாகிய அண்டப் பெருவெளி, மெய்யாகவே, வெறுமையாக இருக்க முடியாது என்றும், அது 'ஈத்தர்' என்றழைக்கப்பட்ட நுட்பமான ஊடகத்தால் ஆனதாக இருக்கவேண்டும் என்றும், ஒருவித அறிவியல் துணிபு, அந்தக் காலகட்டத்தில் நிலவியது. ஈத்தர் என்பதே, இந்த நூலில் 'நுண்புலம்' என்று குறிக்கப்படுகிறது. இப்பொழுது நியூட்டன் வெளியிட்ட கூற்றை நோக்கலாம்:

ஒளி என்பது நுண்புலமோ அதன் அதிர்வசைவோ இல்லை. அது வேறு வகையைச் சேர்ந்தது; தெளிவான பொருள்களில் இருந்து வெளிக்கிளம்பி வருவது. பலவிதப்பட்ட அலைத்தன்மைகளின் கூட்டுப் பொருளாக அதைச் சிலர் கருதக்கூடும். ஒளிரும் பொருள்களில் இருந்து, கற்பனைக்கு எட்டாத நுட்பமும் விரைவும் உடையனவாய்ப் பல அளவுகளில் வெளிக்கிளம்பும் துகள்களின் கூட்டாக அதை வேறுசிலர் கருதக்கூடும்... ஓர் இயக்க விதியால் இத்துகள்கள் தொடர்ந்து முன்னோக்கி உந்தப்படுகின்றன. நீரில் விழச்செய்யப்படும் பொருள்கள் எப்படி முதலில் விரைவுபெற்று, நீரின் எதிர்ப்பாற்றல் புவியீர்ப்பாற்றலுக்கு நிகராகும் வரை விரைகின்றனவோ, அப்படியே இத்துகள்கள், மேற்சொன்ன இயக்க விதியால் விரைவுபெற்று, நுண்புலத்தின் எதிர்ப்பாற்றல் அந்த விதியின் உந்தாற்றலுக்கு நிகராகும் வரை விரைகின்றன³.

இருபத்தொன்பது ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு, 1704-ஆம் ஆண்டில், ஒளித்துகள் கூற்றே சரி என்று நியூட்டன் திட்டவட்டமாக அறிவித்திருந்தார்:

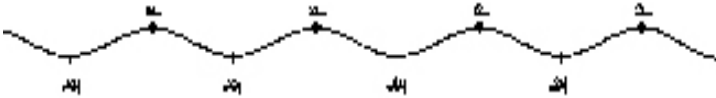
ஒளிரும் பொருள்களில் இருந்து வெளிப்பட்டு வரும் சிறுதுகள்கள் அல்லவோ ஒளிக்கதிர்கள்? காரணம், அவை ஒரே வகைப்பட்ட ஊடகங்களில் நிழல்களாய் மடங்கிவிடாமல் நேர்க்கோடுகளாய்க் கடந்து செல்கின்றன. இதுதானே ஒளிக்கதிர்களின் தன்மை...⁴

நியூட்டனுக்குப் பிறகு கிட்டத்தட்ட 75 ஆண்டுகள் ஒளித்துகள் கூற்று அதிகம் மறுக்கப் படாமலேயே இருந்து வந்தது. ஆனால் பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில், தாமஸ் யங் என்பவரால் நிகழ்த்தப்பட்ட ஒரு பரிசோதனை, ஒளியலைக் கூற்றை நிறுவக்கூடியதாக அமைந்தது.

யங் காலத்துக்கு முன்பே க்ரிமால்தி என்ற அறிஞர் ஒளி பற்றி ஒரு பரிசோதனை நிகழ்த்தியிருந்தார். அச்சோதனையில், ஒரு கீற்றுத்துளை வழியாகச் செலுத்தப்பட்ட ஒளிக்கதிர்கள், மறுபுறத்தே, அடர்ந்த கற்றையாக வெளிப்படாமல், விரிந்து பரவித் தோன்றிய நிகழ்வை அவர் புலத்தேர்வு செய்தார். மேலும், ஒளிக்கதிர்கள் விளைவிக்கும் நிழல்கள் தெளிவின்றி நெளிவு சுளிவுகளோடு காணப்படும் நிகழ்வையும் பல சோதனைகளில் அவர் புலத்தேர்வு செய்திருந்தார்.

ஒளியின் தோற்றமூலம் சிறியதாக இருந்தாலும் பெரியதாக இருந்தாலும், ஒளியின் நிழல் தெளிவின்றியே அமைந்திருந்ததை அச்சோதனைகளில் அவர் புலத்தேர்வு செய்திருந்தார். அந்த நிகழ்வுகளின் காரணம் அவருக்கு விளங்கவில்லை. இருந்தாலும், அறிவியல் மரபுக்கேற்ப, இந்த நிகழ்வுக்குத் தக்க பெயரொன்றை அவர் சூட்டினார். அப்பெயரை, 'அலைபரவுதல்' என்று தமிழில் விளங்கிக் கொள்ளலாம். சில ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு, யங் நிகழ்த்திய பரிசோதனையின் முடிவு, அந்த நிகழ்வை விளக்குவதாக அமைந்தது. அவர் நிகழ்த்திய சோதனை, 'இருதுளைச் சோதனை' எனப்படும்.

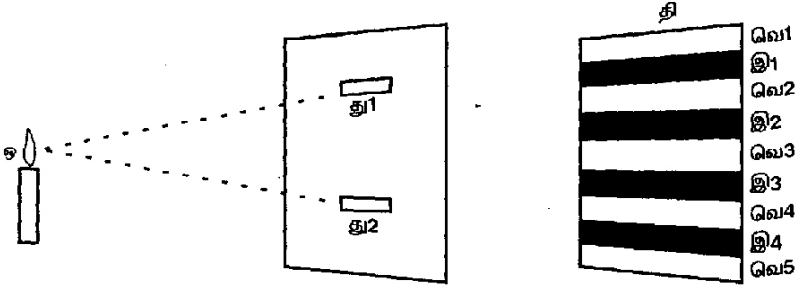
அருகருகே இரண்டு கீற்றுத்துளைகள் கொண்ட, ஒளிபுகா அட்டை அல்லது தகடு ஒன்றை ஓர் ஒளிமூலத்தின் எதிரில் நிறுத்தி, அந்த மூலத்தில் இருந்து புறப்பட்டு வரும் ஒளிக்கதிர்கள், அவ்விரு துளைகள் வழியாகச் சென்று, அட்டையின் மறுபுறம் உள்ள திரையில் படர்வதைப் புலத்தேர்வு செய்வதே அச்சோதனையின் செய்முறையாகும். ஒளி, அலைத்தன்மை உடையதானால், ஒரு துளைவழியாக ஒரு தடுப்பின் மறுபுறம் ஒளி செலுத்தப்படும்போது, மறுபுறத்தில் 'அலைபரவுதல்' என்ற விளைவு நிகழவேண்டும். இதைத்தான் க்ரிமால்தியின் ஒருதுளைச் சோதனை நிறுவியிருந்தது. யங் நிகழ்த்திய இருதுளைச் சோதனையில் இருதுளைகள் வழியாகவும் அலைபரவுதல் நிகழ்ந்திருக்க வேண்டும். இருதுளைகளும் அருகருகே அமையப் பெற்றதால், ஒரு துளையில் இருந்து புறப்பட்டுப் பரவும் அலைகளும், இன்னொரு துளையில் இருந்து புறப்பட்டுப் பரவும் அலைகளும் ஆங்காங்கே சந்திக்கக் கூடுமல்லவா? அப்படி அலைகள் சந்தித்துக் கொள்ளும்போது என்ன நேரும்? இரண்டு விதமான விளைவுகள் ஏற்படும் என்று நீர்லைகளைக் கொண்டு நிகழ்த்தப்பட்ட சோதனைகள் நிறுவியிருந்தன. இவ்விளைவுகளைப் பற்றித் தெரிந்துகொள்ள, முதலில் அலைகளின் அமைப்பை விளங்கிக்கொள்ள வேண்டும்.



(படம் 1)

மேலே காட்டப்பட்டுள்ள அலையில், 'உ' என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்பட்டுள்ள பகுதிகளை 'அலையுச்சிகள்' அல்லது 'அலைமுகடுகள்' என்று சொல்லலாம். 'அ' என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்பட்டுள்ள பகுதிகளை 'அலையடிவாரங்கள்' எனலாம். இரண்டு அலைகள் சந்தித்துக்கொள்ளும் நிகழ்வை 'அலைக் குறுக்கீடு'

எனப் புரிந்துகொள்ளலாம். அலையுச்சியும் அலையுச்சியும் பொருந்துமாறோ, அடிவாரமும் அடிவாரமும் பொருந்துமாறோ நிகழும் அலைக்குறுக்கீட்டை 'நேர்க்குறுக்கீடு' என்றழைக்கலாம். அவ்வாறன்றி, உச்சியும் அடிவாரமும் பொருந்துமாறு நிகழும் குறுக்கீட்டை 'முரண்குறுக்கீடு' எனக் கொள்ளலாம். ஏற்கனவே நிறுவப்பட்டிருந்த விதிகளின்படி, நேர்க்குறுக்கீட்டினால், ஈரலைகளும் சேர்ந்து ஒரு பேரலையாகும் அலைப்பெருக்கம் உண்டாகும்; முரண்குறுக்கீட்டில், ஈரலைகளும் ஒன்றையொன்று எதிர்த்துச் சமன்செய்வதால் அலையின்மை விளையும். அலைத்தன்மை கொண்டதாக ஒளி இருக்குமானால் இருதுளைச் சோதனையில், இருதுளைகள் மூலமும் ஏற்படும் அலைபரவுதலில், அலைகள் சந்தித்துக்கொண்டு, மேற்சொன்னவாறு, அலைப்பெருக்கம், அலையின்மை, ஆகிய இரண்டு விளைவுகளைத் தோற்றப் படுத்த வேண்டும். இதைப் புலத்தேர்வுக்கு உட்படுத்துவதே இருதுளைச் சோதனையின் நோக்கம்.



(படம் 2)

'ஒ' என்ற ஒளிமூலத்தில் இருந்து புறப்படும் ஒளிக்கதிர்கள், 'அ' என்ற அட்டையில் உள்ள 'து1', 'து2' ஆகிய இரண்டு கீற்றுத்துளைகள் வழியே நுழைந்து, அட்டையின் மறுபுறம் சென்று, 'தி' என்ற திரையைத் தாக்குவதாக இச்சோதனை வடிவமைக்கப்படலாம். 'தி' என்ற திரை முழுதும் வெளிச்சமாகாமல், படத்தில் காட்டியுள்ளபடி 'வெ1', 'வெ2', 'வெ3', 'வெ4'... என வெளிச்சப் பகுதிகளும், இடையிடையே, 'இ1', 'இ2', 'இ3', 'இ4'... என இருண்ட பகுதிகளும் திரையில் காட்சிதரும். 'ஒளி' என்பது, துகள்களின் அணிவகுப்பாக இருக்குமேயானால் இப்படி நிகழ வாய்ப்பில்லை. ஒளி, அலைத்தன்மை கொண்டிருக்குமேயானால் இப்படித்தான் நிகழும். 'து1', 'து2' ஆகிய துளைகளில் இருந்து புறப்பட்ட ஒளி, துகள்களாக இருக்குமானால், 'து1', 'து2' ஆகியவற்றுக்கு நேர்க்கோட்டில் திரையில் அமைந்த இரண்டு பகுதிகள் மட்டுமே வெளிச்சமாக

இருக்கவேண்டும். ஒளி அலைத்தன்மை கொண்டதானால், 'து1', 'து2' ஆகிய துளைகளில் தலா ஓர் அலை வெளிப்பட்டுத் திரையின் மையப் பகுதியைத் தாக்க, அது 'வெ3' என்ற வெளிச்சப் பகுதியாக அமையும். 'வெ3' -ன் இருபுறத்தும் உள்ள 'இ2', 'இ3' ஆகிய இரண்டு பகுதிகள் ஏன் இருண்டிருக்க வேண்டும்? அப்பகுதிகளை ஒளி ஏன் தாக்கவில்லை? ஏன் 'வெ2', 'வெ4' ஆகிய பகுதிகளில் ஒளி படர வேண்டும்? 'து1', 'து2' ஆகிய இரு துளைகளில் இருந்தும் வெளிப்படும் ஒளியலைகள், ஒன்றையொன்று சந்தித்துக் கொண்டு எங்கெல்லாம் நேர்க்குறுக்கீடு கொள்கின்றனவோ, அங்கெல்லாம் அலைப்பெருக்கம் ஏற்பட்டு. அந்த இடங்கள் வெளிச்சப் பகுதிகளாகவும், எங்கெல்லாம் அலை முரண்குறுக்கீடு கொள்கின்றனவோ, அங்கெல்லாம் அலையின்மை ஏற்பட்டு, அந்த இடங்கள் இருண்ட பகுதிகளாகவும் அமையப் பெறுகின்றன. தக்க கணித விதிகளின்படி, வெளிச்சப் பகுதிக்கும் இருப்பகுதிக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவும், ஒளிமூலம் விடுக்கும் ஒளியலைகளின் அலைநீட்டமும், எப்படி ஒன்றோடொன்று தொடர்புகொண்டவை என்பதை அறியக்கூடிய வாய்ப்பை, இச்சோதனை வழங்கியது. இச்சோதனை மூலம், யங் ஒளியலைக் கூற்றை நிறுவினார். ஆனாலும் ந்யூட்டனுடைய செல்வாக்கின் காரணமாக, ஒளியலைக் கூற்று, பெரும் வரவேற்பைப் பெறவில்லை. பிறகு, ஃபெய் ஷேல் என்பவர் தலைமையில் ஃப்ரெஞ்ச் அறிஞர் குழு ஒன்று பல சோதனைகள் மூலம் ஒளியலைக் கூற்றை மேலும் உறுதிப்படுத்தியது. புலப்படும் ஒளிமட்டும் அன்றி, மின்சாரமும் காந்தசக்தியும் கூட அலைத்தன்மையோடு பரவுகின்றன என்று, 1864 - ல், ஜேம்ஸ் க் லர்க் டீலக்ஸ்வெல் என்ற பரிட்டிஷ் அறிவியல் வல்லுநர், நிறுவினார். இதுவே 'மின்காந்தக் கோட்பாடு' எனப்படும். ஒளி, மின்சாரம், காந்தம் ஆகிய மூன்றுமே 'ஈத்தர்' எனப்படும் ஒரு நுண்புலப் பரப்பின் அலைகளே என்றும், அவை அலைநீட்டங்களில் மட்டுமே வேறுபட்டவை என்றும், அவர் வகுத்த கணித முறைப்பாடு காட்டியது. இதற்குப் பிறகு ஒளியலைக் கூற்றே சரி என்று அறிவியல் உலகம் ஏற்றுக் கொண்டது.

இதுவரை சொன்னவற்றில் இருந்து, பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில், இயல்பியலில் இரண்டு கூற்றுகள் உறுதியாக நம்பப்பட்டன என்று தெளிவாகிறது. ஒன்று, அணுக்கொள்கை: பொருள்கள் அனைத்தும், மேலும் பிளக்க முடியாத 'அணுக்கள்' என்ற சிறுதுகள்களால் ஆனவை என்ற கூற்று. இன்னொன்று, ஒளியலைக் கொள்கை: 'ஒளி' என்பது துகள்களால் ஆனதில்லை; அது அலைகளாகப் பரவுவதே என்ற கூற்று. இவ்விரண்டு கூற்றுகளுமே முற்றிலும் சரியல்ல என்று காட்டப்பட்டதுதான், இருபதாம் நூற்றாண்டின் மிகப்பெரிய அறிவியல் புரட்சியாக அமைந்தது.

குறிப்புகள் :

1. Abraham Pais, “*Inward Bound*”, Clarendon Press, Oxford, 1986, page 36-38.
2. “*Forty years of physics*”, as quoted in “*Background to Modern Science*”, ed. Joseph Needham and Walter Pagel, Cambridge University Press, London, 1938, page 48.
3. இந்த ஆய்வுத்தாள், 1675-ஆம் ஆண்டில், ‘ராயல் சொசைடி’ என்ற கழகத்தில் படிக்கப்பட்டு, 1704-ஆம் ஆண்டில், நியூட்டன் வெளியிட்ட ‘ஆப்டிக்ஸ்’ என்ற நூலில் சேர்க்கப்பட்டது. Opticks, Fourth English Edition, Dover, New York, 1952.
4. *The Principia*, Reprint, [translation by Andrew Motte], Prometheus Books, New York, 1995.

4. ஒரு புதிய ஊடுருவல்

எக்ஸ்-கதிர்கள் பற்றிய ஆய்வுத்தாளின் நகலை, ரொன்ட்கென் என்ற அறிவியல் பேராசிரியர், 01.01.1896 அன்று உலகுக்கு வெளியிட்டார். அந்தக் கண்டுபிடிப்புக்கான பரிசோதனைகள், 1895 நவம்பர், டிசம்பர் மாதங்களில் நிகழ்த்தப்பட்டன என்று தெரிய வருகிறது. அப்பொழுது ரொன்ட்கெனுக்கு ஐம்பது வயது. 'ஐர்மனியில் உள்ள வுஸ் 'பர்க் என்ற நகரில் இயல்பியல் பேராசிரியராக அவர் பணிசெய்து கொண்டிருந்தார். பலர் பார்த்தும் பார்க்காமல் விட்டுவிட்ட ஒரு நிகழ்வை அவர் புலத்தேர்வு செய்து, பரிசோதனைக்கு உட்படுத்தியதன் மூலம் எக்ஸ் கதிர்களைக் கண்டுபிடித்தார்.

மின்சார வெளிப்பாடு நிகழும் குழாய்களுக்கு அருகில் வைக்கப்பட்ட புகைப்படத் தகடுகளில் புகைபடர்ந்து, அத்தகடுகள் வீணான நிகழ்வுகளை அறிவியல் சோதனையாளர் பலர் பார்த்திருந்தனர். தங்கள் சோதனைகளுக்கு நேர்ந்த இடர்ப்பாடுகளாகவே, அந்த நிகழ்வுகளை, அவர்கள் கருதினர். அப்படி நிகழக் காரணம் என்ன என்று வினவும் அளவுக்கு அந்த நிகழ்வுகளில் அவர்கள் கவனம் செலுத்தவில்லை. முதன்முதலாக, ரொன்ட்கென் மட்டுமே, அதில் கவனம் செலுத்தி, அத்தகைய நிகழ்வுகளைப் புலத்தேர்வு செய்து, பரிசோதனைக்கு உட்படுத்தினார்.

'கேதோட் ரேஸ்' என்று ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படும் எதிர்மின் கதிர்கள் பற்றிய பரிசோதனை ஒன்று நிகழ்த்தியபோதுதான், ரொன்ட்கென் எக்ஸ் கதிர்களைக் கண்டுபிடித்தார். மின்சக்தி இருவகைப் பட்டது. ஒன்று, 'நேர்மின் சக்தி'; இன்னொன்று, 'எதிர்மின் சக்தி'. அன்றாட வழக்கில் 'ஊட்ரி' என்று அழைக்கப்படும் மின்கலனில் இரண்டு முனைகள் உண்டு. ஒன்றை 'நேர்முனை' என்றும், இன்னொன்றை 'எதிர் முனை' என்றும் அழைக்கலாம். மின்கலன் ஒன்றின் நேர்முனையில் இருந்து மின்கயிறு மூலம் இணைக்கப்பட்ட ஒரு கம்பியையும், அதன் எதிர்முனையில் இருந்து அவ்வாறே இணைக்கப்பட்ட ஒரு கம்பியையும், நீர் அல்லது ஏதேனும் ஒரு நீர்மம் (திரவம்) நிரம்பிய தொட்டிக்குள் நுழைத்தால் ஏற்படும் நிகழ்வை 'மின்விடுபாடு' என்று அழைக்கலாம். மின்கலனின் நேர்முனையோடு மின்கயிறு மூலம் இணைக்கப்பட்ட கம்பியை 'நேர்மின் செலுத்தி' என்றும், எதிர்முனையோடு அவ்வாறு இணைக்கப்பட்ட கம்பியை 'எதிர்மின் செலுத்தி' என்றும் அழைக்கலாம். சாதாரணமாக, மின்சாரச் சீர்நிலையில் இருக்கும் அணுக்கள், மின்சாரம் பாய்ச்சப்பட்டால், எதிர்மின் அணுக்களாகவோ, நேர்மின் அணுக்களாகவோ மாறும்;

நேர்மின் செலுத்தியில் இருந்து நேர்மின் அணுக்கள் எதிர்மின் செலுத்தியிடமும், எதிர்மின் செலுத்தியில் இருந்து எதிர்மின் அணுக்கள் நேர்மின் செலுத்தியிடமும் பரிமாறிக் கொள்ளப்படும்; இந்த நிகழ்வே 'மின்விடுபாடு'.

மின்விடுபாட்டில், எதிர்முனையில் இருந்து கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றன என்று ஹிட்டார்ஃப் என்ற அறிஞர் புலத்தேர்வு செய்து, 1869-ஆம் ஆண்டு அறிவித்தார்¹. அந்தக் கதிர்களை 'எதிர்மின் கதிர்கள்' என்று இங்கே குறிக்கப்படுகின்றன.

எதிர்மின் கதிர்கள் பற்றிய சோதனைகளில் ஈடுபட்டிருந்தபோதுதான், 08.11.1895, வெள்ளிக்கிழமையன்று, எக்ஸ் கதிர்களை, ரொன்ட்கென் கண்டு பிடித்தார். உள்ளே இருக்கும் காற்று முழுமையும் வெளியேற்றப்பட்டு, இரண்டு பக்கங்களும் மூடப்பட்டுவிட்ட ஒரு வெறுமைக் குழாய்; மின்சாரத்தை வெளிப்படுத்தக்கூடிய பெரியதொரு மின்தூண்டுச் சுழல்; ஒளிரும் தன்மை கொண்ட ஒரு திரை; ஒரு மெல்லிய கருப்பு அட்டை. இந்தச் சாதனங்களை மட்டுமே பயன்படுத்தி, ஓர் இருட்டறையில், ரொன்ட்கென் நிகழ்த்திய சோதனை பற்றியும், அதில் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்ட நிகழ்வு பற்றியும் அவரே தம் ஆய்வுத்தாளில் கீழ்வருமாறு விளக்கியிருந்தார்²:

பெரிய மின்தூண்டுச் சுழலிலிருந்து வெளிப்படும் மின்சாரத்தை, ஓர் இருட்டறையில், மெல்லிய கறுப்பு அட்டையால் நெருக்கமாக முழுவதும் மூடி மறைக்கப்பட்ட ஒரு வெறுமைக் குழாய்* வழியே செல்ல அனுமதித்தால், அக்கருவிக்கு அருகில் வைக்கப்படும், பேரியம் *ப்லேட்டினோ சையனைட்* பூசப்பட்ட தாள்திரை ஒளிரும், அல்லது அது ஒவ்வொரு மின்விடுபாட்டின் போதும் ஒளிவிடும். அந்தக் குழாயை தாள்திரையின் பூச்சுப் பகுதியோ, பூச்சற்ற பகுதியோ, எது நோக்கியிருந்தாலும், இந்த நிகழ்வில் எந்த மாற்றமும் ஏற்படுவதில்லை. அக்கருவியில் இருந்து இரண்டு மீட்டர் தொலைவில் திரை வைக்கப்பட்டாலும், அது ஒளிர்வது புலப்படுகிறது.

இந்த ஒளிர்வை எது ஏற்படுத்துகிறதோ அது மின்விடுபாட்டுக் கருவியில் இருந்து புறப்படுகிறதே தவிர வேறு எந்த மின்கடத்திச் சுற்றிலிருந்தும் புறப்படவில்லை என்பதை நிறுவுவது எளிதே.

*(ரொன்ட்கென் குறிப்பிட்டிருந்த மின்தூண்டுச்சுழல் ரூம்கஃப் என்பவரால்

வடிவமைக்கப்பட்ட வகையைச் சேர்ந்தது; அவர் குறிப்பிட்டிருந்த வெறுமைக் குழாய், ஹிட்டார்ஃப் என்பவரால் வடிவமைக்கப்பட்ட வகையைச் சேர்ந்தது.)

எதிர்மின் கதிர்கள் தாக்கினால் 'பேரியம் ப் லேட்டினோ சையனைட்' என்ற வேதியால் பூசப்பட்ட தாள்திரை ஒளிரும் என்பது ஏற்கனவே தெரிந்த செய்தி. ஆனால், மேற்கண்ட சோதனையில் எதிர்மின் கதிர்கள் தாள்திரையைத் தாக்கியிருக்க முடியாது; அதற்கு வாய்ப்பே இல்லை. காரணம், மின்விடுபாட்டுக் குழாய், கருப்பு அட்டையால் சுற்றப்பட்டு, முழுதும் மறைக்கப்பட்டிருந்தது. அந்தக் கறுப்பு அட்டையை ஊடுருவி வெளிப்படும் ஆற்றல் எதிர்மின் கதிர்களுக்குக் கிடையாது. எனவே, தம் சோதனையில், தாள்திரையை ஒளிரச் செய்தது எதிர்மின் கதிர்களின் தாக்கம் இல்லை என்ற சரியான முடிவுக்கு ரொண்ட்கென் வரவேண்டியதாயிற்று. ஆனால், அதே வேளையில், மின்விடுபாட்டுக் குழாயில் மின்சார ஓட்டத்தை நிறுத்திப் பார்த்தபோது, தாள்திரையின் ஒளிர்வும் நின்று போனது; மீண்டும் மின்சார ஓட்டம் நிகழ வைத்ததும் தாள்திரை ஒளிரத் தொடங்கியது. அட்டையால் மறைக்கப்பட்டிருந்த குழாய்க்கும், தாள்திரைக்கும் இடையில், ரொண்ட்கென் தம் கையை வைத்துப் பார்த்ததும், தாள்திரையின் ஒளிர்வில், கை விளைவித்த நிழலில், அவர் கையெலும்புகள் புலப்பட்டன. அவர் வியப்புக்கும், அதிர்ச்சிக்கும் ஆளானார். தாள்திரையை அடுத்த அறைக்கு எடுத்துச் சென்று வைத்து, அந்த அறையின் சாளரங்களை எல்லாம் மூடி மறைத்துவிட்டுப் பார்த்தார். அப்பொழுதும், தாள்திரையில் ஒளிர்வு தென்பட்டது. முதலறையில் இருந்த குழாயில் மின்னோட்டத்தை நிறுத்தியதும், அடுத்த அறையில் இருந்த திரையில் ஒளிர்வு நின்று போனது; மின்னோட்டம் தொடங்கியதும், திரை, மீண்டும் ஒளிரத் தொடங்கியது. எதிர்மின் கதிர்களின் தூண்டுதலால், மின்விடுபாட்டுக் கருவியில் இருந்து, வேறொரு வகை நுட்பமான கதிர்கள் புறப்பட்டு, வெளிப்பட்டன என்ற முடிவுக்கு ரொண்ட்கென் வந்தார். அந்தப் புதுவகைக் கதிர்கள் கனமான சுவரைக் கூட ஊடுருவிச் செல்லும் ஆற்றல் கொண்டவையாக இருந்தன என்பதை அவர் கண்டறிந்தார்.

மேற்கண்ட சோதனையில் திரையை ஒளிரச் செய்த கதிர்களுக்கு 'எக்ஸ் கதிர்கள்' என்று ரொண்ட்கென் பெயரிட்டார். மேற்சொன்ன ஆய்வுத்தாளின் முன்வடிவ நகல்களுடன் எக்ஸ் கதிர் புகைப்படங்கள் சிலவற்றையும் ரொண்ட்கென் இணைத்திருந்தார். கையெலும்புகளின் நிழற்படங்கள், மூடிய பெட்டிக்குள் இருந்த எடைக்கற்களின் புகைப்படங்கள் போன்ற பல புகைப்படங்கள் உலகம் முழுவதும் பெரும் பரபரப்பை ஏற்படுத்தின. 1896-ஆம் ஆண்டில் மட்டுமே, எக்ஸ் - கதிர்கள் பற்றி ஐம்பதுக்கும் மேற்பட்ட நூல்கள், ஓராயிரத்துக்கும் மேற்பட்ட அறிவியல்

தாள்கள் வெளியாயின. இதிலிருந்து, இக்கண்டுபிடிப்பு எந்த அளவு சிந்தனை உலகைத் தாக்கத்துக்கு உள்ளாக்கியது என்று புரிந்துகொள்ளலாம். எக்ஸ் கதிர்கள் கண்டுபிடிப்புக்காக ரொன்ட்கெனுக்கு, 1901-ஆம் ஆண்டு, நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது. இயல்பியல் துறைக்காக வழங்கப்பட்ட முதல் நோபெல் பரிசு அதுதான்.

மேலே குறிப்பிடப்பட்டுள்ள பரிசோதனை பற்றிய தம் முடிவுகளை ரொன்ட்கென், தம் ஆய்வுத் தாளில், சுருக்கமாகவும் திறம்படவும் வடித்திருந்தார். அந்த முடிவுகளில் சில:

- 1) திரையொளிர்வை ஏற்படுத்தியவை எதிர்மின் கதிர்களல்ல; காரணம் புதிய கதிர்களை விட எதிர்மின் கதிர்கள் காற்றால் எளிதில் உட்கொள்ளப் படுவன.
- 2) சக்தி வாய்ந்த காந்தப் புலம் கூட எக்ஸ் கதிர்களை அசைப்பதில்லை.
- 3) எக்ஸ் கதிர்கள் காற்று மண்டலத்தின் ஊடே செல்லும்போது, கவனிக்கத்தக்க வகையில் திசைமடக்குக்கோ, ஒளித்திருப்பத்துக்கோ, துருவ முனைப்புக்கோ ஆளாவதில்லை.
- 4) ஈரப்பதம் அற்ற புகைப்படத் தகடுகளில் எக்ஸ் கதிர்கள் தடங்கள் பதிக்கின்றன.
- 5) பேரியம் ப் லேட்டினோ சையனைட் மட்டும் அன்றி பல்வேறு வேதிகளை எக்ஸ் கதிர்கள் ஒளிரச் செய்கின்றன.

தம் முடிவுகளிலிருந்து ஒரு துணிபை, ரொன்ட்கென் தம் தாளில் வெளியிட்டார். அத்துணிபை விளங்கிக்கொள்ளச் சில புதிய கலைச்சொற்களை நம் சொற்பேழையில் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும். அலைகளில் இரண்டு வகை உண்டு என்ற வேறுபாட்டை இப்பொழுது நாம் புரிந்துகொள்ள வேண்டும். நீளப் பரவும் அலைகள் ஒருவகை; வட்டமாக, எல்லாத் திசைகளிலும் பரவும் அலைகள் மற்றொரு வகை. ஒலியலைகள் நீளப்பரவும் அலைகள். ஒளியலைகள் சுழல்களாகப் பரவும் அலைகள். இவற்றை முறையே 'நீளலைகள்' என்றும், 'சுழலலைகள்' என்றும் குறிப்பிடலாம். இப்பொழுது ரொன்ட்கென் வெளியிட்ட துணிபைக் கீழ்வருமாறு தமிழில் புரிந்து கொள்ளலாம்.

... நுண்புலத்தில் சுழலலைகளான ஒளியதிர்வுகளோடு, நீளலைகளால் ஆன அதிர்வுகளும் இருக்கக்கூடும் என்று நாம் பல காலமாக அறிந்துள்ளோம்: அப்படிப்பட்ட அதிர்வுகள் இருந்தே ஆக வேண்டும்

என்று பல்வேறு இயல்பியல் வல்லுநர்கள் கருதியுள்ளனர். அவற்றின் இருப்பு இன்று வரை நிறுவப்படவில்லை என்பது உண்மை. எனவே அவற்றின் தன்மைகள் பரிசோதனை மூலம் ஆராயப்படவில்லை. எனவே புதிய கதிர்கள் நீளலை அதிர்வுகளாகக் கருதப்படலாம் அன்றோ?

இத்துணிபு தவறானது என்று நிறுவப்பட ஏற்குறைய பதினாறு ஆண்டுகள் ஆயின. 1896, மார்ச் மாதத்திலேயே ஃப்ரெஞ்ச் அறிஞர் ஒருவர் எக்ஸ் கதிர்கள், புற ஊதாக் கதிர்களை விடக் குறுகிய அலைநீட்டமுள்ள ஒளிக்கதிர்களே எனக் குறிப்பிட்டிருந்தார்⁴. 1906-ஆம் ஆண்டு, எக்ஸ் கதிர்களைத் துருவ முனைப்பாக்கும் முயற்சி ஓரளவு வெற்றிபெற்றது⁵. 1912-ஆம் ஆண்டில் படிசுப் பொருள்களைப் பயன்படுத்தி, எக்ஸ் கதிர்கள் திசைமடக்குக்கு உள்ளாவது கண்டறியப்பட்டதும்⁶, இக்கதிர்கள் ஒளியலைகள் போலச் சுழலலைகளே என்பது உறுதியானது.

எக்ஸ் கதிர்கள் எதனால் வெளிப்படுகின்றன என்பது அந்தக் கால கட்டத்தில் விளங்கவில்லை. ஏன்? ஒரு பொருளுக்குள், ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குமேல் ஆற்றல் செலுத்தப்பட்டால், அப்பொருளின் அணுக்களில் உள்ள மின்துகள்கள் நிலைபெயர்ந்து, மீண்டும் இயல்பு நிலைக்கு மீளும் போது, அப்பொருளின் அணுக்களில் இருந்து அதிக ஆற்றல் கொண்ட மின்காந்தக் கதிர்களாக, எக்ஸ்கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றன. 1896-ஆம் ஆண்டு 'மின்துகள்' என்பதே கண்டுபிடிக்கப்படாத நிலையில் இந்த விளக்கம் யாருக்கும் தோன்றியிருக்க வாய்ப்பில்லை.

ஒரு நிகழ்வைக் காண்பது வேறு; அதைப் புலத்தேர்வு செய்து அறிந்து கொள்வது வேறு; அதை முற்றிலும் புரிந்துகொள்வது வேறு. இதைத்தான் ரொண்ட்கெனுடைய கண்டுபிடிப்பு உணர்த்துகிறது. பலர் கண்டும், அறிந்துகொள்ள முற்படாத ஒரு நிகழ்வை ரொண்ட்கென் அறிந்துகொள்ள முற்பட்டது ஓர் அறிவியல் வளர்ச்சி; அவர் ஓரளவு அதை அறிந்துகொண்டும், அதை முற்றும் புரிந்துகொள்ள முடியாமற் போனது காலத்தின் இடர்ப்பாடு. ஒருவர் சற்றே அறிந்துகொண்ட மெய்மைக்கேற்ப, அதனுடன் தொடர்புடைய மற்ற சிந்தனைகள் வளர்ச்சி பெற்றாலன்றி, அந்த மெய்மையை அவர் முழுதும் புரிந்து கொள்ள உடனடி வாய்ப்பு இல்லாமல் போய் விடுகிறது. ஒரு தனிமனிதனுடைய ஆற்றலால் மட்டுமன்றி, ஒட்டுமொத்த மனித இனத்தின் சிந்தனை வளர்ச்சியாலேயே ஒரு துறைசார்ந்த அறிவு,

முழுமையை நோக்கி நகர்கிறது என்ற உண்மை இதிலிருந்து தெளிவாகிறது.

தாம் நிகழ்த்திய சோதனையில் திரையொளிர்வை ஏற்படுத்தியவை எதிர்மின் கதிர்கள் இல்லை என்று ரொன்ட்கென் சரியாகத் தேர்ந்தார்; அவை புதிய வகைக் கதிர்கள் என்று சரியாக அறிவித்தார்; அவற்றுக்கு 'எக்ஸ்-கதிர்கள்' எனப் பெயரிட்டார்; அவை திடப்பொருள்கள் பலவற்றையும் ஊடுருவிச் சென்று புகைப்படத் தகட்டில் தடம் பதிக்கும் ஆற்றல் வாய்ந்தவை என்றும் சரியாகத் தெளிந்துரைத்தார். இவ்வாறாக, ஒரு பெரிய அறிவியல் வளர்ச்சிக்கு ரொன்ட்கென் வித்திட்டார். ஆனால் அக்கதிர்கள் உண்மையிலேயே ஒளிக்கதிர்களை உள்ளடக்கிய மின்காந்த அதிர்வு வகையைச் சேர்ந்தவை என்ற உண்மையை அவரால் எட்ட முடியவில்லை.

விழிப்புலப்பாட்டுக்கு உட்படும் ஒளியலைகளைக் காட்டிலும் பன்மடங்கு குறுகிய அலைநீட்டம் கொண்டவை எக்ஸ்கதிர்கள். தாம் புலப்படாவிட்டாலும், இயல்பு நிலையில் புலப்பாட்டுக்கு அப்பாற்பட்ட பல பொருள்களை அவை புலப்பாட்டுக்கு உட்படுத்துகின்றன. இத்தன்மையால் மனிதனுக்குப் பல துறைகளிலும் எக்ஸ் கதிர்கள் பயன்படுகின்றன. குறிப்பாக, மருத்துவத் துறையில், நோய்முதலாய்வுக்கு இக்கதிர்கள் பெரிதும் உதவுகின்றன. ரொன்ட்கெனுடைய அறிவியற் பணி, மறக்க முடியாத ஒரு மானுடத் தொண்டாக மலர்ச்சி பெற்றது வரலாற்று உண்மை.

குறிப்புகள்:

1. *Ann. der Phys. Und Chem.* 136, 1, 1869, page 197.
2. *Sitzber Physics – med. Ges. Wurzburg*, 137, December, 1895.
3. *Sitzber Physics – med. Ges. Wurzburg*, 137, December, 1895.
4. C. Henry, *Comptes Rendus*, 122, 1896, page 787.
5. C.G. Barkla, *Proceedings of Royal Society*, A, 77, 1906, page 247.
6. W. Friedrich and two others, *Ber. Bayer.Akad.Wiss.*, 1912, page 303.

5. ஒரு புதிய வெளிப்பாடு

எக்ஸ் கதிர்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட 1896-ஆம் ஆண்டிலேயே இன்னொரு முக்கியமான அறிவியல் கண்டுபிடிப்பும் நிகழ்ந்தது. அந்தக் கண்டுபிடிப்பும் இருபதாம் நூற்றாண்டின் அறிவியல் வளர்ச்சிக்குப் பெரிதும் துணை செய்தது. அக்கண்டுபிடிப்பை நிகழ்த்தியவர் ஆரி பெக்ரல் என்ற இயல்பியல் வல்லுநர் ('ஆ' என்ற வடிவம் குறிக்கும் ஒலி கிட்டத்தட்ட 'ஆங்' என்பதில் 'ங்' என்ற ஒலியைச் சற்றே குறைத்தால் கிடைக்கும் ஒலியைப் போன்றது). இவர் ஃப்ரான்ஸ் நாட்டைச் சேர்ந்தவர். ஃப்ரெஞ்ச் இயற்கை வரலாறு அருங்காட்சியகத்தில் இயல்பியல் பேராசிரியராகவும், டீரிஸ் பாலம் மற்றும் நெடுஞ்சாலைத் துறையின் தலைமைப் பொறியாளராகவும் ஒரே நேரத்தில் இவர் பணியாற்றி வந்தார். இவருக்குமுன் இவர் பாட்டனார், சிறிய தகப்பனார் என மூன்று தலைமுறையாக இவர்கள் குடும்பத்தினரே மேற்சொன்ன அருங்காட்சியகத்தின் இயல்பியல் பேராசிரியர் பதவியை வகித்து வந்தனர்.

01.01.1896 அன்று, எக்ஸ் கதிர்கள் பற்றிய ஆய்வுத்தாளின் நகல்களை ரொண்ட்கென், உலகின் பல இடங்களில் இருந்த அறிவியல் வல்லுநர்களுக்கு அனுப்பி வைத்தார் என்று மேலே சொல்லப்பட்டது. அதில் ஒரு நகல், ஃப்ரான்ஸ் தலைநகரான பேரிஸ் நகரத்தில் இருந்த பொயின்கரே என்ற அறிஞருக்குக் கிடைத்தது. அவர், 20.01.1896 அன்று, ஃப்ரெஞ்ச் அறிவியல் கழகத்தில் அத்தானைப் படித்தார். அக்கூட்டத்தில் பெக்ரலும் பங்கேற்றார்¹. அத்தாள் படிக்கப்பட்டதுமே பெக்ரல் சிந்தனையில் ஒரு கேள்வி எழுந்தது. பின்னொளிர் பொருள்கள் எல்லாம் எக்ஸ்கதிர் போன்ற கதிர்களை வெளிப்படுத்தக்கூடுமோ என்பதே அக்கேள்வி. பின்னொளிர் பொருள்கள் என்றால் என்ன என்பதை முதலில் விளங்கிக்கொள்ள முற்படலாம். கண்ணுக்குப் புலப்படாத கதிர்வீச்சுகளில் இருந்து ஆற்றலை உட்கொண்டு, அந்த ஆற்றலைக் கண்ணுக்குத் தெரியக்கூடிய ஒளியாக வெளிப்படுத்தி ஒளிரும் பொருள்களை 'ஒளிர்பொருள்கள்' என்று அழைக்கலாம். அவற்றுள் சில, மேற்சொன்ன கதிர்வீச்சு நின்ற பிறகு, சற்று நேரம் கடந்து, ஒளியை வெளிப்படுத்துபவை. அவற்றைப் 'பின்னொளிர் பொருள்கள்' எனலாம். அப்படிப்பட்ட பொருள்கள், எக்ஸ்கதிர்கள் போன்ற கதிர்களை வெளிப்படுத்தக்கூடுமோ என்ற ஐயத்தை உடனே பொயின்கரேயிடம் தெரிவித்துவிட்டு, மறுநாளே இக்கேள்விக்கு விடைதரக்கூடிய பரிசோதனைகளில் பெக்ரல் ஈடுபட்டார். முதலில் அவர் நிகழ்த்திய பரிசோதனைகள் பலனளிக்கவில்லை. பலவிதமான பின்னொளிர் பொருள்களை அவர் பரிசோதித்தும், அவற்றில் எதுவும் கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தியதாகப் புலத்தேர்வு செய்யப்படவில்லை. இருந்தாலும் பெக்ரல் மனம் தளரவில்லை. யுரேனியம் உப்புகள் எப்படியும் வெற்றிதரும் என்றொரு நம்பிக்கையோடு, 'பொட் டீஷ்யம்

யுரேனில் டைசல்ஃபேட்' என்ற வேதியைப் பரிசோதனைக்கு உட்படுத்தினார். அது ஒரு பின்னொளிர் பொருள். ஒரு புகைப்படத் தகட்டை, கனமான, கரிய தாள்கள் இரண்டால் முழுதும் மறைத்து மூடி, அதன் மேல் ஒரு தட்டை வைத்துத் தட்டில் பின்னொளிர் பொருள் வைக்கப்பட்டது. அச்சாதனம் முழுவதிலும் பகலொளி படுமாறு அதைப் பலமணி நேரம் வைத்துவிட்டுப் பிறகு புகைப்படத் தகட்டைக் கழுவிப் பார்த்ததில், பின்னொளிர் பொருளின் நிழல் அதில் படர்ந்திருந்ததை பெக்ரல் கண்டார். அந்த நிகழ்வில் இருந்து பெக்ரல் ஒரு முடிவுக்கு வந்தார். பின்னொளிர் பொருளில் இருந்து ஒருவகைக் கதிர்கள் புறப்பட்டு ஒளி புகமுடியாத கருந்தாள்களுக்குள் புகுந்து சென்று புகைப்படத் தகட்டைத் தாக்கின என்பதே அவருடைய முடிவு. அதே பரிசோதனையை அவர் மீண்டும் நிகழ்த்திப் பார்க்க முனைந்தார். ஆனால் மேற்கூறிய சாதனத்தை அவர் தயார் செய்த பிறகு, அதை வெய்யில் ஒளியில் வைக்க முடியவில்லை. காரணம், ஃபிப்ரவரி மாதம் 26, 27 ஆகிய இரண்டு நாட்களிலும் லேசில் நகரத்தைப் பகல் ஒளி எட்டிப் பார்க்கவே இல்லை. அதனால் ஏமாற்றத்தோடு பெக்ரல், அச்சாதனத்தை ஓர் இருண்ட அறையில் இருந்த அலமாரிக்குள் வைத்து மூடி இருந்தார். மார்ச் மாதம் 1-ஆம் தேதி, திடீர் என்று பெக்ரல் மனத்தில் ஓர் எண்ணம் தோன்றியது. அலமாரிக்குள் இருந்த சாதனத்தை எடுத்து அதற்குள் இருந்த புகைப்படத் தகட்டைக் கழுவிப் பார்த்தால் என்ன என்று சிந்தித்தார்.

அப்படி அவருக்கு ஓர் எண்ணம் ஏற்பட்டதற்குக் குறிப்பிட்ட காரணம் எதுவும் இல்லை அது அவருக்கு ஏற்பட்ட ஓர் அகத்துண்டுதல் என்றே கொள்ளலாம். நினைத்த வண்ணமே அலமாரிக்குள் இருந்த புகைப்படத் தகட்டை எடுத்துக் கழுவிப் பார்த்தார். தகடு காலியாக இல்லாமல் அதில் பின்னொளிர் பொருளின் நிழல் தெளிவாகப் படர்ந்து இருந்ததைக் கண்டு வியந்தார். வெளியில் இருந்து ஒளிக்கதிர்களை உட்கொள்ளாமலேயே, யுரேனியம் உப்பு, கண்ணுக்குப் புலப்படாத கதிர்களை வெளிப்படுத்தியது என்ற முடிவுக்கு பெக்ரல் வர வேண்டியதாயிற்று. அடுத்த நாளை, அதாவது, 02.03.1896 அன்றே லேசில் நகர அறிவியற் கழகத்தில் அவர் இந்தச் சோதனை பற்றியும், நிகழ்வு பற்றியும், தம் முடிவு பற்றியும், அறிவித்தார்². இரண்டு நாட்கள் மட்டுமே அல்லாமல், இரண்டு மாதங்கள், முழுக்க முழுக்க, இருட்டிலேயே வைக்கப்பட்ட பலவித யுரேனியம் உப்புகள் இத்தகைய கதிர்வீச்சை விளைவித்தன என்பதைப் பல பரிசோதனைகள் மூலம் பெக்ரல் கண்டறிந்தார். பின்னொளிர் தன்மை இல்லாத யுரேனிய உப்புகளும் இதே விளைவை ஏற்படுத்தின என்பதும் பல சோதனைகள் மூலம் கண்டு அறியப்பட்டது. எனவே ஒளிர் தன்மைக்கும், இத்தகைய கதிர்வீச்சுக்கும் எந்தத் தொடர்பும் இல்லை என்பது உறுதியானது. யுரேனிய உப்புகளுக்கு பதில்,

யுரேனியம் என்ற அடிப்பொருளை மட்டுமே பயன்படுத்தி மேற்கண்டவாறு சோதனை நிகழ்த்தியபோதும் இதே விளைவு ஏற்பட்டது. தானாகவே கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தும் தன்மை யுரேனியம் என்ற அடிப்பொருளின் சிறப்புத் தன்மை என்பது உறுதியாக நிறுவப்பட்டது. இவ்வாறு, தாமாகவே சில பொருள்கள் கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தும் தன்மையைக் 'கதிர்வீச்சு இயக்கம்' என்று புரிந்துகொண்டு, சுருக்கமாக அதைக் 'கதிரியக்கம்' என்று குறிப்பிடலாம். இதுவே, 'ரேடியோ ஆக்டிவிடி' என்று ஆங்கிலத்தில் குறிப்பிடப்படுகிறது.

வெளியிலிருந்து ஆற்றலை உட்கொண்டு, பிறகு அந்த ஆற்றலை ஒளியாக வெளிப்படுத்தக்கூடியவை, பின்னொளிர் பொருள்கள். அத்தகைய பொருள்கள் ஒளியை மட்டுமன்றி எக்ஸ் கதிர்கள் போன்ற நுட்பமான கதிர்களையும் வெளிப்படுத்தக்கூடுமோ என்ற கேள்வி, பெக்ரல் சிந்தனையில், ஏன் உதித்தது?

வெய்யிலொளி சிறிதுமில்லாததால் சோதனை நடத்த முடியாமல், அலமாரிக்குள் மூடி வைத்துவிட்ட சாதனத்தை வெளியில் எடுத்து, அதிலிருந்து புகைப்படத் தகட்டைக் கழுவிப் பார்க்கவேண்டும் என்ற அகத்தூண்டுதல் பெக்ரலுக்கு ஏற்படக் காரணம் என்ன?

இந்தக் கேள்விகளுக்கு அறிவியல் அடிப்படையிலேயே விடை காண முடியுமா? புறத்தே இருந்து, புலப்பாட்டுக்கு உட்படாத கதிர்களை உட்கொண்டு, பிறகு அக்கதிர்களை ஒளி முதலான ஆற்றல் வடிவில் சில பொருள்கள் வெளிப்படுத்துகின்றன என்று கருதப்பட்டதுபோல், அண்டப் பெருவெளியிலிருந்து நுட்பமான சில அதிர்வுகளை, பெக்ரல் போன்ற ஒரு மனிதனின் சிந்தனை உட்கொண்டு, பிறகு புதிய சிந்தனை வடிவில், அவற்றை வெளிப்படுத்தக் கூடுமென்று கொள்ளலாமா? வெளியிலிருந்து எந்தக் கதிரையும் உட்கொள்ளாமலேயே, சில பொருள்கள், தாமே கதிர்வீச்சு நிகழ்த்துதல்போல், பெக்ரல் போன்ற ஒரு மனிதருடைய அகத்தின் ஆழத்திலிருந்தே, ஒரு தூண்டுதல், தானே உருவாகி புதிய சிந்தனையாக வெளிப்படக் கூடுமென்று கொள்ளலாமா? இந்த நூலைப் படிப்பவர்கள் அவரவர் நிலைக்கேற்ப மேற்கண்ட கேள்விகளுக்கு விடைகாண முயலலாம்.

எக்ஸ் கதிர்களைப்போல் யுரேனியக் கதிர்வீச்சும் பல பொருள்களில் இருந்து மின்சாரத்தை வெளிப்படச் செய்யும் திறன்வாய்ந்தது என்பது பெக்ரல் நிகழ்த்திய பரிசோதனைகளில் இருந்து தெரிய வந்தது. அந்தப் பரிசோதனைகளைத் தொடர்ந்து விரிவான பல பரிசோதனைகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. மேரி க்யூரி என்ற அம்மையார் அத்தகைய பரிசோதனைகளில் தம் கணவர் ப்ய(ர்) க்யூரி என்பவருடன்

சேர்ந்து ஈடுபட்டார். அந்தச் சோதனைகள் மூலம் 1898-ஆம் ஆண்டில் அவர் 'தோரியம்' என்ற புதிய அடிப்பொருளைக் கண்டுபிடித்தார். 'யுரேனியம்' என்ற அடிப்பொருளைக் காட்டிலும் சில வகையான யுரேனியக் கூட்டுப் பொருள்கள் அதிக அளவில் கதிரியக்கம் நிகழ்த்தக் கூடியவை என்பதை அவர் சோதனைகள் மூலம் கண்டறிந்தார். மேலும் பரிசோதனைகள் நடத்திப் 'பொலோனியம்', 'ரேடியம்' ஆகிய அடிப்பொருள்களைத் தம் கணவருடன் சேர்ந்து அவர் கண்டுபிடித்தார். 26.12.1898 அன்று ரேடியம் கண்டுபிடிப்பை அவர்கள் உலகுக்கு அறிவித்தனர்³. ரேடியத்தில் இருந்து வெளிப்பட்ட கதிர்வீச்சின் அளவு மிகவும் அதிகமாக இருந்தது. 'ரேடியம்' என்று ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படும் அடிப்பொருளைக் 'கதிரியம்' என்றே தமிழில் அழைக்கலாம். கதிரியம் கண்டுபிடிப்பால், கதிரியக்கம் உறுதியாக நிறுவப்பட்டது. கதிரியக்கக் கண்டுபிடிப்புக்காக, 1903-ஆம் ஆண்டு இயல்பியல் துறைக்கான நோபெல் பரிசு, பெக்ரலுக்கும், க்யூரி தம்பதிகளுக்கும் பகிர்ந்தளிக்கப் பட்டது. இயல்பியல் துறைக்கான நோபெல் பரிசு பெற்ற எட்டாண்டுகள் கழித்து, வேதியியல் துறைக்கான நோபெல் பரிசை மேரி மீண்டும் பெற்றார். ஆனால், அப்பொழுது அவர் கணவர் உயிருடன் இல்லை. இவர்களைப் போலவே இவர்கள் புதல்வியும் தம் கணவருடன் இணைந்து ஆய்வுகள் செய்து, அவருடன் நோபெல் பரிசைப் பகிர்ந்துகொண்ட செய்தியை நாம் பிறகு பார்க்க இருக்கிறோம். கதிர்வீச்சின் அருகாமையிலேயே தம் வாழ்நாளின் பெரும்பகுதியை மேரி செலவழித்ததால் குருதிப் புற்றுநோய்க்கு ஆளாகித் தமது 67-ஆவது வயதில் காலமானார். பிறகு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஓர் அடிப்பொருளுக்கு இந்த மங்கையர் திலகத்தின் நினைவாக "க்யூரியம்" என்ற பெயர் சூட்டப்பட்டது.

எக்ஸ் கதிர்களும், பெக்ரல் கதிர்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட 1896-ஆம் ஆண்டில் இன்னும் சில முக்கியமான அறிவியல் நிகழ்ச்சிகள் முன்னேற்றத்துக்கு உதவின. இதே ஆண்டில்தான் மார்கோனி என்ற விஞ்ஞானி, மின்கயிறுகளின் துணையின்றி, நெடிய அலைநீட்டம் உள்ள மின்காந்த அலைகளை நீண்ட தொலைவுக்குச் செலுத்த முடியும் என்று காட்டினார். அவர் அவ்வாறு செலுத்திய அலைகள் அட்லேண்டிக் மாக்கடலின் ஒரு கரையில் இருந்து, கடல் கடந்து சென்று, மறு கரையில் பெறப்பட்டன. இதன் மூலம் வானொலிப் பெட்டிகளும் வானொலி நிலையங்களும் உருவாக வழிபிறந்தது.

இதே 1896-ஆம் ஆண்டில்தான், ட்ஸேமான் என்பவர், ஒளியலைகள் மீது மின்சாரமும் காந்தசக்தியும் ஏற்படுத்தக்கூடிய விளைவுகளை ஆராய்ந்து 'ட்ஸேமான் நிகழ்வு' என்பதைக் கண்டுபிடித்தார்.

இப்படிப்பட்ட வளமான ஆண்டாக விளங்கிய 1896-ல் ஏற்பட்ட அறிவியல் முன்னேற்றங்களே, 1897-ல் ஒரு புதிய அறிவியற் புரட்சிக்கு வழியமைத்தன. உட்பகுதிகள் அற்ற அடிப்படைத் துகள்களாகக் கருதப்பட்ட அணுக்களுக்குள், மேலும் சிறிய துகள்கள் உண்டு என்ற கண்டுபிடிப்பு 1897-ஆம் ஆண்டில் நடந்தது.

குறிப்புகள்:

1. “*Inward Bound*”, Abraham Pais, Clarendon Press, Oxford, 1986, page 43.
2. *Comptes Rendus*, 122, 1896, page 501.
3. *Comptes Rendus*, 127, 1898, page 1215.

6. அணுவைத் துளைத்து...

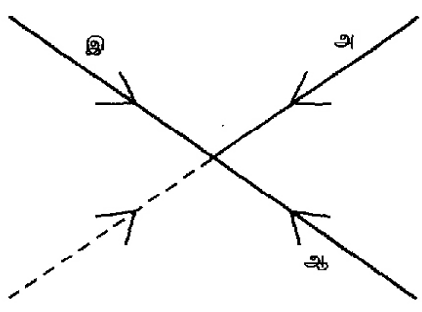
1897-ஆம் ஆண்டு மின்துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது என்ற செய்தி, பல அறிவியல் நூல்களில் காணப்படுகிறது. மின்துகளைக் கண்டுபிடித்தவர் ஜே.ஜே. தாம்ஸன் என்ற குறிப்பும் அந்த நூல்களில் காணப்படுகிறது. இவ்விரண்டு செய்திகளும் பெரும்பாலும் உண்மை. ஆனாலும், இவை மேலும் விளக்கப்பட வேண்டியவை.

விளக்கப்படவே முடியாதவையாகவும், பகுதிகள் அற்றவையாகவும் கருதப்பட்ட அணுக்கள் அப்படிப்பட்டவை அல்ல என்பதை நிறுவியதால் மேற்சொன்ன கண்டுபிடிப்பு அணுவியல் ஆய்வின் முதற்படியாக அமைந்தது. இக்கண்டுபிடிப்பு நடந்தேறிய விதம் பற்றி விளக்கிக்கொள்ள முயல்வோம்.

ரொன்ட்கென் எக்ஸ் கதிர்கள் கண்டுபிடிக்க, எதிர்மின் கதிர்கள் பற்றி அவர் நடத்திய ஆய்வுதான் வழிவகுத்தது. அது போலவே, எதிர்மின் கதிர்கள் பற்றிய ஆய்வு மூலமாகத்தான், தாம்ஸன் மின்துகளைக் கண்டுபிடித்தார். கேவன்டிஷ் சோதனைக் கூடத்தில் பேராசிரியராகப் பணியாற்றியபோதுதான் அவர் அச்சாதனையைச் செய்தார்.

எதிர்மின் கதிர்கள் பற்றித் தாம்ஸன் நிகழ்த்திய சோதனைகளிலிருந்து, அக்கதிர்கள் மின்சக்தியாலும், காந்த சக்தியாலும் திசைத்திருப்பம் பெறக்கூடியவை என்பது கண்டறியப்பட்டது. தாம்ஸன் நிகழ்த்திய சோதனையை விளங்கிகொள்ளும் முன், எதிர்மின் கதிர்கள் பற்றிய ஒரு சிறு விளக்கம் தேவைப்படுகிறது. எதிர்மின் கதிர்கள் அலைத்தன்மை உடையவை என்ற கருத்து நிலவியபோது, அக்கருத்தை மறுத்து, அக்கதிர்கள் துகள்களால் ஆனவை என்று 1871-ஆம் ஆண்டு முதன்முதலில் மொழிந்தவர் வா(ர்)லி என்ற அறிஞர்¹. இதைத் தொடர்ந்து வில்லியம் க்ரூக்ஸ் என்பவர், அக்கதிர்கள் துகள்களால் ஆனவையே என்று சோதனை மூலம் நிறுவினார்². ஒரு காந்தத்தின் இருதுருவங்களுக்கு இடையில், எதிர்மின் கதிர்கள் செலுத்தப்பட்டபோது, அக்கதிர்கள் திசைத்திருப்பத்துக்கு உள்ளாயின. அக்கதிர்கள் அலைகளாக இருக்குமேயானால் அவை திசைத்திருப்பத்துக்கு உள்ளாகி இருக்க முடியாது. காந்தப் புலம், மின்காந்த அலைகளைத் திசைத்திருப்பம் செய்வதில்லை என்பதாக அப்போது நிலவிய கருத்துக்கேற்ப, எதிர்மின் கதிர்கள் அலைகள் அல்ல என்றும், அவை துகள்களால் ஆனவை என்றும் முடிவு செய்யப்பட்டது. தாம்ஸன் நிகழ்த்திய சோதனையை

இப்பொழுது நோக்கலாம். கீழ்க்காணும் படம், தாம்ஸன் நிகழ்த்திய சோதனையைத் தெளிவாக விளக்கும்:



(படம் 3)

மேலே உள்ள படத்தில் 'அ' என்பது ஒரு மின்புலத்தின் திசையையும், 'ஆ' என்பது ஒரு காந்தப் புலத்தின் திசையையும் குறிக்கின்றன. 'இ' என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்பட்டுள்ள எதிர்மின்கதிர் ஒன்று, 'அ', 'ஆ' என்ற இருகோடுகளும் சந்தித்துக் கொள்ளும் குறுக்கீட்டுப் புள்ளியை நெருங்கியதும் அந்த எதிர்மின்கதிர், திசைத்திருப்பம் பெற்று, 'அ' என்ற மின்புலத்தின் திசையில் திரும்பி விரைகிறது. எதிர்மின் கதிர்கள் எதிர்மின்சக்தி உடையவை என்று ஏற்கனவே சொல்லப்பட்டது. எனவே அவற்றின் துகள்கள் எதிர்நிலை மின்பொதிவு கொண்ட துகள்களாய் இருக்கவேண்டும். இத்துகள்களின் மின்பொதிவுக்கும், கனத்துக்கும் உள்ள தொடர்பைத் தாம்ஸன் கண்டறிந்தார். ஏற்கனவே லோரென்ஜ்* என்பவர் வகுத்திருந்த கணித விதிகளைப் பயன்படுத்தித் தாம்ஸன் மேற்படித் தொடர்பைக் கணித்தார். மேற்கண்ட வரைபடத்தில் உள்ளபடி காந்தப் புலத்தை மட்டும் இயக்கம் பெறச்செய்து ஒரு முறையும், மின்புலத்தை மட்டும் இயங்கச் செய்து ஒரு முறையும், இரண்டு புலங்களையும் இயங்கச் செய்து ஒரு முறையும், எதிர்மின் கதிரின் திசைத்திருப்பத்தை அவர் கண்டறிந்தார். மூன்று முறைகளிலும் ஏற்பட்ட திசைத்திருப்பங்களின் வேறுபாட்டிலிருந்து, லோரென்ஜ்* வகுத்த கணித விதிகளின்படி, எதிர்மின் கதிராக அணிவகுத்து விரைந்த துகள்களின் மின்பொதிவுக்கும், கனத்துக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பைத் தாம்ஸன் கணித்துப் பார்த்தார். மின்பொதிவை 'மி' என்றும், கனத்தைக் 'க' என்றும் கொண்டால், மி/க என்பதன் மதிப்பு அளவில் மிகவும் பெரிதாக இருந்ததை அவருடைய கணிதச் சமன்பாடு காட்டியது. நீரியம் அணுவின் மி/க வை விட எதிர்மின் கதிரின் மி/க 770 மடங்கு அதிகமாக இருந்தது. ஆங்கிலத்தில் 'ஹைட்ரஜன்' என்றழைக்கப்படும்

அணுவே, நீரின் அடிப்படை அணு என்பதால், அதை 'நீரியம்' என்றே தமிழில் அழைக்கலாம். மி/க என்ற மதிப்பு பெரிதாக இருக்கவேண்டுமானால், ஒன்று 'மி' என்பதன் மதிப்பு மிகப் பெரிதாக இருக்கவேண்டும் ; அல்லது 'க' என்பதன் மதிப்பு மிகக் குறைந்ததாக இருக்கவேண்டும்; அல்லது மேற்சொன்ன இரண்டு காரணங்களாலுமே மி/க வின் மதிப்பு அளவில் பெரிதாக இருக்கக் கூடும். 07.08.1897 அன்று தாம்ஸன் ஓர் அறிவியல் இதழுக்குத் தம் ஆய்வுத்தாளை ஒப்படைத்தார். அதில் 'க' வின் மதிப்பு மிகமிகக் குறைவாக இருப்பதால்தான் மி/க வின் மதிப்பு மிகப் பெரிதாகப் பெறப்பட்டது என்று தாம்ஸன் வாதாடி இருந்தார். அந்த வாதத்தின் அடிப்படையில் அதே தாளில் , ஒரு துணிபை அவர் முன்மொழிந்திருந்தார்.

...இந்த நோக்கின்படி எதிர்மின் கதிர்களில் பொருண்மை ஒரு புதிய நிலையில் இருப்பதை அறிகிறோம். இந்த நிலையில் பொருண்மையின் கூறுகளைப் பகுத்தல், ஆவி நிலையிற் செய்யப் படுவதைக் காட்டிலும் மிக நுட்பமாகச் செய்யப்பட வேண்டியுள்ளது. இந்நிலையில் பொருள்களெல்லாம்.... ஒரே வகைப்பட்டனவாய் உள்ளன. இவ்வகைப் பொருண்மை நிலையின் அடிப்படை - யிலிருந்தே வேதி அடிப்பொருள்கள் அனைத்தும் அமையப் பெறுகின்றன?

'மி' என்பதன் மதிப்பு, அப்பொழுது, சரிவரக் கணிக்கப் படவில்லை. அதனால் இத்துணிபு நிறுவபடாமல் இருந்தது. பிறகுதான், 1899-ஆம் ஆண்டில், 'மி' என்பதன் மதிப்பைத் தாம்ஸன் கணித்தார். அவருடைய மாணவர் வில்ஸன் என்பவர் ஒரு சாதனத்தை வடிவமைத்திருந்தார். அச்சாதனத்தை 'உறைபனிக் கூடம்' என்று தமிழில் புரிந்து கொள்ளலாம். முழுத்திணிவு நிலை நீராவிவிலிருந்து நீர்த்துளிகளை ஈர்த்துகொண்டு மின்பொதிவுள்ள துகள்கள் விரையுமாறு அச்சாதனம் வடிவமைக்கப்பட்டிருந்தது. அப்படி ஈர்த்துக் கொள்ளப்படும் நீர்த்துளிகளோடு மின்பொதிவுத் துகள்கள் இணைந்து, 'துளி ஒன்றுக்குத் துகள் ஒன்று' என்ற கணக்கில் செயற்கை மழைச் சாரலைபோல் கீழே விழும். அந்தச் சாதனத்துக்குள் எதிர்மின்கதிர்களைச் செலுத்திக் கீழே விழும் துளிகளின் எண்ணிக்கையைக் கணிப்பதன் மூலம், விழும் மின்துகள்களின் எண்ணிக்கையைக் கணித்து, 'மின்மானி' என்ற கருவியால் கீழே விழுந்த துகள்களின் மொத்த மின்பொதிவைக் கணக்கிட்டு, மொத்த மின்பொதிவைத் துகள்களின் எண்ணிக்கையால் வகுத்து, அதன்மூலம் ஒரு

துகளின் மின்பொதிவைத் தாம்ஸன் கணித்தார். அப்படிக்கணித்ததில் எதிர்மின் துகள் ஒன்றின் மின்பொதிவு, 'ஹைட்ரஜன்' எனப்படும் நீரியம் மின்னணு ஒன்றின் மின்பொதிவுக்குச் சமமாக இருந்ததைத் தாம்ஸன் கண்டுபிடித்தார். எதிர்மின் துகளின் 'மி' யும், நீரியம் அணுவின் 'மி'யும் சமம் என்று கொண்டால், எதிர்மின் துகளின் மி/க, நீரியம் அணுவின் மி/க வைவிட அதிகமாக எப்படி இருக்கமுடியும்? அப்படி இருக்கவேண்டுமானால், எதிர்மின் துகளுடைய 'க' வின் மதிப்பு மிகமிகக் குறைவாக இருக்கவேண்டும் என்பதைத் தாம்ஸன் நிறுவினார். அதாவது, எதிர்மின் துகள் ஒன்றின் கனம், நீரியம் அணுவின் கனத்தை விட மிகமிகக் குறைவாக இருந்ததையே அவருடைய சோதனை நிறுவியது. அணுக்கள் எல்லாவற்றிலும் நீரியம் அணுவே மிகக் குறைந்த கனம் உடையது. எனவே, ஓர் அணுவின் கனத்தை விட மிகக் குறைந்த கனம் உடைய ஒரு துகளாக எதிர்மின் துகள் நிறுவப்பட்டது. இச்சோதனையைத் தாம்ஸன் அறிவித்திருந்த அறிவியல் தாளில் மிகச்சரியாக ஒரு தீர்வை அவர் முன் மொழிந்திருந்தார். மின்னூட்டம் நிகழ, ஓர் அணு பிளக்கப்படுவது இன்றியமையாதது என்றும், அந்த நிகழ்வில் அணுப்பொருண்மையின் ஒரு பகுதி மூல அணுவில் இருந்து பிரிந்து விடுபடுகிறது என்றும் அவர் அறிவித்திருந்தார்⁴.

மேற்சொன்னவாறு சோதனை மூலம் மின்துகளின் பொருண்மை நிலையைத் தெளிவாக நிறுவியதால்தான், மின்துகளைக் கண்டுபிடித்த பெருமை தாம்ஸனுக்கு வழங்கப்பட்டது.

தாம்ஸனுக்கு முன்பே வைஷ்ட் என்பவர், 07.01.1897 அன்று அறிவியல் கழகம் ஒன்றில் படித்த தாளில் எதிர்மின் கதிர்கள் துகள்களால் ஆனவை என்றும், அத்துகள்கள் நீரியம் அணுவை விட 2000 முதல் 4000 மடங்கு வரை அளவில் சிறியவை என்றும் குறிப்பிட்டிருந்தார்⁵. ஆனால் மி/க மதிப்பை அவர் கண்டறிய முற்படாததால் அவர் கருத்து அறிவியல் உலகைக் கவரவில்லை.

அதே போல் 1897-ஆம் ஆண்டு ஏப்ரல் மாதத்திலேயே எதிர்மின் கதிர்களுக்கு ஆன மி/க மதிப்பைப் பற்றி, கௌஃம்மன் என்பவர் ஒரு தாள் வெளியிட்டார்⁶. ஆனால் அந்த மதிப்பில் இருந்து எதிர்மின் கதிர்களின் துகள்கள் ஒரு புதிய பொருண்மை நிலை கொண்டவை என்ற முடிவுக்கு அவர் வரவில்லை. அதனால் அவருடைய கருத்தும் பெரிய தாக்கம் எதுவும் ஏற்படுத்தவில்லை.

இவர்கள் யாரும் செய்யாதவற்றைச் செய்ததன் மூலம் மின்துகள்

கண்டுபிடிப்பில் தாம்ஸன் முதலிடத்தைக் கைப்பற்றினார். 1897-ஆம் ஆண்டில் தாம்ஸனால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மின்துகள், அணுவின் ஓர் உட்பகுதியே என்பது, மேற்கண்டவாறு 1899-ஆம் ஆண்டில்தான் நிறுவப்பட்டது.

பல ஆண்டுகள் கழித்து, ரதர் ஃபர்ட் என்ற முன்னணி அறிவியல் வல்லுநர், 'நாற்பது ஆண்டு இயல்பியல்' என்ற தலைப்பில் ஆற்றிய பேருரையில் கீழ்வருமாறு கூறியிருந்தார்:

(மின்துகள்) கண்டுபிடிப்பில் மிக முக்கியமான பங்கை நாம் ஜே.ஜே. தாம்ஸனுக்கு வழங்கியது சரியே என்று நம்புகிறேன். ஏன் என்றால், அவரே முதன்முதலில் அத்துக்களை மின்புலத்திலும் காந்தப் புலத்திலும் திசைத்திருப்பம் கொள்ளச் செய்தார். மேலும் அணுக்கள் அனைத்திலும் மின்துகள் ஓர் அமைப்பறுப்பாக இருக்கவேண்டும் என்பதை முதன் முதலில் அறிந்துகொண்டவரும் அவரே. அத்துடன், ஓர் அணுவில் இருக்கும் மின்துகள்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிட முதன் முதலில் முறைவகுத்துத் தந்தவரும் அவரே.

'மின்துகள்' என்று தமிழில் குறிப்பிடப்படும் துகளுக்கு ஆங்கிலத்தில் 'எலக்ட்ரான்' என்ற பெயரை முதலில் சூட்டியவர் ஸ்டோனி என்பவர். அவர் இந்தப் பெயரை அந்தத் துகளுக்குச் சூட்டிய ஆண்டு 1891⁸. மின்துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதற்கு ஆறு ஆண்டுகளுக்கு முன்பே அதற்குப் பெயர் சூட்டப்பட்ட விந்தை எப்படி நிகழ்ந்தது? இக்கேள்விக்கான விடை மின்சாரத்தின் தொடக்க நிலை வரலாறாகவும் அமைகிறது.

1733-ஆம் ஆண்டு ட்யூஃபே என்ற அறிஞர் இரண்டு விதமான மின்சாரம் உண்டு என்று அறிவித்தார்.⁹ ஒரே விதமான மின்சார நிலைகள் ஒன்றையொன்று தவிர்க்கும், வேறுபட்ட மின்சார நிலைகள் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கும் என்ற கருத்தையும் அவர் விளக்கினார். 1840-ஆம் ஆண்டு ஃபெஜ்*னர்¹⁰ என்பவரும் வேபர்¹¹ என்பவரும் தனித்தனியே, சோதனைகளின் அடிப்படையில், மின்சாரம் என்பது மின்பொதிவுத் துகள்களின் அணிவகுப்பே என்று அறிவித்தனர். நுண்புலம், மின்சாரம் ஆகியவை பற்றிய கோட்பாடுகளின் வரலாற்றை மிக விரிவாக எழுதிய ஓர் ஆசிரியர், வேபருடைய தீர்வுதான் முதல் 'மின்துகள் கொள்கை' என்று குறிப்பிட்டுள்ளார்¹².

வேபர் தம் துணிவை அறிவித்ததற்கு முன்பே, மைக்கெல் ஃபேரடே என்ற அறிவியல் வல்லுநர் மின்விடுபாடு பற்றிய சோதனைகளில் ஈடுபட்டிருந்தார். தம்

சோதனைகளில் இருந்து அவர் முடிவு செய்த ஒரு துணிபை அவர் எழுதியவாறே தமிழில் விளங்கிக்கொள்ள முயல்வோம்:

*ஓர் அணு என்பது பற்றி நமக்கு எதுவும் தெரியாது. இருந்தாலும்
...பொருள்களின் அணுக்கள் ஏதோ ஒரு விதத்தில் மின்சக்தியோடு
தொடர்பு கொண்டனவாகவோ, மின்சக்தி உடையனவாகவோ இருக்க
வேண்டும் என்று நாம் நம்புவது சரிதான் எனக் காட்டும் மெய்மைகள்
நிறையவே உள்ளன...¹³*

ஃ பேரே வெளியிட்ட மின்விடுபாட்டுக் கொள்கை பற்றி 1881-ஆம் ஆண்டு ஹெல் ம்ஹோல்ட்ஜ்* என்பவர் நிகழ்த்திய ஒரு விரிவுரையில் கீழ் வருமாறு கூறியிருந்தார்:

அடிப்பொருள்கள் அணுக்களால் ஆனவை என்ற துணிபை நாம் ஒப்புக் கொண்டால், மின்சாரமும், அதாவது, எதிர் மின்சாரம், நேர் மின்சாரம் இரண்டுமே, குறிப்பிட்ட சில அடிப்படைப் பகுதிகளாகப் பிரிந்திருக்க வேண்டும் என்ற முடிவுக்கும், அப்பகுதிகள் மின்சார அணுக்கள் போன்ற மெய்ப்பாடுகளை வெளிப்படுத்துபவையாக இருக்கவேண்டும் என்ற முடிவுக்கும் நாம் வருவதைத் தவிர்ப்பதற்கு இல்லை¹⁴.

இப்படிப்பட்ட கூற்றுகளால் உந்தப்பட்டே 1891-ஆம் ஆண்டு ஸ்டோனி; 'எலக்ட்ரான்' என்ற பெயரை வழக்குக்குக் கொண்டு வந்தார். அப்படிப் பெயர் சூட்டப்பட்டு ஆறு ஆண்டுகளுக்குப் பிறகே மின்துகளின் இருப்பு தாம்ஸனால் மேற்சொன்னவாறு நிறுவப்பட்டது. 'அணு' என்பது சிறிய பகுதிகளாகப் பிளவுபடக்கூடியதே என்பது தாம்ஸனுடைய கண்டுபிடிப்பால் நிறுவப்பட்டது. அணுவைத் துளைத்து அதன் உட்பகுதிகளை ஆராய முடியும் என்ற நம்பிக்கையை இந்தக் கண்டுபிடிப்பு ஏற்படுத்தியது.

1896-98 என்ற கால இடைவெளியில் ரதர்ஃபர்ட் என்ற இளம் அறிவியல் மாணவர் பேராசிரியர் தாம்ஸனுடன் சேர்ந்து, முதலில் எக்ஸ் கதிர்கள் பற்றியும், பிறகு பெக்ரல் கதிர்கள் பற்றியும் ஆராய்ச்சி செய்ய முற்பட்டிருந்தார். 1899-ல் வெளியான அவருடைய ஆய்வுத்தாள் ஒன்றில், பெக்ரல் கதிர்கள் ஒரே வகைப்பட்டவை அல்ல என்றும், அவற்றில் இரண்டு வகைகளேனும் உண்டு என்றும் குறிப்பிட்டிருந்தார். வசதி கருதி, 'ஆல்ஃபா கதிர்கள்' என்றும், 'பீட்டா

கதிர்கள்' என்றும் அவற்றுக்குப் பெயர்கூட்டி இருந்தார்¹⁵. இவற்றைத் தமிழில் 'அகரக் கதிர்கள்' என்றும், 'உகரக் கதிர்கள்' என்றும் முறையே அழைக்கலாம். இவற்றுள், பொருள்களால் எளிதில் உட்கொள்ளப்படக் கூடியவை 'அகரக் கதிர்கள்' என்றும், பொருள்களால் எளிதில் உட்கொள்ளப்படாதவை 'உகரக் கதிர்கள்' என்றும் குறிப்பிட்டிருந்தார். காந்தப் புலத்தில் அகரக் கதிர்கள் ஒருதிசையிலும் உகரக் கதிர்கள் அதன் எதிர்த்திசையிலும், திசைமடங்கிச் செல்லும் நிகழ்வுகள் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டன. 1900-ஆம் ஆண்டில் வில்லார் என்பவர், காந்தப் புலத்தில் திசைமடக்குக்கு உள்ளாகாத, மூன்றாவது வகைக் கதிர்களைக் கண்டுபிடித்து,

அவற்றுக்கு 'காமாக் கதிர்கள்' எனப் பெயரிட்டார்¹⁶. இவற்றை நாம் 'மகரக் கதிர்கள்' என்றே அழைக்கலாம். ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமா என்பவை க்ரேக்க மொழி அரிச்சுவடியின் தொடக்க எழுத்துகள். எனவே கதிர்வீச்சுத் துறையின் 'அ' னா, 'ஆ' வன்னாவை ரதர் 'ஃபர்ட்' எழுதினார் என்று சொன்னால் அது மிகையாகாது.

எதிர்மின் கதிர்கள், மின்துகள்களின் அணிவகுப்பே என்று தாம்ஸன் நிறுவியதும், பெக்ரல் கதிர்களில் உகரக் கதிர்கள் என்று ஒரு வகை உண்டு என்று ரதர் 'ஃபர்ட்' நிறுவியதும் ஒரே காலகட்டத்தில் நிகழ்ந்தன. ஆனாலும், மின்துகள்களால் ஆனவையே உகரக் கதிர்கள் என்ற தெளிவு அப்பொழுது உடனேயே பிறக்கவில்லை.

குறிப்புகள்:

1. *Proceedings of Royal Society*, 19, 1871, Page 236.
2. *Chem. News* 40, 1879, Page 127.
3. *Philosophical Magazine*, 1897, page 311.
4. *Philosophical Magazine* 48, 1899, page 547.
5. *E. Weichert, Sitzungsbur*, 38, 1897, page 3.
6. *Walter Kaufman, Ann. der Phys. Und Chem.*, 61, 1897, page 544.
7. "Forty years of physics" (letters revised and prepared by J. A. Ratcliffe) quoted in: "Background to Modern Science", ed. Joseph Needham and Walter Pagel, Cambridge University Press, London, 1938, page 61.
8. "Transactions of Royal Dublin Society", 1888-92, Volume 4, page 563.
9. *Philosophical Transactions of Royal Society*, 1734, Volume 38, page 258.
10. *Ann. der Phys. Und Chem.*, 1845, Volume 64, page 337.

11. *Ann. der Phys. Und. Chem.*, 1848, Volume 73, page 193.
12. "*A History of the Theories of Ether and Electricity*", E. Whittaker, Nelson, London, 1958, Volume 1, page 203.
13. "*Experimental Researches in Electricity*," Michael Faraday, Quaritch, London, 1939, page 852.
14. "*Selected Writings of Herman Von Helmholtz*", ed. R. Karl, Wesleyan University Press, Middletown, 1971, page 409.
15. *Philosophical Magazine* 47, 1899, page 109.
16. *Comptes Rendus*, Volume 130, 1900, page 1010 and 1178.

7. துளித்துளி...

சென்ற அதிகாரத்தில் 1899-ஆம் ஆண்டில் மின்துகள் இருப்பு உறுதியாக நிறுவப்பட்ட வரலாற்றை அறிந்துகொண்டோம். இனி, இருபதாம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில், அதாவது, அறிவியல் வரலாற்றின் திருப்புமுனையாக அமைந்த '1900' என்ற ஆண்டில் அடியெடுத்து வைக்க இருக்கிறோம். அந்த ஆண்டில்தான், புதிய நூற்றாண்டின் விடிவெள்ளியாக, ஒரு புரட்சிக் கருத்தோட்டத்தின் விதை முளைவிட்டெழுந்தது.

இருதுளைச் சோதனை மூலம், யங் என்பவர் ஒளியலைக் கூற்றை நிறுவிவிட்டதாக நம்பப்பட்ட காலத்தில் இருபதாம் நூற்றாண்டு பிறந்தது. இந்த நூற்றாண்டு பிறந்ததுமே, பதுங்கி இருந்த துகள்கூற்று திடீரென்று புதுவலிமை பெற்றுப் பாய்ந்து வந்தது. இந்த முறை, துகள் கூற்று, ஒளித்தன்மை பற்றிய ஆய்வாக இல்லாமல், வேறு திசையிலிருந்து புறப்பட்டு வந்தது. அதை விழிப்படையச் செய்தவர் மக்ஸ் ப்லங்க் என்ற அறிஞர். அதற்குச் செயல் ஊக்கம் தந்து, அதைச் சீறிப்பாயச் செய்தவர், இருபதாம் நூற்றாண்டின் இணையற்ற சிந்தனையாளரான ஆல் பர்ட் ஐன்ஷ்டைன். இந்த முறை, துகள்கூற்றின் தாக்கத்தால் துவண்டது அலைக்கூற்று மட்டுமில்லை. அத்தாக்கத்தால் இயல்பியலின் அடித்தளமே ஆட்டம் கண்டது.

குடேற்றப்பட்ட பொருள்கள் ஒளிர்வதால் வெளிப்படும் கதிர்கள் பற்றிய ஆய்வில் ப்லங்க் ஈடுபட்டிருந்தார். மேக்ஸ்வெல் நிறுவிச் சென்ற மின்காந்தக் கொள்கையின்படி ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை விட அதிக அலைநீட்டம் உடைய மின்காந்த அலைகளும், வேறு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை விடக் குறைந்த அலைநீட்டம் உடைய மின்காந்த அலைகளும், மனிதக் கண்களுக்குப் புலப்படுவவை அல்ல. இந்த இரண்டு அளவுகளின் எல்லைகளுக்கு உட்பட்ட மின்காந்த அலைகளே மனிதக் கண்களுக்குப் புலப்படுகின்றன. இவற்றையே நாம் 'ஒளியலைகள்' என்று அழைக்கிறோம். ஒளியலைகளில் மிகக் குறைந்த அலைநீட்டம் உடைய அலைகள் ஊதா நிறம் கொண்டவை; மிக அதிக அலைநீட்டம் உடைய அலைகள் சிவப்பு நிறம் கொண்டவை. இவற்றுக்கு இடைப்பட்ட அலைகள் மற்ற நிறங்களில் புலப்படுகின்றன. ஒரு பொருள் என்ன நிறம் உடையது என்பது, அப்பொருள் தன்னைத் தாக்கும் ஒளிக்கதிர்களில் என்ன அலைநீட்டங்கள் உடைய கதிர்களை உட்கொள்ளாமல் திருப்பி அனுப்பிவிடுகிறது

என்பதைப் பொறுத்ததே. எல்லாக் கதிர்களையும் திருப்பி அனுப்பிவிடும் பொருள்கள் வெள்ளைநிறப் பொருள்களாய்க் காணப்படுகின்றன. இதற்கு மாறாக, எல்லாக் கதிர்களையும் உட்கொண்டுவிடும் பொருள்கள் கருநிறம் உடையவையாக அமைகின்றன. எனவே, ஒரு முழுமையான கருப்புப் பொருள், தன் மீது விழும் ஒளிக்கதிர்கள் அனைத்தையும் உட்கொண்டுவிடுகின்றது. இதனால் ஒரு முழுமையான கருப்புப் பொருள் சூடேற்றப்பட்டு, மிக அதிக வெப்ப நிலையில் அப்பொருளே ஓர் ஒளி மூலமாக மாறி ஒளிரும்போது, மற்ற நிறம் உடைய ஒளிர் பொருள்களைக் காட்டிலும் அது மிகத் தீவிரமாக ஒளிக் கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தும். ஆதலால் முழுக் கருப்புநிறப் பொருளைச் சூடேற்றி அதன் கதிர்வீச்சு நிகழ்வைப் பலர் ஆராய்ந்து வந்தனர்.

மேற்படி ஆய்வைக் 'கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு ஆய்வு' என்று புரிந்துகொள்ளலாம். பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில், கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு பற்றிய ஆய்வு ஒரு பெரிய சிக்கலை ஏற்படுத்தியிருந்தது. இந்தச் சிக்கலைப் புரிந்துகொள்வதற்கு முன்பாக, மேற்சொன்ன ஆய்வுகளில் நிறுவப்பட்ட மூன்று விதிகளை நாம் விளங்கிக் கொள்ள வேண்டும். இவற்றுள் முதல் விதியை ஷ்டெஃஹான் என்பவரும், போல்ஸ்மன் என்பவரும் கண்டுபிடித்திருந்தனர். அந்த இருவர் பெயர்களிலும் உள்ள முதல் எழுத்துகளை வைத்து இந்த விதியை 'ஷ்டெபோல்ஸ் விதி' என்று சுருக்கமாக அழைக்கலாம். இரண்டாவது விதி கண்டுபிடிக்கப்பட வழிகோலிய அறிஞரின் பெயர் வீன் என்பதாகும். அவர் நினைவாக இதை 'வீன் விதி' என்றே அழைக்கலாம். மூன்றாவது விதியை ரேய்லி என்பவரும், ஜீன்ஸ் என்பவரும் உருவாக்கியதால், அந்த விதியை 'ரேய்லி-ஜீன்ஸ் விதி' என்று அழைக்கலாம். இந்த மூன்று விதிகளையும் புரிந்துகொள்ள முயல்வதற்குமுன், சில கலைச்சொற்களைப் பழகிக்கொள்ள வேண்டும். ஒன்று அதிகரித்தால் மற்றொன்று அதிகரிப்பதாகவும் ஒன்று குறைந்தால் மற்றொன்று குறைவதாகவும், இரண்டு பொருள்களோ, பண்புகளோ, எண்களோ, வேறெவையோ தொடர்புற்றிருந்தால், அத்தொடர்பை, 'நேர்ப்பங்குத் தொடர்பு' என்றழைக்கலாம். அப்படியின்றி, ஒன்று அதிகரித்தால் மற்றொன்று குறைவதாகவும், ஒன்று குறைந்தால் மற்றொன்று அதிகரிப்பதாகவும், இரண்டு பொருள்களோ, பண்புகளோ, எண்களோ, வேறெவையோ தொடர்புற்றிருந்தால், அத்தொடர்பை, 'எதிர்ப்பங்குத் தொடர்பு' என்றழைக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு கனியின் விளைச்சலும் விலையும் எதிர்ப்பங்குத் தொடர்புடையவை; விளைச்சல் அதிகரித்தால் விலை சரியும். ஆனால், பணவீக்கமும், பொருளின் விலைகளும் நேர்ப்பங்குத் தொடர்புடையவை. ஒன்று அதிகரித்தால், மற்றொன்றும் அதிகரிக்கும் இன்னொரு கலைச்சொல் விளக்கப்பட

வேண்டும். $2 \times 2 = 4$; $4 \times 4 = 16$ இச்சமன்பாடுகளை வேறுவிதமாகவும் சொல்லலாம். 4 என்பது, 2 என்ற எண்ணின் தற்பெருக்கம்: 16 என்பது 4 என்ற எண்ணின் தற்பெருக்கம். இவற்றை முறையே 2^2 , 4^2 எனக் குறியீட்டு மொழியில் எழுதலாம். இப்பொழுது மேற்சொன்ன மூன்று விதிகளும் என்ன சொல்கின்றன என்பதைக் காணலாம்.

ஷ்டெபோல்ஸ் விதி:

குடேற்றப்படும் கரும்பொருளின் வெப்பநிலை அதிகரிக்க, அதிகரிக்க, அந்த வெப்பநிலைக்கு நேர்ப்பங்குத் தொடர்பிலேயே அப்பொருளின் கதிர்வீச்சு ஆற்றலும் அதிகரிக்கிறது.

வீன் விதி:

குடேற்றப்படும் கரும்பொருளின் வெப்பநிலை அதிகரிக்க, அதிகரிக்க அப்பொருள் வெளிப்படுத்தும் ஒளியில், மிகுந்த வெளிச்சம் உள்ள பகுதியில், ஒளியின் அலைநீட்டம் குறைந்துகொண்டே ஊதா நிறத்தை நோக்கி மாற முற்படுகின்றது.

மேற் சொன்ன இரண்டு விதிகளையும் ஒருங்கிணைத்து வடிவமைக்கப்பட்டதே மூன்றாவது விதி.

ரேய்லி-ஜீன்ஸ் விதி:

குடேற்றப்பட்ட கரும்பொருளின் கதிர்வீச்சுத் தீவிரம், அதன் முழுமுதல் வெப்ப நிலையோடு நேர்ப்பங்குத் தொடர்பும், அதிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளியின் அலைநீட்டத் தற்பெருக்கத்தோடு எதிர்ப்பங்குத் தொடர்பும் உடையது.

முதலிரண்டு விதிகளையும் கணித முறையில் மிகச் சரியாக இணைத்திருந்த ரேய்லி-ஜீன்ஸ் விதி ஒரு குழப்பத்தை உருவாக்கியது. ஒளிவீச்சின் நீளலைப் பகுதிக்கு அந்த விதி பொருந்தியதுபோல், ஒளியின் சிற்றலைப் பகுதிக்குப் பொருந்தவில்லை. ஒளிவீச்சின் நிறம், ஊதாவை நெருங்க, நெருங்க, ஒளிரும் பொருளின் வெப்பநிலை அதற்கேற்ப அதிகரிக்காதது சோதனை மூலம் அறியப்பட்டது. இது ரேய்லி-ஜீன்ஸ் விதிக்கு முரணாக அமைந்தது. நீளலைப் பகுதிகளுக்குப் பொருந்திய விதி சிற்றலைப் பகுதிகளுக்குப் பொருந்தாத முரண்பாடு ஒரு பெரிய சிக்கலாகத் தோன்றியது. இந்த முரண்பாட்டை 'ஊதா முரண்பாடு' அல்லது 'சிற்றலை முரண்பாடு' எனக் குறிக்கலாம். இந்த முரண்பாட்டுக்குத் தீர்வு காண்பதில்தான்

பலங்க் ஈடுபட்டிருந்தார்.

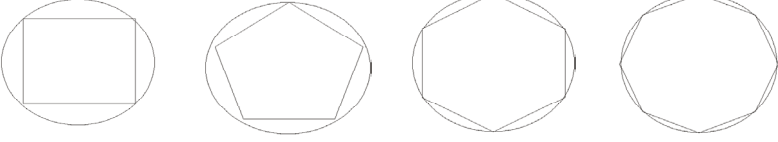
ஒளியின் எல்லாப் பகுதிகளுக்கும் ரேய்லி-ஜீன்ஸ் விதி பொருந்துமாறு அதன் கணித முறைப்பாட்டைத் திருத்தி அமைக்கும் முயற்சியில் பலங்க் வெற்றி கண்டார்¹. அப்படி திருத்தப்பட்ட நிலையில் அதிர்ச்சி தரக்கூடிய ஒரு சமன்பாட்டை பலங்க் தவிர்க்க முடியாமல் ஏற்றுக்கொள்ள வேண்டியதாயிற்று. அச்சமன்பாட்டின்படி ஒரு பொருள் உட்கொள்ளும் ஆற்றலும், வெளிப்படுத்தும் ஆற்றலும், அந்த ஆற்றலின் அதிர்வு எண்ணுடன் நேர்ப்பங்குத் தொடர்பு உடையவையாக அமையப் பெற்றன. அதாவது, ஆற்றல் என்பதை 'ஆ' என்றும், அதன் அதிர்வெண் என்பதை 'அ' என்றும் குறியீடு செய்துகொண்டால் இவ்விரண்டு மாறளவைகளும், மாறாத நிலையளவை ஒன்றின் மூலம் தொடர்பு கொண்டிருந்ததை இச்சமன்பாடு விளக்கியது. நிலையளவையை 'நி' என்று குறியீடு செய்துகொண்டால், அச்சமன்பாட்டைக் கீழ்வருமாறு எழுதலாம்:

$$\text{ஆ} = \text{நி} \times \text{அ}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில், 'அதிர்வெண்' என்பது பற்றி ஒரு விளக்கம் தேவைப்படுகிறது.

அலைகளின் உச்சி, அடிவாரம் என்ற கருத்தீடுகள் பற்றி முன்பே கண்டோம். ஓரலையின் உச்சிக்கும், அடுத்த அலையின் உச்சிக்கும் (அல்லது, ஓரலையின் அடிவாரத்துக்கும், அடுத்த அலையின் அடிவாரத்துக்கும்) இடையே உள்ள தொலைவின் அளவே அலைநீட்டம். இதுவே ஓரலையின் அளவு. ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவுக்குள் எத்தனை அலைகள் ஒரே புள்ளியைக் கடக்கின்றன என்ற மதிப்பே அவ்வலைகளின் அதிர்வெண். ஓர் அலைவகையின் ஆற்றலையும், அதிர்வெண்ணையும் தொடர்பு படுத்தும் 'நி' என்ற நிலையெண் பற்றி விளங்கிக் கொள்ளுமுன் இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்கு முன்பே வகுக்கப்பட்ட கணித நூட்பம் ஒன்றை நாம் விளங்கிக்கொள்ள வேண்டும். தனித்தனித் துளிகளாக அடுக்கப்பட்ட பொருள்களை எண்ணிவிடலாம். ஆனால் ஒரு சிறிய நேர்கோட்டில் எத்தனை புள்ளிகள் உள்ளன என்பதை எண்ணி விட முடியாது. இதற்குக் காரணம், துளிகள் குறிப்பிட்ட வரையறைக்கு உட்பட்டிருத்தல் போல், புள்ளிகள் குறிப்பிட்ட வரையறைக்கு உட்பட்டவையல்ல. அவை ஒன்றுக்கொன்று இடைவெளியின்றி முறிவற்ற ஒரு தொடர்நிலையாக விளங்குகின்றன. முறிவற்ற தொடர்நிலை ஒன்றை அளப்பது எளிது. ஆனால் அதைக் கணிப்பது எளிதன்று. ஒரு முழுவட்டம் என்பது முறிவற்ற ஒரு தொடர்நிலை. ஒரு வட்டத்தின் சுற்றளவை அளந்து விடலாம். ஆனால், அந்தச் சுற்றளவுக் கோட்டில் எத்தனை புள்ளிகள் உள்ளன என்று கணிக்க முடியாது. அதன் சுற்றளவை அளப்பது எளிது; அளக்காமல் அதைக் கணிப்பது

எளிதன்று. ஒரு வட்டத்துக்குள் பொருந்தி அடங்குமாறு ஒரு சதுரம் வரைந்தால், அச்சதுரத்தின் சுற்றளவைக் கணிப்பது எளிது. நாற்கோண சதுரத்தை எடுத்து, அறுகோணம், எண்கோணம் என அதிகக் கோடுகள் உள்ள கோணங்களை வட்டத்துக்குள் பொருந்தி அடங்குமாறு வரைய, வரைய, வரையப்படும் கோடுகளின் நீளம் குறைந்துகொண்டே போகும். கீழே உள்ள படம் இதை விளக்கும்:



(படம் 4)

கோடுகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க, அதிகரிக்க கணிக்கப்படும் சுற்றளவு, முழு வட்டத்தின் சுற்றளவை நெருங்கிக்கொண்டே வரும். எத்தனை பக்கங்கள் எனக் குறிப்பிடப்படாமல், பொதுவாக 'எக்ஸ்' என்ற மாறளவை மூலமாகப் பக்கங்கள் குறிக்கப்படும் கோணத்தின் சுற்றளவைக் கணிக்கக் குறள்நெறி வகுக்கப்பட்டுள்ளது. கோடுகளின் எண்ணிக்கையை ஒரு வரம்பின்றி அதிகரித்துக்கொண்டே போய், மேற் சொன்ன குறள்நெறி மூலமாக வட்டத்தின் சுற்றளவைக் கிட்டத்தட்டச் சரியாகக் கணிக்கும் முறையை இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்கு முன்பே க்ரேக்கர்கள் நிறுவியிருந்தனர். ஊதா முரண்பாட்டுச் சிக்கலுக்குத் தீர்வு காண இதே முறையை ப்லங்க் பயன்படுத்தினார்.

எந்தப் பொருளையும், மேலும் கீழுமாக எம்பியெம்பிக் குதித்துக்கொண்டே இருக்கும் கணக்கற்ற துளிகளின் கூட்டமாக உருவகித்துக்கொள்ளலாம் என்று 1900-ஆம் ஆண்டுக்கு முன்பே ப்லங்க் காட்டியிருந்தார். இவ்வாறு அதிர்ந்துகொண்டே இருக்கும் பொருட்துளிகளை 'அதிர்துளிகள்' எனலாம். அதிகமாக அதிரும்போது இவை வெப்பத்தையும் ஒளியையும் உட்கொள்கின்றன என்றும், அதிர்வு குறையும் போது இவை வெப்பத்தையும், ஒளியையும் கதிர்களாக வெளிப்படுத்துகின்றன என்றும், உருவகித்துக்கொள்ளலாம். வெப்பம் மற்றும் ஒளி ஆகிய ஆற்றல் வகைகள் முறிவற்ற தொடர்நிலைகள் என *மேக்ஸ்வெல்* வெளியிட்ட மின்காந்தக் கோட்பாடு நிறுவியிருந்தது. எனவே முறிவற்ற தொடர்நிலைகளான வெப்பத்தையும் ஒளியையும் அதிர்ப்பொருள்கள் எப்படி உட்கொள்கின்றன, எப்படி வெளிப்படுத்துகின்றன என்பதைக் கணிக்க மேற் சொன்ன கணித முறையை ப்லங்க் கையாண்டார். இந்த முறையின்படி, தொடர்நிலைகளான வெப்பம், ஒளி ஆகியவற்றைச்

சிறிய, சிறிய துளிகளாக அவர் உருவகித்துக்கொண்டார். அப்படி உருவகித்துக் கொள்ளப்பட்ட துளிகளின் சிறுமையைக் குறைத்துக்கொண்டே போய், கிட்டத்தட்ட தொடர்நிலையை எட்டிவிட முயன்றார். ஆனால் அப்படி உருவகித்துக் கொள்ளப்பட்ட துளிகளின் அளவை ஓர் அளவுக்கு மேல் குறைத்தால் ஊதா முரண்பாடுதான் விளைகிறது என்பதை ப்லங்க் உணர்ந்துகொண்டார். எந்த அளவுக்குக் கீழ் அத்துளிகளின் சிறுமை குறைக்கப்பட்டதும் ஊதா முரண்பாடு விளைந்ததோ அந்த அளவை, ஆற்றல் நிலையின் கீழ்வரம்பு அளவாக அவர் எடுத்துக்கொண்டார். அதாவது எந்தப் பொருளும் ஓர் அளவுக்குக் கீழ்ப்பட்ட ஆற்றலை உட்கொள்ளவோ, வெளிப்படுத்தவோ முடியாது என்பதை அவர் காட்டினார். எனவே எந்த ஆற்றலும், அதன் அதிர்வெண்ணின் ஒரு குறிப்பிட்ட பெருக்கல் தொகையாகவே அமைவதை அவர் உணர்த்தினார். அப்படிப்பட்ட பெருக்கல் தொகையை ஏற்படுத்தும் ஒரு நிலையெண்ணாக அவர் கண்டுபிடித்த அளவுதான் மேலே தரப்பட்ட சமன்பாட்டில், 'நி' என்று குறிக்கப்பட்டது. இந்த நிலையெண்ணின் மதிப்பு நினைத்துப் பார்க்க முடியாத அளவு மிகமிகச் சிறியது.

$$நி = 6.6 \times 10^{-27}$$

10^{-27} என்பது '1' என்ற எண்ணைத் தொடர்ந்து 27 சுழிகள் (பூஜ்யங்கள்) போட்டால் கிடைக்கும் மதிப்பு. 10^{-27} என்பதோ, '1' என்ற எண்ணை ' 10^{27} ' என்ற எண்ணால் வகுத்துப் பெறும் மதிப்பு; அதாவது, $10^{-27} = \frac{1}{10^{27}}$.

'நி' என்ற நிலையெண் அளவில் மிகமிகச் சிறிதாக இருப்பதாலேயே 'ஆ' என்ற ஆற்றல் மதிப்பு மிகமிகச் சிறிதாக அமைகிறது. அதனால்தான் ஆற்றல் பொட்டலங்களின் அணிவகுப்பு முறிவற்ற ஒரு தொடர்நிலை போன்ற தோற்ற மயக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்றது. 'நி' என்பதை 'ப்லங்க் நிலையெண்' என்றே குறிப்பிடுவோம்.

ப்லங்க் நிறுவிய சமன்பாட்டிலிருந்து 'ஷ்டெபோல்ஸ் விதி', 'வீன் விதி' இரண்டுமே முரண்பாடின்றிப் பெறப்பட்டன.

ஒரு கணித நுட்பமாகவே ப்லங்க் மேற்சொன்ன துணிபை அறிமுகப் படுத்தினார். அத்துணிபு தக்க சோதனை மூலம் அவரால் நிறுவப்படவில்லை. எனவே, அவர் வகுத்த சமன்பாட்டின் அதிர்ச்சி தரக்கூடிய பின்விளைவுகளை அறிவியல் உலகம் உடனடியாக உணர்ந்துகொள்ளவில்லை. அந்தக் கணித நுட்பத்திலிருந்து ஒரு கருத்தியல் கொள்கையை உருவி எடுத்து நிறுவிய பெருமையும் அதன் மூலம் அறிவியல் அடித்தளத்தையே பெரிய அதிர்ச்சிக்கு

உள்ளாக்கிய பெருமையும் ஐன்ஷ்டைனையே சேரும். அது நிகழ்ந்தது 1905-ஆம் ஆண்டு.

குறிப்புகள்:

1. *Ann. der Phys.*, Volume IV, No.3, (01.03.1901), page 553.

8. அறிவியல் சித்து

அணுவியல் ஆய்வின் அடுத்த வளர்ச்சிக்கு அடிக்கல் நாட்டியவர் 'எர்னஸ்ட் ரதர்ஃபர்ட்', இவர் ந்யூஜீ* லென்டைச் சேர்ந்தவர். கேம்ப்ரிட்ஜ் பல்கலைக் கழகத்தில் பேராசிரியராகத் தாம்ஸன் தலைமைப் பொறுப்பேற்றிருந்த கேவென்டிஷ் சோதனைக் கூடத்தில் 25 வயது இளம் மாணவராக, ரதர்ஃபர்ட் 1896-ஆம் ஆண்டு வந்து சேர்ந்தார். இரண்டு ஆண்டுகளுக்குள்ளாகவே அவர் கேம்ப்ரிட்ஜை விட்டுக் கேனடா நாட்டின் மெக்-கில் பல்கலைக் கழகத்தில் இயல்பியல் பேராசிரியராகப் பணியேற்றுக்கொண்டார். தாம்ஸனுடன் இணைந்து பணியாற்றிய அனுபவம் அவருக்கு பெரிதும் உதவியது. மெக்-கில் கழகத்தில் ஃப்ரெடரிக் ஸாடி என்ற இளைஞருடன் இணைந்து கதிரியக்கம் பற்றிய பல ஆய்வுகளில் அவர் ஈடுபட்டார். 1900 முதல் 1902 வரை இந்த ஆய்வுகள் நடத்தப்பட்டன. அந்த ஆய்வுகளில் ஒன்று 'தோரியம்' என்ற அடிப்பொருளின் கதிரியக்கம் பற்றியது. அந்த ஆய்வு பற்றிப் புரிந்துக்கொள்ளப் புதிய சில கலைச்சொற்களை நாம் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். இயல்பு நிலையில், அணுக்கள், மின்சக்தியை வெளிப்படுத்துவதில்லை. அவை மின்சீர்மை நிலையில் இருப்பதே அதற்குக் காரணம். அப்படிப்பட்ட ஓர் அணுவிலிருந்து, மின்பொதிவு கொண்ட ஓரிரு துகள்களை வெளியேறச் செய்தோ, அல்லது, அந்த அணுவுக்குள் மின்பொதிவு கொண்ட ஓரிரு துகள்களைச் செலுத்தியோ அந்த அணுவின் மின்சீர்மையைக் கலைத்து விடலாம். மின்சீர்மை கலைந்த அணு, மின்பொதிவு கொண்ட பொருள்போல் இயங்கும். இப்படி ஓர் அணுவின் மின்சீர்மையைக் கலைக்கும் நிகழ்வுக்கு, 'மின்-அணு ஆக்கல்' என்று பெயர் சூட்டலாம். மின்னணு ஆக்கத்தால் 'மின்சீர்மை கலைந்த அணுவை 'மின்னணு' என்று குறிக்கலாம். கதிர்வீச்சின் தீவிரத்தைப் பொறுத்தே, அதன் மின்னணுவாக்கல் திறன் அமைகிறது. இத்திறனை அளக்கும் கருவியை 'மின்மானி' என்று அழைக்கலாம். இப்பொழுது ரதர்ஃபர்டும், ஸாடியும் இணைந்து நிகழ்த்திய ஆய்வைக் விளக்கிக் கொள்ள முயல்வோம்.. ரதர்ஃபர்ட் அமைத்துக் கொடுத்தபடி அவருடைய மாணவர்கள், 'தோரியம்' என்ற அடிப்பொருளின் மின்னணுவாக்கல் திறனை, மின்மானி மூலம் அளக்கும் சோதனைகளில் ஈடுபட்டிருந்தனர். அச்சோதனைகளில் ஈடுபட்டிருந்த ஒரு மாணவர் திடீரென்று ஒரு குழப்பத்துடன் ரதர்ஃபர்டை அணுகினார். அந்த மாணவர் நிகழ்த்திய சோதனைகளில் தோரியத்தின் மின்னணுவாக்கல் திறன் வெவ்வேறு நேரங்களில் வெவ்வேறு அளவுகளாக இருப்பதுபோல் அவருடைய மின்மானி காட்டியதாம். குறிப்பாகச் சொல்லப் போனால், அவர் சோதனை

நிகழ்த்திக் கொண்டிருந்த சோதனைக் கூடத்தின் வாயிற் கதவுகள் திறத்திருந்தால் அதன் அளவு ஒரு மதிப்பாகவும், கதவு மூடியிருந்தால் அதன் மதிப்பு வேறாகவும் இருந்ததாம். இதைக் கேட்ட ரதர் 'ஃபர்ட்', இதுபற்றி மேலும் ஆராய்ந்ததில் ஓர் உண்மை வெளியானது. கதிர்வீச்சியக்கத்தால் தோரியம், தன்னுள் இருந்தே ஒரு புதிய வாயுவை வெளிப்படுத்தியதை அவர் கண்டுபிடித்தார். அப்புதிய வாயுவிற்குத் 'தொரான்' என்று பிறகு பெயரிடப்பட்டது. சோதனைக் கூடத்தின் கதவுகள் மூடப்பட்டிருந்தபோது, தோரியத்திலிருந்து வெளிப்பட்ட தொரான் வாயு கூடத்தை விட்டு வெளியேற வழியின்றித் தோரியத்தைச் சுற்றிச் சுழன்றுகொண்டிருந்ததை அவர் கண்டுபிடித்தார். தொரான் வாயுவும் கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தும் தன்மை உடையது என்பது புலனாயிற்று. எனவே, கூடத்தின் கதவுகள் மூடியிருந்த நிலையில் தோரியக் கதிர்வீச்சும், தொரான் கதிர்வீச்சும் சேர்ந்து, மொத்தக் கதிர்வீச்சின் தீவிரம் அதிகரித்ததால் மின்னணுவாக்கல் அதிக அளவில் நிகழ்ந்தது. சோதனைக் கூடத்தின் கதவுகள் திறந்திருந்தால், தோரியத்திலிருந்து வெளிப்பட்ட வாயு, அறையை விட்டுத் தப்பி வெளியே சென்றுவிடுகிறது. தொரான் பற்றி அறியாத மாணவர் வாயிற் கதவுக்கும், தோரியக் கதிர்வீச்சுக்கும் என்ன தொடர்பு என்று குழம்பியது சரிதானே!

ரதர் ஃபர்டும், ஸாடியும் இணைந்து, இவ்வகை ஆய்வுகளைத் தொடர்ந்து நடத்தியதில் பல உண்மைகள் வெளியாயின. தோரியத்திலிருந்து தொரான் வாயு நேரடியாக வெளிப்படுவதில்லை எனத் தெரிந்தது. தோரியம், முதலில் ஒரு புதிய பொருளாகத் திரிபு பெற்றுப் பிறகு அப்புதிய பொருள் தொரான் வாயுவாகத் திரிபு பெறுவது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அப்புதிய பொருளுக்கு 'தோரியம்-எக்ஸ்' என்று பெயரிடப்பட்டது. இந்த ஆய்வுகளில் இருந்து ரதர் ஃபர்டும், ஸாடியும் இணைந்து வெளியிட்ட¹ தீர்விற்படி கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தும் அணுக்களெல்லாம், தாமாகவே, தமக்குள்ளிருந்து, அகர அல்லது உகரத் துகள்களைக் கதிர்வீச்சாக வெளிப்படுத்தி, அதன் விளைவாகப் புதிய அடிப்பொருள் அணுக்களாகத் திரிபடைந்து, அப்புதிய அணுக்களும் கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தி வேறு புதிய அடிப்பொருள் அணுக்களாகத் திரிபடையும் தொடர்நிகழ்வுகள் தெளிவாயின. இந்தத் தீர்வைப் 'பொருட்திரிபு' என்று தமிழில் அழைக்கலாம். பச்சிலையைத் தங்கமாக்குவதாகச் சொல்லும் 'ரசவாதம்' என்ற சித்து விளையாட்டைப் போலன்றோ பொருட்திரிபுக் கொள்கை தோன்றுகிறது.

பொருட்திரிபு நிகழ்வை நிறுவியதற்காக, 1908-ஆம் ஆண்டு, ரதர்ஃபர்டுக்கு நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது. அப்பரிசு அவருக்கு இயல்பிலுக்காக வழங்கப்

படாமல் வேதியியல் துறைக்காக வழங்கப்பட்டது. இயல்பியல் அளவு வேதியியல் ஓர் அடிப்படை அறிவியல் இல்லை என்று தாம் கருதி இருந்தும், தமக்கு வேதியியலுக்கான நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது அவருக்கே வியப்பாக இருந்தது. அப்பரிசு பெற்றுக் கொண்ட விழாவில் அவர் உரையாற்றியபோது, எத்தனையோ அணுக்களின் உருமாற்றங்களைத் தாம் கண்டிருந்தும், திடீரென்று தாமே ஓர் இயல்பியல்வாதி என்ற நிலையிலிருந்து வேதியியல் வாதியாக உருமாறிய விரைவுதான் தமக்கு மிகவும் வியப்பளித்ததாகக் குறிப்பிட்டார்.²

பொதுவாக நோபெல் பரிசு பெற்ற பிறகு யாரும் தொடர்ந்து சாதனைகள் செய்ததில்லை. ஆனால், ரதர்ஃபர்ட் இதற்கு விதிவிலக்கு. நோபெல் பரிசு பெற்ற பிறகுதான் அவர் மேலும் பல அறிவியல் சாதனைகளை நிகழ்த்தினார் என்ற விவரத்தைப் பிறகு பார்க்க இருக்கிறோம். செயல்முறை அறிவியலுக்குப் பதினேழாம் நூற்றாண்டில் ஒரு சீலிலேயோ, பதினெட்டாம் நூற்றாண்டில் ஒரு லெவாய்ஸியர், பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில் ஒரு மைக்கெல் ஃபேரேடே, இருபதாம் நூற்றாண்டில் ஒரு ரதர்ஃபர்ட் என்று சொன்னால் மிகையாகாது.

குறிப்புகள்:

1. E. Rutherford and F. Soddy, *Philosophical Magazine* 4, 1902, page 370 and 569.
2. A.S. Eve, “*Rutherford*”, Cambridge Press, 1939, Page 14.

9. அலை ஓய்ந்தது

1900-ஆம் ஆண்டு ப்லங்க் வெளியிட்ட துணிபு எவ்வளவு புரட்சிகரமானது என்பதை முதலில் அவரே சரிவர உணரவில்லை. இருபதாம் நூற்றாண்டு இயல்பியலின் பெரும்பகுதியாகத் திகழும் துளிநிலைக் கொள்கை, ப்லங்க் வெளியிட்ட துணிபில் இருந்துதான் தோற்றம் கொண்டது. ஆற்றல் என்பது முறிவற்ற ஒரு தொடர்நிலையாகவே வெளிப்படுகிறது, அப்படியே உட்கொள்ளப்படுகிறது என்று மரபுக் கருத்தை மறுத்து, ஆற்றல் என்பது தனித்தனித் துளிகளாகவே வெளிப்படுகிறது என்றும், தனித்தனித் துளிகளாகவே உட்கொள்ளப்படுகிறது என்றும் ப்லங்க் வெளியிட்ட துணிபு உணர்த்தியது. ஆங்கிலத்தில், 'க்வான்டம் தியரி' எனப்படும் இக்கொள்கையைத் 'துளிநிலைக் கொள்கை' அல்லது சுருக்கமாகத் 'துளிக்கொள்கை' என்றழைக்கலாம். இது 'பகுதிக் கொள்கை' என்றும் வழங்கப்படுகிறது.

வெப்பம், ஒளி போன்ற கதிர்வீச்சுகளாக வெளிப்படும் ஆற்றல் பற்றியே இக்கொள்கை அமைந்தது. அந்தக் காலகட்டத்தில் அறிவியல் உலகுக்கு அறிமுகம் ஆகாத ஒருவர் இக்கொள்கை பற்றித் தீவிரமாகச் சிந்தித்தார். அதன் விளைவாக, ஒரு புதிய கோட்பாட்டை அவர் அறிவித்தார்.¹ அது நடந்த ஆண்டு 1905. அதைச் செய்தவர் ஸ்விட்ஜர்லென்டில் காப்புரிமைப் பதிவு அலுவலகம் ஒன்றில் உதவியாளராகப் பணியாற்றிக் கொண்டிருந்தார். அவர்தான் ஐன்ஸ்டீன்.

1905-ஆம் ஆண்டு ஐன்ஸ்டீன் அறிவித்த கொள்கையை 'ஒளிமின் விளைவு' என்று அழைக்கலாம். அதற்கு முன்பே அந்த விளைவு பற்றிய சோதனைகள் அறிவியல் வல்லுநர்கள் சிலரால் நிகழ்த்தப்பட்டிருந்தன. ஸ்தேலேதஃப் என்ற ரஷ்யப் பேராசிரியர் ஒரு சோதனை நிகழ்த்தியிருந்தார்². ஆங்கிலத்தில் ஃப்லாஸ்க், எனப்படும் வெப்ப நிலைகலன் ஒன்றில் இருந்து காற்று முழுவதையும் வெளியேற்றிவிட்டு, அதற்குள் உலோகத் தகடுகள் இரண்டை நுழைத்து வைத்து, அத்தகடுகளை ஒரு மின்கலனின் இரண்டு முனைகளுடனும் இணைத்து வைத்தார். வெப்ப நிலைகலனுக்குள் காற்றே இல்லாத காரணத்தால் மின்சாரம் பாயவில்லை. ஆனால் பாதரச விளக்கொளியை வெப்ப நிலைகலனுக்குள் இருந்த ஒரு தகட்டின் மேல் பாய்ச்சியதும், வெப்ப நிலைகலனுக்குள் மின்சாரம் பாயத் தொடங்கி மின்சுழற்சி ஏற்பட்டது. விளக்கை அணைத்தவுடன் மின்னோட்டம் நின்றுவிட்டது. அந்த நிகழ்வில் இருந்து ஸ்தேலேதஃப் மிகச் சரியான ஒரு துணிபை வெளியிட்டார். அதாவது, உலோகத் தகட்டில் இருந்து மின்சாரத்தை ஏந்திச்செல்லும் துகள்கள்

வெளிப்பட ஒளியே காரணமாகிறது என்பதுதான் அத்துணிபு. ஆனால் இரண்டு புதிர்களுக்கு அத்துணிபு விடை தரவில்லை. அலைத்தன்மை கொண்டதாக நிறுவப்பட்டிருந்த ஒளி எவ்வாறு தன் தாக்கத்தால் ஒரு தகட்டில் இருந்து துகள்களை வெளியேற்ற முடியும்? இதுவே முதல் புதிர். மேற்சொன்ன சோதனையில் வெப்ப நிலைகலனுக்குள் பாய்ச்சப்பட்ட ஒளியின் அலைநீட்டத்தை மெல்லமெல்ல அதிகரிக்கச் செய்து பார்த்தபோது, ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீட்டத்திற்கு மேற்பட்ட ஒளியலைகள் துகள்களை வெளியேற்றும் ஆற்றல் அற்றவையாகக் காணப்பட்டன. வெப்ப நிலைகலனுக்குள் வெவ்வேறு உலோகத் தகடுகள் பயன்படுத்தப்பட்டபோது, உலோகத்திற்குத் தக்கவாறு மேலே குறிப்பிட்ட அலைநீட்டம் வேறுபட்டது. இதுதான் இரண்டாவது புதிர்.

புதிர்கள் இருந்தாலும், மேற்சொன்ன சோதனைகளில் இருந்து ஒரு தெளிவு பிறந்தது. ஏதோ ஒரு விதத்தில் உலோகத் தகட்டிற்குள் ஏதோ ஒருவித ஆற்றல் ஒளியால் செலுத்தப்படுகிறது; அந்த ஆற்றலால் உந்தப்பட்டு, உலோகத்துக்குள் இருந்து மின்சாரத்தை ஏந்திச் செல்லும் துகள்கள் வெளிப்படுகின்றன.

மேலும் சில சோதனைகள் நிகழ்த்தப் பட்டதில் மேலும் சில நிகழ்வுகள் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டன. தாக்கும் ஒளியின் ஒளிர்வு, அதாவது வெளிச்சம், அதிகரிக்கப் பட்டதும், தாக்கப்பட்ட தகட்டில் இருந்து வெளிப்பட்ட துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகமானது. மேற்சொன்ன நிகழ்வை லேனார்ட் என்ற அறிஞர் கண்டறிந்தார்³. இவர் இன்னொரு விதமான சோதனையும் நிகழ்த்தினார். ஒரே நிறமுள்ள ஒளி, அதாவது, ஒரே அலைநீட்டம் கொண்ட ஒளி, ஒரு தகட்டில் பாய்ச்சப்பட்டது. அத்தகட்டிலிருந்து வெளிப்பட்டு விரைந்த துகள்களின் விரைவை லேனார்ட் அளந்தார். அதிக விரைவு என்றால் அதிக ஆற்றல். துகள்களின் விரைவில் இருந்து அவற்றின் ஆற்றலை அவர் கணித்தார். அச்சோதனையில் ஒளி மூலத்தைத் தகட்டுக்கு அருகாமையில் கொண்டு சென்றதும் வெளிப்பட்ட துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்ததே அல்லாமல் அத்துகள்களின் விரைவும் ஆற்றலும் அதிகரிக்கவில்லை. இதுவும் ஒரு புதிராக இருந்தது.

மேற்சொன்ன குழப்பங்களுக்கெல்லாம் முற்றுப்புள்ளி வைக்கக்கூடிய ஒரு தீர்வாகவே ஐன்ஸ்டீனின் ஆய்வுத்தாள் அமைந்தது.

பலங்க் அறிமுகப்படுத்திய சமன்பாட்டிலிருந்தே மேற்சொன்ன குழப்பங்களுக்குத் தீர்வு காண முடியும் என்று அந்த ஆய்வுத்தாளில் ஐன்ஸ்டீன்

விளக்கியிருந்தார். ப்லங்க் சமன்பாடு உணர்த்திய துளிக்கொள்கை எப்படி மேற்சொன்ன குழப்பங்களுக்கு ஒரு தீர்வாக அமைந்தது என்பதை இப்பொழுது நாம் புரிந்துகொள்ள முற்படலாம்.

மேக்ஸ்வெல் நிறுவிய மின்காந்தக் கோட்பாட்டின்படி, ஆற்றல் என்பது முறிவற்ற ஒரு தொடர்நிலைப் பரப்பாகவே கருதப்பட்டு வந்தது. ஆனால் ப்லங்க் வகுத்த சமன்பாடு அக்கருத்துக்கு மறுப்பாக அமைந்தது. ப்லங்க் சமன்பாட்டை ஒரு மெய்விளக்கக் கொள்கையாகவே ஏற்றுக்கொண்டால், ஆற்றல் என்பது ஒரு தொடர்நிலைப் பரப்பில்லை என்பதையும், அது சின்னஞ்சிறு துளிகளாகவே வெளிப்படுவதையும், அவ்வாறே அது உட்கொள்ளப்படுவதையும் ஒப்புக் கொள்ளத்தான் வேண்டும். ப்லங்க் சமன்பாட்டின்படி, ஒரே அதிர்வெண், அதாவது, ஒரே அலைநீட்டம் கொண்ட ஒளி, ஒரே அளவு ஆற்றலுள்ள துளிகளாகத்தான் வெளிப்படக்கூடும்; அப்படியே உட்கொள்ளப்படக்கூடும். ஓர் அளவுக்கு மேல் ஆற்றலுடைய ஒளித்துளியே ஒரு குறிப்பிட்ட உலோகத்தின் மின்துகள்களைத் தாக்கி வெளியேற்ற முடியும். அந்த ஆற்றலின் அளவு, உலோகத்துக்கு உலோகம் மாறுபடும். எனவே ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்கு மேல் அலைநீட்டம் உடையவையாகக் கருதப்படும் ஒளியலைகள் (மின்காந்த அலைகள்), ஒரு குறிப்பிட்ட உலோகத்திலிருந்து மின்துகள்களை வெளியேற்ற முடியாமல் இருப்பதற்குக் காரணம், அந்த ஒளியலைகள் ஆற்றலில் குறைந்த துளிகளின் அணிவகுப்பாக இருப்பதே என்று ஐன்ஷ்டைன் தெளிவு செய்தார். வெப்பம், ஒளி எனப் பல வடிவங்களாக அலைநீட்டத்தால் வேறுபட்டு, அண்டப் பெருவெளி எங்கும் பரவி விரையும் மின்காந்த சக்தி அல்லது ஆற்றல், அலைகள்போல் தோன்றினாலும், உண்மையில் அது சின்னஞ்சிறு ஆற்றல் துளிகளின் அணிவகுப்பே என்பதை ஐன்ஷ்டைன் விளக்கினார். அத்துணிபு அறிவியல் உலகத்தை அதிர்ச்சிக்கு உள்ளாக்கியது. அணுக்கள் என்ற சின்னஞ்சிறு துகள்களால் ஆனவை பொருள்கள் என்றும், அப்படியில்லாமல் முறிவற்ற ஒரு தொடர்நிலையாகப் பரவிக் கிடப்பது ஆற்றல் என்றும், பொருளையும் ஆற்றலையும் வேறுபடுத்தியே பேசி வந்த பழக்கத்தால், அறிவியல் உலகம், துளிக்கொள்கையை ஏற்கத் தயங்கியது. ஆனால், சோதனை மேல் சோதனை துளிக்கொள்கையை மேலும் மேலும் உறுதி செய்ததால், அறிவியல் உலகம் தன்னுடைய பல நூற்றாண்டுப் பழக்கத்தை மாற்றிக்கொள்ள வேண்டிய கட்டாயத்துக்கு ஆளானது. பொருள், ஆற்றல் என்ற பாகுபாட்டைத் துளிக்கொள்கை வேரோடு வெட்டிச் சாய்த்தது.

ஒளிமின் விளைவிலிருந்து ஐன்ஷ்டைன் துணிபு செய்த கூற்றுகளை நாம் கீழே தரப்பட்டுள்ளவாறு புரிந்துகொள்ளலாம்:

1. 'ஒளி' என்பது சிறிய துகள்களால் ஆனது.
2. ஓர் ஒளித்துகளின் ஆற்றலும், அதன் அதிர்வெண்ணும் நேர்ப்பங்குத் தொடர்புடையவை. அதாவது, அதிக அதிர்வெண் (குறைந்த அலைநீட்டம்) கொண்ட ஒளியின் துகள்கள் அதிக ஆற்றல் உள்ளவை. எடுத்துக்காட்டு: ஊதாக் கதிர்கள், புற ஊதாக்கதிர்கள், எக்ஸ் கதிர்கள். குறைந்த அதிர்வெண் (அதிக அலைநீட்டம்) உடைய ஒளித்துகள்கள் குறைந்த ஆற்றல் உள்ளவை. எடுத்துக்காட்டு: சிவப்புக் கதிர்கள், குறுஞ்சிவப்புக் கதிர்கள், வானொலிக் கதிர்கள்.
3. வெவ்வேறு ஆற்றலளவு கொண்ட ஒளித்துகள்கள் ஓர் உலோகத் தகட்டைத் தாக்கும்போது, அத்தகட்டிலிருந்து வெளிப்படும் மின்துகள்களின் வேகங்களும் அவற்றுக்கேற்ப வேறுபடுகின்றன. இந்நிகழ்வில், ஒளித்துகளின் ஆற்றலும் மின்துகளின் வேகமும் நேர்ப்பங்குத் தொடர்புடையவை. அதிக ஆற்றலுள்ள (அதிக அதிர்வெண் உள்ள) ஒளித்துகள் தாக்கத்தால் வெளிப்படும் மின்துகளின் வேகம் அதிகமாக இருக்கும்; குறைந்த ஆற்றலுள்ள (குறைந்த அதிர்வெண் உள்ள) ஒளித்துகள் தாக்கத்தால் வெளிப்படும் மின்துகளின் வேகம் குறைவாக இருக்கும்.
4. ஒரே அதிர்வெண், அதாவது, ஒரே நிறம் உடைய ஒளித்துகள்கள் அதிக எண்ணிக்கையில் ஓர் உலோகத் தகட்டைத் தாக்கினால், தகட்டிலிருந்து வெளியேறும் மின்துகள்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாயிருக்கும். ஒளித்துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்தால், மின்துகள்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கும். ஆனால், தாக்கும் ஒளித்துகள்களின் எண்ணிக்கையுடன், வெளியேறும் மின்துகள்களின் வேகத்துக்கோ, ஆற்றலுக்கோ தொடர்பில்லை.

மேற்சொன்ன விளக்கத்திலிருந்து, தெளிவாக, மீண்டும் நினைவுபடுத்திக் கொள்ள வேண்டிய ஒரு கூற்று உண்டு. குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணுக்குக் கீழ்ப்பட்ட அதிர்வெண் கொண்ட ஒளி உலோகத் தகட்டிலிருந்து மின்துகளை வெளிப்படுத்துவதில்லை. இந்தக் குறைந்தமட்ட அதிர்வெண், உலோகத்துக்கு உலோகம் மாறுபடுகிறது. அந்தக் குறைந்தமட்ட அளவுக்குக் கீழ்ப்பட்ட அதிர்வெண் கொண்ட ஒளி, உலோகத் தகட்டின் வெகு அருகாமையிலிருந்து பாய்ச்சப்பட்டாலும், அதிக நேரம் பாய்ச்சப்பட்டாலும், தகட்டிலிருந்து மின்துகள் எதையும் வெளிப்படுத்துவதில்லை.

இதன் காரணம் என்ன? எத்தனை வெளிச்சமாக, எவ்வளவு நேரத்துக்கு ஒளி பாய்ச்சப் பட்டாலும், அதன் ஆற்றல் அதிகரிப்பதில்லை, அதிக நெருக்கமோ, அதிக நேரமோ, ஒளியின் ஆற்றலை அதிகரிப்பதில்லை. ஒளி என்பது துளிகளாக இல்லாமல், ஒரு முறிவற்ற தொடர்நிலையாக இருக்குமேயானால், அதிக எண்ணிக்கை அலைகள் அதிக ஆற்றலைத் தரவேண்டும். அப்படி நிகழ்வதில்லை என்பதையே ஒளிமின் விளைவு காட்டியது. எனவே, ஒளிமின் விளைவு பற்றிய ஆய்வுத்தாள் வெளியான பிறகே ப்லங்க் செய்த துணிபு ஒரு கொள்கையாக வடிவம் பெற்றது.

ஒளிமின் விளைவுக் கோட்பாட்டைத் தொடர்ந்து சார்புக் கொள்கையின் மூலம் பெரிய அறிவியல் புரட்சியை, ஐன்ஷ்டைன் செய்திருந்தும், 1921-ஆம் ஆண்டு அவருக்கு நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டபோது, விருதுக் குறிப்பில், ஒளிமின் விளைவு பற்றிய ஆய்வுத்தாள் மட்டுமே குறிப்பிடப்பட்டிருந்தது. அதற்குக் காரணம், அடிப்படையில் ஆற்றலுக்கும் பொருளுக்கும் வேறுபாடில்லை என்ற உண்மையை ஒளிமின் விளைவு நிறுவியதே. இதிலிருந்தே இருபதாம் நூற்றாண்டின் புரட்சிகரமான இயல்பியல் கருத்துகள் அனைத்தையும் கணித்து நிறுவிவிடலாம். எனவே, இந்த நூற்றாண்டின் அறிவியல் புரட்சிக்கு அடித்தளமாக அமைந்தது ஒளிமின் விளைவுக் கொள்கையே என்று துணிந்து சொல்லலாம்.

1905-ஆம் ஆண்டு, ஒளிமின் விளைவு மூலம் ஓர் அறிவியற் புரட்சிக்கு வழிகோலிய ஐன்ஷ்டைன், அதே ஆண்டில் இன்னுமோர் அறிவியற் புரட்சிக்கும் காரணமானார். அதை அடுத்த அதிகாரத்தில் நோக்கலாம்.

குறிப்புகள்:

1. *Ann. der Phys.*, 17, 1905, No.1, page 132.
2. *ABC's of Quantum Mechanics*, V. Rydник, Translated by George Yaukovsky, Peace Publishers, Moscow.
3. *Ann. der Phys.*, 11, 1903, page 636.

10. தனிச்சார்புக் கொள்கை

ஒன்றின் இருப்பு அல்லது இயக்கம் ஒரு குறிப்பிட்ட முறைப்பாட்டைப் பொறுத்ததாக இருக்கும் தன்மையை அதன் சார்புத் தன்மை எனலாம். நீளம், அகலம், தொலைவு போன்ற அளவைகளும், இயக்க விதிகளும் முறைப்பாட்டுக்கு ஏற்ப மாறும் என்பதே இயல்பியல் கருத்தோட்டத்தில் 'சார்புக் கொள்கை' எனப்படுகிறது. ஐன்ஷ்டைனுக்கு முன்பே சார்புக் கொள்கை இருந்தது. இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்கு முன்பே இடம், காலம் ஆகிய அளவைகளின் சார்புத் தன்மை பற்றி வியப்புக்கு உரிய சில முரண்பாடுகளை ஜீ*னோ போன்ற க்ரேக்கச் சிந்தனையாளர்கள் வகுத்திருந்தனர். கேலிலேயோ, நியூட்டன் போன்ற சிந்தனையாளர்களும் ஒருவிதமான சார்புக் கொள்கை பற்றி எழுதியுள்ளனர். ஆனால் சார்புக் கொள்கை என்பது பற்றி மிகத் தீவிரமாகச் சிந்தித்து அண்டப் பெருவெளியின் இயக்கம் அனைத்துக்கும் பொருந்துமாறு சார்புக் கொள்கையை விரிவு செய்து, முழுமை செய்தவர் ஐன்ஷ்டைன் மட்டுமே. ஐன்ஷ்டைனுடைய கொள்கை, 'சார்புக் கொள்கை' என்றழைக்கப்பட்டாலும், மெய்யாக அது அப்படியில்லை. ஒளியின் விரைவு எந்த முறைப்பாட்டையும் சாராதது என்ற உண்மையை அறிவித்த சார்பின்மைக் கொள்கையே அது. 1905-ஆம் ஆண்டு, இரண்டு அறிவியல் தாள்களில், ஐன்ஷ்டைன் தம்முடைய சார்புக் கொள்கையின் முதற்சிந்தனைகளை விவரித்திருந்தார்¹. இந்த இரண்டு தாள்களிலும் அவர் விவரித்திருந்த கொள்கை சீர்கதியில் நகரும் பொருள்களுக்கும் முறைப்பாடுகளுக்கும் மட்டுமே பொருந்துவதாக அமைந்திருந்தது. கிட்டத்தட்டப் பத்தாண்டுகள் கழித்து, அவர் வெளியிட்ட விரிவான கொள்கை, சீர்கதி இயக்கங்களுக்கு மட்டுமன்றி, மாறுகதி இயக்கங்கள் உட்பட எல்லா விதமான இயக்கங்களுக்கும் பொருந்துவதாக அமைந்தது. 1905-ல் அவர் வெளியிட்ட கொள்கையைத் 'தனிச்சார்புக் கொள்கை' என்றும், பிற்பாடு 1916-ஆம் ஆண்டு, அவர் வெளியிட்ட கொள்கையைப் 'பொதுச்சார்புக் கொள்கை' என்றும் அழைக்கலாம்.

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் நிலவிய அறிவியற் குழப்பம் ஒன்றுதான் சார்புக் கொள்கை பற்றிச் சிந்திக்க ஐன்ஷ்டைனைத் தூண்டியது. அந்தக் குழப்பம், 'ஈத்தர்' என்ற நுண்புலம் பற்றிய குழப்பமே. 'ஒளி' என்பது அலைகளே என்று யங் நிகழ்த்திய சோதனைகளும், மேக்ஸ்வெல் வகுத்த மின்காந்தக் கோட்பாடும் நிறுவிவிட்டதாக நம்பப்பட்ட காலம் அது. அலைகள் பரவவேண்டுமானால், ஊடகம் ஒன்று தேவை என அறிஞர்கள் கருதினர். 'காற்று' என்ற ஊடகம் இன்றி ஒலியலைகள் பரவ முடியுமா? 'நீர்நிலை' என்ற ஊடகமின்றி

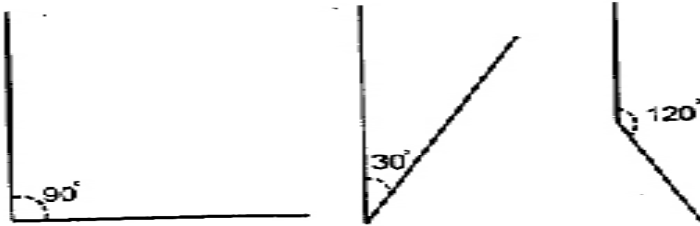
நீரலைகள் தோன்ற முடியுமா? எனவே ஒளியலைகள் பரவ ஓர் ஊடகம் தேவைதானே! இப்படித்தான் அவர்கள் சிந்தித்தனர். காற்றே இல்லாத வெட்ட வெளியில் கூட ஒளியலைகள் விரைகின்றன. கதிரவன், தொலைதூர விண்மீன்கள் ஆகியவற்றிலிருந்து புறப்படும் ஒளி, பரந்த வெட்டவெளியைக் கடந்துதானே பூமியை வந்தடைகிறது! எனவே வெட்டவெளி என்பது எதுவுமற்ற காலியிடமாக இருக்க முடியாது. ஒளியலைகள் பரவக்கூடிய வகையில் ஏதோ ஒரு நுட்பமான ஊடகம் வெட்டவெளியை நிறைத்துக்கொண்டிருக்க வேண்டும். இப்படியெல்லாம் சிந்தித்துத் தாங்கள் கற்பித்துக் கொண்ட ஊடகத்துக்கு 'ஈத்தர்' என்று அக்காலத்து இயல்பியல் அறிஞர்கள் பெயர் சூட்டியிருந்தனர். அதுதான் இந்நூலில் 'நுண்புலம்' என்றழைக்கப்படுகிறது.

வெட்டவெளி உட்பட, எங்கும் நுண்புலம் நிறைந்திருப்பதாகக் கற்பித்துக் கொள்ளப்பட்டது. அதனால் இரண்டு சிக்கல்கள் ஏற்பட்டன. பூமி முதலான கோள்கள் சுழலவும் விரையவும் அனுமதிப்பதாக நுண்புலம் இருந்தாக வேண்டும். இது முதற்சிக்கல். கோள்களெல்லாம் தன்னில் நகர்ந்து கொண்டிருக்கத் தான்மட்டும் அசையாமல் அது இருக்கவேண்டும். இது அடுத்த சிக்கல். அப்படி ஒரு நுண்புலத்தின் மெய்யிருப்பை நிறுவப் பல சோதனைகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. ஆனால், எந்தச் சோதனையிலும் அது நிறுவப் படவில்லை. இருந்தாலும், நுண்புலம் இருந்தே ஆகவேண்டும் என்ற நம்பிக்கையை அறிவியல் உலகம் இழக்கத் தயாராக இல்லை. நுண்புலத்தின் மெய்யிருப்பை நிறுவக் கூடிய அளவுக்கு நுட்பமான சோதனைச் சாதனங்கள் இன்னும் அமைக்கப்படவில்லை என்றே பலர் கருதினர். ஆனால், ஒரு குறிப்பிட்ட சோதனை மட்டும், நுண்புலத்தின் மெய்யிருப்பில் அறிவியல் உலகம் வைத்திருந்த நம்பிக்கையை வெகுவாக ஆட்டம் காணச் செய்தது. அந்தச் சோதனையை நிகழ்த்தியவர்கள் மைக்கல்ஸன், மார்லி என்ற இருவர். அச்சோதனை, 'மைக்கல்ஸன் - மார்லி சோதனை' என்றே அழைக்கப்படுகிறது². இதைச் சுருக்கமாக, 'மைக் - மார்லி சோதனை' என்று குறிப்பிடலாம்.

மைக் - மார்லி சோதனையின் அடிப்படைச் சிந்தனையைக் கீழ்வருமாறு விளங்கிக் கொள்ளலாம். அமைதியான கடலில் சீராக மிதக்கும் கப்பலின் இயக்கத்தைக் கப்பலுக்குள் இருந்துகொண்டே அறிய முடியாது. அதேபோல நுண்புலக் கடலில் மிதக்கும் பூமியின் இயக்கத்தையும் பூமியின் மேல் இருந்துகொண்டே அறிய முடியாது. கப்பலின் வேகத்தைக் கப்பலில் சென்றுகொண்டே எப்படிக் கணிப்பது? முடிச்சுகள் போட்ட கயிற்றுடன் பிணிக்கப்பட்ட கட்டை

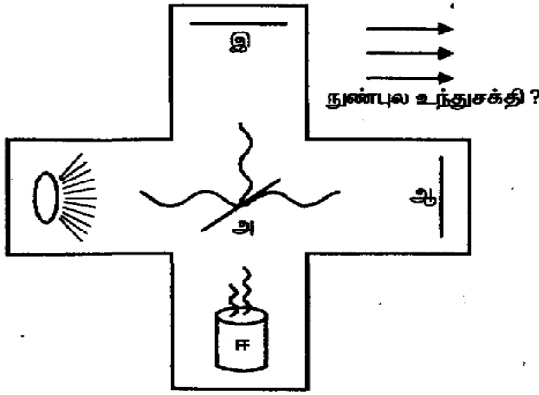
ஒன்றைக் கடலில் எறிந்து, கப்பல் இயக்கத்தால் கட்டையிலிருந்து அவிழ்ந்து வரும் முடிச்சகளைக் கணக்கிடுவதன் மூலம், கப்பலின் வேகம் கணிக்கப்படும் வழக்கம் இருந்தது. அதைப் பின்பற்றி, மைக்கல்ஸன் - மார்லி, நுண்புலக் கடலில் மிதக்கும் புவிக்கோளத்தின் வேகத்தை அறிய, நுண்புலக் கடலுக்குள் ஒரு கட்டையைத் தூக்கி எறிந்தார்கள். அது வெறும் மரக்கட்டை இல்லை. அது ஓர் ஒளிக்கற்றை! புவிக்கோளத்தில் இருந்து விட்டெறியப் பட்ட ஒளிக்கற்றை, நுண்புலக் கடலில் விழுந்தவுடன், அதன் வேகம், புவியின் இயக்கத் திசையைப் பொறுத்து மாறித் தோன்றக் கூடும். நுண்புலக் கடலில் புவி செல்லும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் ஒளிக்கற்றை எறியப்பட்டால், அதன் வேகம், புவியைப் பொறுத்தவரை அதிகரித்துக் காணப்பட வேண்டும்; புவி செல்லும் திசையிலேயே அது எறியப்பட்டால் அதன் வேகம் குறைவாகக் காணப்பட வேண்டும். ஒளியின் இயல்பான வேகம் வினாடிக்கு 1,86,284 மைல். புவி, சூரியனைச் சுற்றி வரும் வேகம் வினாடிக்கு 20 மைல். எனவே புவி செல்லும் திசையிலேயே ஒளிக்கற்றையை நுண்புலக் கடலில் எறிந்தால் அந்த ஒளிக்கற்றையின் வேகம் வினாடிக்கு 20 மைல் குறைவாகக் காணப்பட வேண்டும்; அதாவது, அதன் வேகம் வினாடிக்கு 1,86,264 மைல்களாகக் காணப்பட வேண்டும். அதே போலப் புவி செல்லும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் எறியப்படும் ஒளிக்கற்றையின் வேகம் வினாடிக்கு 1,86,304 மைல்களாக அதிகரிக்க வேண்டும். இந்தச் சிந்தனைகளோடு மைக் - மார்லி சோதனை வடிவமைக்கப்பட்டது. மைக் - மார்லி சோதனையைப் படம் வரைந்து விளங்கிக் கொள்ளுமுன், ஒரு கலைச்சொல்லாக்கத்தைத் தெளிவு செய்துகொள்ள வேண்டும்.

படம் ஐந்தில் காட்டியுள்ளவாறு இரண்டு கரங்களுக்கு இடைப்பட்ட அளவு, தமிழில் 'பாகை' என்று குறிக்கப்படுகிறது. அதைக் 'கோண்' என்றும் குறிக்கலாம். 30 பாகை (கோண்), 90 பாகை (கோண்) என்பவற்றை 30°, 90° என்றெல்லாம் குறியீடு செய்துகொள்ளலாம்.



(படம் 5)

இப்பொழுது மைக்-மார்லி சோதனையின் செய்முறையை ஒரு படம் வரைந்து விளங்கிக்கொள்ளலாம்:



(படம் 6)

மேலே உள்ள படம் மைக்- மார்லி சோதனையின் வடிவமைப்பை ஓரளவு விளக்கக் கூடும். படத்தில் 'அ', 'ஆ', 'இ' மூன்றும் மூன்று ஆடிகள். 'ஈ' என்பது ஒரு நுண்ணோக்கி. நேர்கோட்டில் செல்லக்கூடிய ஒளிக்கதிர்களை வெளிப்படுத்தும் ஓர் ஒளி மூலத்திலிருந்து புறப்படும் ஒளிக்கற்றை 'அ' என்ற ஆடியில் விழுமாறு அமைக்கப்பட்டது. 'அ' என்ற ஆடி, ஒளிக்கற்றையின் நேர்கோட்டுப் பாதைக்கு 45 கோண சாய்மானத்தில் அமைக்கப்பட்டிருந்ததாலும், அந்த ஆடியின் பாதிப் பகுதி மட்டுமே ரசம் பூசப்பட்டிருந்ததாலும், அந்த ஆடி, ஒளிக்கதிரை இரண்டாகப் பிரித்து, ஒரு கதிரை 'ஆ' என்ற ஆடிக்கும், இன்னொரு கதிரை 'இ' என்ற ஆடிக்கும் அனுப்பியது. அதாவது, 'அ' என்ற ஆடியின் ரசம் பூசப்படாத பகுதி ஒரு கதிரைத் தன்னூடே புகச் செய்து மறுபுறம் நேர்கோட்டிலே 'ஆ' என்ற ஆடியை நோக்கிச் செல்ல வைத்தது; மதன் ரசம் பூசப்பட்ட பகுதியோ மற்றொரு கதிரை 90 கோண சாய்மானத்தில் திசை திருப்பி, 'இ' என்ற ஆடியை நோக்கிச் செலுத்தியது. 'ஆ', 'இ' ஆகிய இரண்டு ஆடிகளுமே முழுக்க ரசம் பூசப்பட்டவை. எனவே அவற்றின் மேல் விழுந்த ஒளிக்கதிர்களை அவை வந்த திசையிலேயே திருப்பி அனுப்பி வைத்தன. அப்படி அனுப்புமாறு 'ஆ', 'இ' என்ற இரண்டு ஆடிகளுமே தம்மை நோக்கி வந்த கதிர்களுக்கு 90 கோண சாய்மானத்தில் வைக்கப்பட்டிருந்தன. இவ்வாறாக இரண்டு திசைகளிலிருந்தும் திரும்பி வந்த

ஒளிக்கதிர்கள் மீண்டும் 'அ' என்ற ஆடியைத் தாக்கின. அப்படித் தாக்குமுன் அவ்விரண்டு கதிர்களும் இரண்டிரண்டாகப் பிரிந்து அவற்றுள் ஒரு கதிர் 'அ' என்ற ஆடியின் ரசப் பகுதியையும், மற்றொரு கதிர் அதன் ரசம் பூசப்படாத பகுதியையும் தாக்கின. 'இ'யிலிருந்து 'அ'வின் ரசம் பூசப்படாத பகுதியைத் தாக்கிய கதிரும், 'ஆ'விலிருந்து வந்து 'அ'வின் ரசப்பட்ட பகுதியைத் தாக்கிய கதிரும் 'ஈ' என்ற நுண்ணோக்கியை அடைந்தன. நுண்ணோக்கியை அடைந்த இரண்டு கதிர்களில், ஒன்று மற்றொன்றை விடச் சற்றே காலம் தாழ்த்தி 'அ' என்ற ஆடியை அடைந்திருந்தாலும் 'ஈ' என்ற நுண்ணோக்கியின் வாயிலில் அலைக்குறுக்கீட்டு வளையங்கள் தோன்றியிருக்க வேண்டும். ஆனால் அப்படி எதுவும் தோன்றாமையால் இரண்டு கதிர்களும் 'ஆ', 'இ' ஆகியவற்றிலிருந்து ஒரே நேரத்தில் 'அ' என்ற ஆடியை அடைந்தன என்பது தெளிவாகியது. அதாவது அவ்விரண்டு கதிர்களும் ஒரே வேகத்தில் திரும்பி வந்தன என்பது உறுதியாக நிறுவப்பட்டது. படத்தின் மேல் ஓரத்தில் காட்டியிருப்பதுபோல் 'நுண்புல உந்து' என்ற உந்து சக்தி அல்லது எதிர்ப்பு சக்தி இருந்திருக்குமேயானால் 'அ-ஆ-அ' என்ற பாதையைக் கடந்த ஒளிக்கதிர், 'அ-இ-அ' என்ற பாதையைக் கடந்த ஒளிக்கதிரை விட அதிக நேரம் எடுத்துக்கொண்டிருக்க வேண்டும். எனவே, 'நுண்புலத்தின் உந்து சக்தி' என்ற ஒன்று இருப்பதாகக் கற்பித்துக்கொள்ள அடிப்படை எதுவும் இல்லை என்பதை இச்சோதனை நிறுவியது. அலைக்குறுக்கீட்டு நிகழ்வைக் கண்டறியப் பயன்படுத்தப் பட்டதால் இச்சாதனத்தை, 'அலைக்குறுக்கீட்டு மானி' என்று அழைக்கலாம். இந்த மானியின் கரங்களுக்குள்ள்தான் மேலே சொல்லப்பட்டவாறு ஒளிக்கதிர்கள் செலுத்தப்பட்டுச் சோதனை நிகழ்த்தப்பட்டது. அக்கரங்களுக்குள்ள்தான் மேற்சொன்னவாறு ஆடிகள் பொருத்தப்பட்டிருந்தன. இச்சாதனத்தை அப்படியே 90 கோண் சாய்மானத் திருப்பங்களில் மாற்றி மாற்றி வைத்து இதே சோதனை நிகழ்த்தப் பட்டபோதும் 'ஈ' என்ற நுண்ணோக்கி வாயிலில் அலைக்குறுக்கீட்டு வளையங்கள் தென்படவே இல்லை. இதே சோதனையின் அடிப்படைக் கருத்தை மேலும் தெளிவாகவும் எளிதாகவும் விளங்கிக்கொள்ள இரண்டு விமானங்களை வைத்து ஒரு நிகழ்வைக் கற்பனை செய்துகொள்ளலாம். வானவெளியின் ஒரு புள்ளியிலிருந்து இரண்டு விமானங்கள் இரண்டு திசைகளில் பிரிந்து சென்று, மீண்டும் அதே புள்ளிக்குத் திரும்பி வருவதாக வைத்துக்கொள்வோம். இரண்டு திசைகளும் ஒன்றுக்கொன்று 90 கோண் சாய்மானத்தில் அமைந்திருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். இரண்டு விமானங்களும் ஒரே வேகத்தில் செல்வதாகவும் வைத்துக்கொள்வோம். மேற்சொன்ன இருவிமானங்களும் ஒரு புள்ளியிலிருந்து இருவேறு திசைகளில் சமதொலைவிற்குப் பிரிந்து சென்று மீண்டும் அப்புள்ளியை வந்தடைவதாக வைத்துக்கொள்வோம். விமானங்களின் வேகங்களை மாற்றிவிடும்

அளவிற்கு வானவெளியில் காற்று இல்லை என்று வைத்துக்கொண்டால் இரு விமானங்களுமே ஒரே நேரத்தில் மூலப்புள்ளியை மீண்டும் வந்தடையும். ஆனால் இரண்டு விமானங்களும் பிரிந்து சென்ற திசைகளில் ஏதேனும் ஒரு திசைக்கு எதிர்த்திசையாக, மணிக்கு 100 மைல் வேகத்தில் காற்று வீசுமேயானால், அந்தத் திசையில் சென்று வந்த விமானம் மற்றொரு விமானத்தை விடச் சிறிது காலம் கடந்தே மூலப்புள்ளியை அடையும். இரண்டு விமானங்களுக்குப் பதிலாக இரண்டு ஒளிக்கதிர்களையும், காற்றுக்குப் பதிலாக நுண்புலத்தையும் உருவகித்துக்கொண்டால் அதுவே மைக்-மார்லி சோதனையாகிறது.

மேற்சொன்ன சோதனையின் மூலம் நுண்புலம் என்றொரு பரப்பு அறியப்பட முடியாத ஒன்று என்பது மட்டுமே நிறுவப்பட்டது. மேலும் சொல்லப் போனால் ஒளியின் வேகம் எத்திசையிலும் மாற்றமின்றி ஒரே அளவாக இருக்கிறது என்பதைத்தான் அச்சோதனை நிறுவியது.

மேற்சொன்ன முடிவு அறிவியற் சிந்தனையாளர்களைத் திகைக்க வைத்தது. ஒளியின் வேகம் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே அளவாக இருக்கவேண்டுமானால் ஒன்று, நுண்புலத்தின் மெய்யிருப்பை மறுத்துவிட வேண்டும்; அல்லது, புவியின் இயக்கத்தையே மறுத்துவிட வேண்டும். இந்தக் குழப்பம் கிட்டத்தட்ட கால் நூற்றாண்டுக் காலம் நீடித்தது. அந்தக் காலகட்டத்தில் மைக்-மார்லி சோதனைகளில் நுண்புலம் அறியப்பட முடியாமல் போனதற்குப் பல விளக்கங்கள் பலரால் தரப்பட்டன. அவற்றுள், ஃபிட்ஜ்*ரல்ட் என்பவருடைய விளக்கம் குறிப்பிடத் தக்கது. நுண்புலத்தினூடே, நுண்புலத்தின் உந்து சக்தியை எதிர்கொண்டு நகரும் பொருள்கள் அனைத்தும் தாங்கள் நகரும் திசையில், அளவில் குறுகுகின்றன என்பதே, 1893-ஆம் ஆண்டு, அவர் வெளியிட்ட துணிபு. அப்படியானால் மைக்-மார்லி சோதனையில், அலைக்குறுக்கீட்டு மானியின் ஒரு கரம் நுண்புலத்தின் உந்து சக்தியால் குறுகி இருக்கக் கூடும். இதன் விளைவாக, அத்திசையில் சென்று வந்த ஒளிக்கதிரின் பயணத் தொலைவு, அளவில் குறைந்திருக்கக் கூடும். இதனால்தான், ஒளிக்கதிரின் வேகம் குறைவுபட்டாலும், அதற்கேற்ப அதன் பயணத் தொலைவு குறுகியதால் அதன் பயண நேரத்தில் மாற்றமில்லாமல் போயிருக்கலாம். எனவே 'இ' ஆடியைத் தொட்டுவிட்டு வந்த கதிரும் 'ஆ' ஆடியைத் தொட்டுவிட்டு வந்த கதிரும் தங்கள் பயணங்களுக்கு எடுத்துக்கொண்ட கால அளவுகள் சமமாக இருக்க, 'ஆ' வழி சென்று வந்த பயணப் பாதையின் குறுக்கமே காரணம். 1895-ல் லோரென்ஜ்* என்பவர் விளக்கமான கணிதச் சமன்பாடுகளால் மேற்சொன்ன பொருட்குறுக்கத் துணிபை மேலும் வலிவுடையதாக

ஆக்கினார்³. இப்படிப்பட்ட குறுக்கம் ‘ஃபிட்ஜ்* ரல்ட்- லோரென்ஜ் குறுக்கம்’ என்றே பெயர் பெற்றது. வசதி கருதித் தமிழில் இதை ‘ஃபி-லோ குறுக்கம்’ என்று அழைக்கலாம்.

1905-ஆம் ஆண்டு ஐன்ஷ்டைன் வெளியிட்ட சார்புக் கொள்கை, ஃபி-லோ குறுக்கத் துணிபை உறுதியாக நிறுவியது. ஆனால், அதே நேரத்தில் எதை நிறுவுவதற்காக ஃபி-லோ குறுக்கம் கற்பித்துக்கொள்ளப்பட்டதோ, அதைச் சார்புக் கொள்கை மறுத்து ஒதுக்கிவிட்டது. நோய்வாய்ப்பட்ட தன் கணவனாகிய நுண்புலத் துணிபைக் காப்பாற்ற இயல்பியல் என்ற மங்கை ஃபி-லோ குறுக்கம் என்ற மருத்துவரை வரவழைத்தாள். ஆனால் சார்புக் கொள்கை தலையிட்டு நுண்புலத் துணிபு என்ற கணவனைக் கொன்றுவிட்டு, ஃபி-லோ குறுக்கம் என்ற மருத்துவருக்கு இயல்பியல் மங்கையை மறுமணம் செய்து வைத்தது.

சார்புக் கொள்கையின் அடிப்படைக் கூற்றுகள் இரண்டு. அவ்விரண்டு கூற்றுகளையும் கீழ்வருமாறு அமைத்துக்கொள்ளலாம்:

அ) ‘க’ என்ற முறைப்பாட்டைப் பொறுத்துக் ‘கா’ என்ற முறைப்பாடு சீர்கதியில்(தற்சுழற்சி* இன்றி) நகருமேயானால் ‘க’ வில் செல்லுபடியாகும் இயல்பியல் விதிகள் அனைத்தும் ‘கா’ விற்கும் பொருந்தும்.

ஆ) காற்று கூட இல்லாத வெட்டவெளியில் ஒளியின் வேகம் ஒரே சீரானது.

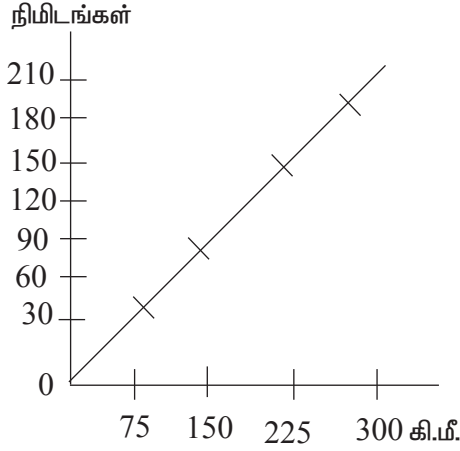
*[மேலே ‘தற் சுழற்சி’ என்று சொல்லப்பட்டது பின்னால் வரும் ஓர் அதிகாரத்தில் விளக்கப்பட உள்ளது.]

பொதுமக்கள் கூடத் தம் சார்புக் கொள்கைகளைப் புரிந்துகொள்வதற்காக ஐன்ஷ்டைன் எழுதிய ஒரு நூலில், மேலே ‘அ’ என்று தரப்பட்டுள்ள கூற்றே, ஒரு குறிப்பிட்ட கண்ணோட்டத்தில், சார்புக் கொள்கை என்று அவரே குறிப்பிட்டுள்ளார்.⁴ அதே நூலில் ‘அ’ என்ற இக்கொள்கைக்கும் ‘ஆ’ என்று மேலே தரப்பட்டுள்ள கூற்றுக்கும் ஏதோ முரண்பாடு இருப்பதுபோல் தோன்றுவதை விளக்கி, அந்த முரண்பாடு ஒரு தோற்றமே என்றும், மெய்யாகவே இரண்டு கூற்றுகளுக்கும்மிடையே எந்த முரண்பாடும் இல்லை என்றும் அவர் நிறுவியுள்ளார். இவற்றை நிறுவக் காலம், சமகால நிகழ்வு, தொலைவு ஆகிய கருத்தீடுகள் எப்படி முறைப்பாட்டிற்கேற்ப வேறுபடும் முறைசார்பு உடையவை என்று அவர் விளக்கியுள்ளார். அதேபோல்

ஃபி-லோ குறுக்கம் என்ற துணிபின்படி தொலைவளக்கும் கருவிகள், காலமளக்கும் கருவிகள் மற்ற கருவிகள் அனைத்தும் எப்படி மாற்றம் அடைகின்றன என்பதையும் அந்நூலில் அவர் தக்க எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விளக்கியுள்ளார். இரண்டு நிகழ்ச்சிகளுக்கு இடைப்பட்ட கால அளவு, அதைக் கணிக்க நாம் பயன்படுத்தும் கருவியைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை என்றும், அதேபோல், இரண்டு புள்ளிகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவின் அளவும் அதைக் கணிக்க நாம் பயன்படுத்தும் கருவியைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை என்றும் மரபு சார்ந்த அறிவியல் நமக்குக் கற்பித்தது. இப்படி நாம் கற்பித்துக்கொண்டதாலேயே சார்புக் கொள்கைக்கும், ஒளியின் சீர்விரைவுக் கொள்கைக்கும் இடையே முரண்பாடு இருப்பதுபோல் நமக்குத் தோன்றுகிறது என்று ஐன்ஸ்டைன் விளக்கினார். ஐன்ஸ்டைனின் கடினமான சிந்தனை ஓட்டத்தைப் புரிந்துகொள்ளுமுன் 'அலகு' என்ற கருத்தீடு பற்றி ஒரு விளக்கம் தேவைப்படுகிறது. 'அலகு' என்பது ஓர் அளவீட்டைக் குறிப்பது. நீளம் என்பது ஓர் அளவீடு. அகலம் என்பது ஓர் அளவீடு. உயரம் என்பது ஓர் அளவீடு. இன்னும் எளிய தமிழில் இந்த மூன்று அலகுகளையும் 'மூன்று வாட்டங்கள்' என்று குறிப்பிடலாம். இந்த மூன்று அளவீடுகளும் கணிதத்தில் மூன்று அலகுகளாகக் குறிப்பிடப்படுகின்றன. எடுத்துக் காட்டாகப் புகைவண்டிப் பயணம் செல்லும் ஒருவர், தம் பயணத் தொலைவை ஒரே ஓர் அலகீட்டு முறையில் குறிப்பதுண்டு. அதாவது, 'நீளம்' என்ற அலகு மட்டும் இதில் அடங்கும். கப்பல் பயணம் செய்யும் ஒருவர் 'அட்ச ரேகை', 'தீர்க்க ரேகை' என்று அழைக்கப்பட்டுவந்த, 'நீள்மாயக் கோடு', 'அகல்மாயக் கோடு' ஆகிய ஈரலகுகளையும் வைத்துத்தான் தம் பயணப் பாதையை அளவீடு செய்ய முடியும். ஆகாய விமானத்தில் பயணம் செய்பவர் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் தம் இருப்பிடத்தைக் குறிக்க, மேற்சொன்ன ஈரலகுகளுடன் 'உயரம்' என்ற மூன்றாவது அலகையும் சேர்த்துத்தான் பயன்படுத்த வேண்டும். அன்றாடப் பேச்சில், 'மூன்று வாட்டங்கள்' என்று சொல்லப்படுபவையே 'மூன்று அலகுகள்' என்று இங்கே குறிப்பிடப்படுகின்றன.

நான்காவது அலகு ஒன்று உண்டு என்று சொன்னால், உயர்கணிதப் பயிற்சி இல்லாதவர்கள் அதிர்ச்சி அடைவது இயற்கைதான். ஆனால், அந்த அதிர்ச்சியைத்தான் ஐன்ஸ்டைன் தம் சார்புக் கொள்கையின் அடிப்படையாக அமைத்தார். அக்கொள்கையின்படி நீள, அகல, உயரங்களோடு, 'காலம்' என்பது நான்காவது அலகாகச் சொல்லப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு புகைவண்டிப் பயணத்தைச் சரியாக விவரிக்கவேண்டுமானால் புறப்பட்ட இடத்திலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் அது இருக்கிறது என்று சொன்னால் மட்டும் போதாது. அது எத்தனை மணிக்குப் புறப்பட்டு, எத்தனை மணிக்கு அத்தொலைவை எட்டியது என்ற விவரமும் சொல்லப்படவேண்டும். இக்குறிப்புகளை ஓர் அட்டவணை மூலம்

விளங்கிக் கொள்ளலாம்:



(படம் 7)

சென்னையிலிருந்து ஒரு பேருந்து புறப்பட்டுத் திருச்சிக்குப் போவதாக வைத்துக் கொள்வோம். பேருந்து எங்கும் நிற்காமல் ஒரே வேகத்தில் சீராக மணிக்கு 50 கி.மீ. வேகத்தில் செல்வதாகவும் வைத்துக்கொள்வோம். இந்தப் பயணத்தை விவரிக்க, அது செங்கல்பட்டு, விழுப்புரம், உளுந்துார்பேட்டை வழியாகச் சென்றது என்றால் மட்டும் போதாது; இந்த ஊர்கள் முறையே சென்னையில் இருந்து ஏறக்குறைய 75 கி. மீ., 150 கி.மீ., 225 கி. மீ., 300 கி.மீ., தொலைவுகளில் இருக்கின்றன என்று சொன்னாலும் போதாது; புறப்பட்டு எத்தனை நேரம் கடந்து, பேருந்து இந்த ஊர்களைத் தொட்டது என்ற விவரமும் சொன்னால்தான் பயணத்தின் அளவீட்டு விவரம் முழுமை பெறும். அதாவது, 'நீளத் தொலைவு' என்ற ஓரலகோடு, 'காலச் செலவு' என்ற அலகையும் இணைத்துச் சொன்னால்தான் இப்பயணத்தின் அளவீட்டு விவரம் நிறைவு பெறும். அப்படியே, கப்பல் பயணத்தை எடுத்துக்கொண்டால், புவிக்கோளத்தின் நீள்மாயக் கோடுகளும், அகல்மாயக் கோடுகளும், ஈரலகுகள். இவற்றோடு 'காலம்' என்ற அலகையும் இணைத்து அப்பயணத்தை மூவலகு வரைவில் அளவிட வேண்டும். விண்வெளியில் விமானப் பயணத்தை விவரிக்க, நீள்மாயக் கோட்டுநிலை, அகல்மாயக் கோட்டுநிலை, உயரம் ஆகிய மூவலகுகளுடன், 'காலம்' என்ற நான்காவது அலகைச் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும்.

எனவே எந்த இயக்கத்தின் அளவீடும், 'காலம்' என்ற அலகுக் குறியின்றி முழுமை பெறாது என்பதை ஜன்ஷ்டைன் உணர்த்தினார்.

ஜன்ஷ்டைனுக்கு முன்பே, இயக்கங்களின் நாலலகுத் தன்மை பற்றி லோரென்ஜ்* சிந்தித்திருந்தார். ஓர் இயக்கத்தின் நான்கு அலகுகளின் மதிப்புகளும் தெரிந்திருந்தால், அவ்வியக்கத்தைப் பொறுத்த மட்டில் ஒரே வேகத்தில், அதாவது, சீர்கதியில் நகரும் இன்னுமோர் இயக்கத்தின் நான்கு அலகுகளின் மதிப்புகளும் கணிக்கப்பட முடியும் என்பதைத் தக்க சமன்பாடு மூலம் லோரென்ஜ்* நிறுவியிருந்தார். இச்சமன்பாட்டை 'லோரென்ஜ்* மாற்றம்' என்றழைக்கலாம். இப்படிக் கணிக்கப்பட, அந்த ஈரியக்கங்களிலும் ஒளி ஒரே சமச்சீர்விரைவில் செல்வதாகவே வைத்துக்கொள்ள வேண்டியிருந்தது. லோரென்ஜ்* மாற்றத்தை அடிப்படையாகக்கொண்டே ஜன்ஷ்டைன் தனிச்சார்புக் கொள்கையை வகுத்தார். இக்கொள்கையின் கூற்றுகள் பல சோதனைகளில் நிறுவப்பட்டு ஒரு முடிந்த தீர்வாகவே ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டுவிட்டன. இக்கொள்கையின் முக்கியமான கூற்றுகள் மூன்று:

1. ஒளியின் விரைவு முறைச்சார்பு இல்லாதது; அதாவது, எந்த முறைப்பாட்டிலும் ஒளி ஒரே வேகத்தில் செல்கிறது.
2. ஒளியின் வேகத்துக்கு ஈடான வேகத்திலோ, மிகையான வேகத்திலோ எந்தப் பொருளும் நகர முடியாது. இங்கே 'பொருள்' என்பது இம்மியளவேனும் பொருண்மை கொண்ட சிற்றணுத் துகள்களையும் குறிக்கும்.
3. ஆற்றல் பொருண்மையாகவும், பொருண்மை ஆற்றலாகவும் மாறக்கூடியவை.

மேலே 'பொருண்மை' எனப்பட்டது, இயக்கமற்ற ஓய்வு நிலையில் கூடச் சற்றேனும் 'கனம்' உடைய தன்மையைக் குறிக்கவே. இனி, இந்த நூலில் 'பொருண்மை' என்பது 'கனம்' என்றே குறிக்கப்படும்.

மேலே சொல்லப்பட்ட மூன்று கூற்றுகளுமே இயல்பியல் நோக்கில் மிகவும் முக்கியமானவை. இவற்றுள் முதற் கூற்றை மைக்-மார்லி சோதனை ஐயத்திற்கு

இடமின்றி நிறுவியிருந்தது. இரண்டாவது, மூன்றாவது கூற்றுகளை நிறுவ ஜன்ஷ்டைன் கணித முறையை நாடினார். ஆற்றல் மதிப்பைக் குறிக்கும் மிகவும் பொதுப்படையான சமன்பாடு ஒன்றை அவர் நிறுவினார்.

$$ஆ = \frac{க \times ஒ^2}{\sqrt{1 - \frac{வி^2}{ஒ^2}}}$$

இச்சமன்பாட்டில் ‘ஆ’ என்பது ஆற்றல்; ‘க’ என்பது கனம்; ‘வி’ என்பது விரைவு அல்லது வேகம்; ‘ஒ’ என்பது ஒளியின் வேகம். எந்தப் பொருளின் ஆற்றலும் அப்பொருளின் கனம், வேகம் ஆகியவற்றுடன் தொடர்புடையது என்பதை இச்சமன்பாடு குறிக்கிறது. ஒரு பொருளின் ஆற்றலையும், அதன் கனம், வேகம் ஆகியவற்றையும் இவ்வாறாகத் தொடர்புபடுத்தும் நிலையளவையாக ஒளியின் வேகம் அமைகிறது. ஓரளவை அதே அளவால் பெருக்கினால் கிடைக்கும் மதிப்பை, அந்த அளவின் ‘தற்பெருக்கம்’ எனலாம். $2 \times 2 = 4$ என்பதில் 2 என்ற எண்ணின் தற்பெருக்கமே 4. குறியீட்டு மொழியில் 2×2 என்பதை 2^2 என்று எழுதலாம். அதேபோல், 4 என்பதன் தற்பெருக்கவேர் 2 எனச் சொல்லலாம். குறியீட்டு மொழியில் :

$$\sqrt{4} = 2$$

மேலே தரப்பட்ட சமன்பாட்டில் உள்ள அளவுகளை இப்படித்தான் விளங்கிக் கொள்ள வேண்டும். “வேர்நாலுக்குச் சமம் இரண்டு” என்று இச்சமன்பாட்டைப் படிக்கலாம்.

இச்சமன்பாட்டில், ‘ஆற்றல்’ என்பது ஒரு பொருள் இயங்கும்போது, அவ்வியக்கத்தில் செலவாகும் ஆற்றலையே குறிக்கிறது. இதைச் ‘செலவாற்றல்’ அல்லது ‘இயங்காற்றல்’ என்று குறிக்கலாம். ஒரு பொருள், ஒளியின் வேகத்துக்குச் சமமான வேகத்தில் நகர்வதாக வைத்துக் கொண்டால், மேலே தரப்பட்ட சமன்பாட்டில், ‘வி’ யும், ‘ஒ’ வும், சமமாகிவிடும். அப்பொழுது,

$$ஆ = \frac{கxஒ^2}{\sqrt{1-1}} = \frac{கxஒ^2}{\sqrt{0}} = \frac{கxஒ^2}{0} = \infty$$

[‘∞’ என்பது வரம்பின்மை.]

‘பூஜ்யம்’ என்ற சுழியால் எதை வகுத்தாலும், விளைமதிப்பு வரம்பின்மையே.

எனவே, ஒளியின் வேகத்துக்குச் சமமான வேகத்தில் ஒரு பொருள் செல்ல வேண்டுமானால், அதன் செலவாற்றலின் மதிப்பு வரம்பற்ற ஒரு மதிப்பாக இருக்க வேண்டும் என்பதை ஒப்புக்கொள்ள வேண்டியுள்ளது. வரம்பற்ற ஆற்றல் உள்ள பொருள் அல்லது இயக்கம் இருக்கவே முடியாது என்பதால், எந்தப் பொருளும் ஒளியின் வேகத்தை விடக் குறைந்த வேகத்தில்தான் செல்ல முடியும் என்பது தெளிவாகிறது. அதாவது, உலகில், பொருள்கள் எய்தக்கூடிய வேகங்களுக்கெல்லாம், ஒளியின் வேகம் ஓர் உச்சவரம்பாக உள்ளது.

ஒரு பொருளின் வேகம், 'சுழி' என்று வைத்துக்கொண்டால் என்ன விளையும்? அதாவது, நகரா நிலையில் உள்ள ஒரு பொருளின் ஆற்றலை எப்படிக் கணிப்பது? 'வி' -யின் மதிப்பு, சுழி என்றால், என்னவாகும்? சுழியை எந்த எண்ணால் வகுத்தாலும் விளைமதிப்பும் சுழிதான். எனவே,

$$\text{ஆ} = \frac{\text{கஒ}^2}{\sqrt{1 - \frac{0}{\text{ஒ}^2}}} = \frac{\text{கஒ}^2}{\sqrt{1-0}} = \frac{\text{கஒ}^2}{\sqrt{1}} = \frac{\text{கஒ}^2}{1} = \text{கஒ}^2$$

அப்படியானால், நகரா நிலையில் உள்ள ஒரு பொருளின் ஆற்றல்:

$$\text{ஆ} = \text{கஒ}^2$$

அதாவது, நகராமலும் இயங்காமலும் உள்ள ஒரு பொருளின் ஆற்றல், அதன் கனத்தை, ஒளிவேகத்தின் தற் பெருக்கத் தொகையால் பெருக்குவதன் மூலம் கிடைக்கும் தொகைக்குச் சமம். 'ஒ' வின் மதிப்பு மிகமிக அதிகம். ஆகையால், மிகக்குறைந்த கனம் உடைய அணு போன்ற பொருளின் ஆற்றல் கூட மிகமிகப் பெரிய அளவாகப் பெறப்படுகிறது. மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து ஐன்ஷ்டைன் மேலும் ஒரு கூற்றையும் நிறுவினார். உலகின் மொத்த ஆற்றல் மாறுவதே இல்லை என்றும், உலகின் மொத்த கனம் மாறுவதே இல்லை என்றும் மரபு அறிவியலில் பொதுப்படையான கூற்றுகள் இரண்டு இருந்தன. இவற்றை, 'ஆற்றல் இழப்பின்மை விதி' என்றும், 'கன இழப்பின்மை விதி' என்றும் முறையே அழைக்கலாம். இவ்விரண்டு விதிகளும் அடிப்படையில் ஒரேவிதி என்பதாக மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் ஒருங்கிணைக்கப்பட்டன.

நகர்ந்துகொண்டிருக்கும் ஒரு பொருள் வெளியிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சு மூலமாகக் கூடுதல் ஆற்றலை உட்கொண்டு, அதன் பிறகும் தன் பழைய வேகம்

மாறாமல் நகருமானால், அது உட்கொண்ட ஆற்றல், இயக்கத்தில் செலவாகாமல் அப்பொருளுக்கு உள்ளேயே கூடுதல் கனமாகப் பொதிந்திருக்க வேண்டும். அதன் கூடுதல் கனத்தின் மதிப்பு, கூடுதல் ஆற்றலின் மதிப்பை ஒளிவேகத்தின் தற்பெருக்கத்தால் வகுப்பதன் மூலம் கிடைக்கும் மதிப்புக்குச் சமம். ஒளிவேகத்தின் தற்பெருக்கம் என்பதோ மிகமிகப் பெரிய தொகை. எனவே, குறைந்த அளவுகளில் ஆற்றலை உட்கொள்வதால், ஒரு பொருளுக்கு நேரும் கன-அதிகரிப்பு மிகவும் சிறிதளவே. இதனால்தான் அன்றாட வாழ்வில் இப்படி நேரும் கன-மாற்றங்கள் கருதப்படத்தக்க அளவுகளில் இருப்பதில்லை. பத்துடன் எடையளக்கும் கருவியில் பறவையிறகு ஒன்றை வைத்தால் என்ன விளைவு புலனாகும்? எதுவும் புலனாகாது. இதனால்தான் மரபு இயல்பியலில் இந்த கன-அதிகரிப்பைப் பற்றிய அறிவு இல்லாமல் இருந்தும் இயல்பான உலக நிகழ்ச்சிகள் வெற்றிகரமாகவே விளக்கப்பட்டன. இதனால்தான் கன இழப்பின்மை என்றொரு தனி விதியும் நிறுவப்பட்டது. ஆனால் ஐன்ஷ்டைன் தம் கொள்கைகளை வெளியிட்ட பிறகு, ஒரே ஓர் இழப்பின்மை விதிதான் அடிப்படையானது என்ற தெளிவு பிறந்தது. அதுவே ஆற்றல்-கனக் கூட்டு இழப்பின்மை விதி. ஆற்றல் கனமாகவும், கனம் ஆற்றலாகவும் மாறக்கூடும் என்பதை இந்த விதி நிறுவியது. ஆற்றலும் பொருளும் அடிப்படையில் வெவ்வேறு இல்லை என்ற ஒருமைப்பாட்டைப் ப்லங்க் முன்மொழிந்தார் என்று சொன்னால், ஐன்ஷ்டைன் தனிச்சார்புக் கொள்கையில் அதை ஒரு தீர்வாகவே நிறுவினார் என்று கொள்ளலாம்.

குறிப்புகள்:

1. *Ann. der Phys.*, 17, 1905, page 639 and 891.
2. “*Michelson and the Speed of Light*”, West Port, C.T. Greenwood, 1979.
3. H.A. Lorentz, *Proc. Acad. Sci.*, (Amsterdam), 6, 809 (1904).
4. Einstein, Albert: “*Relativity, The Special and General Theory: A Popular Exposition*”, New York, Crown Publishers, 1961.

11. அணுவா, அண்டமா?

1896 முதல் 1905 வரை இயல்பியல், வேதியியல் ஆகிய இரண்டு துறைகளிலும் ஒளித்தன்மை பற்றிய ஆய்வே பெரும் பகுதியாக இருந்தது. ஒளியின் அலைத்தன்மை உறுதியாக நிறுவப்பட்டதாக அறிவியல் உலகம் நம்பிக்கொண்டிருந்தபோதுதான் ஐன்ஷ்டைன் வெளியிட்ட ஒளியின் விளைவுக் கொள்கை, அந்த நம்பிக்கையைத் தகர்த்து, ஒளியின் துகள் தன்மையை நிறுவியது. வெட்டவெளியில் ஒளியின் விரைவு, மாறாத் தன்மை கொண்ட சீர்விரைவு என்ற கூற்றையும், ஐன்ஷ்டைனின் தனிச்சார்புக் கொள்கை நிறுவியது. அதே போல், ஒளியின் வேகம் உலகில் இயலக்கூடிய வேகத்துக்கெல்லாம் ஓர் உச்சவரம்பாக அமைந்திருப்பதையும் அக்கொள்கையே நிலைநாட்டியது. இப்படியெல்லாம் ஒளி பற்றிய ஆய்வு வளர்ந்திருந்தும் ஓர் அடிப்படைக் கேள்விக்குச் சரியான விடையின்றி அறிவியல் உலகம் ஒரு குழப்பத்தில் இருந்தது.

அதிக அளவில் சூடேற்றப்பட்டதும், பொருள்கள் ஏன் ஒளிர்த் தொடங்குகின்றன? இதுதான் அக்கேள்வி, 'ஒளிர்்தல்' என்றால் ஒளி விடுத்தல்.

சூட்டின் காரணமாக ஒரு பொருளின் அடிப்படைத் துகள்கள் அப்பொருளுக்குள்ளேயே அதிக விரைவில் இயங்க நேரிடுவதால் அப்பொருள் ஒளிர்வதாகப் பழைய அறிவியல் உலகம் கருதிக்கொண்டிருந்தது. இயல்பு வெப்ப நிலையிலேயே பொருள்களுக்குள் துகள்கள் விரைவாகத்தான் இயங்குகின்றன. ஆனால் அப்பொழுது ஏன் பொருள்கள் ஒளிர்வதில்லை? இக்கேள்விக்கு விடையின்றிப் பழைய அறிவியல் தவித்தது. இந்த நிலையில்தான், 1897-ஆம் ஆண்டு, தாம்ஸன், மேலே விவரிக்கப்பட்டவாறு, அணுவிலும் சிறிய மின்துகள்களின் இருப்பை நிறுவினார். இத்துகள்கள் எதிர்மறை மின்பொதிவு கொண்டவை என்பதையும் அவர் கண்டறிந்தார். மின்விடுபாட்டுக் குழாயில் 'வளிமம்' எனப்படும் ஆவிநிலைப் பொருள் எதைச் செலுத்தினாலும் அது எதிர்மின் கதிர்களை வெளிப்படுத்தியதைக் கண்டறிந்த தாம்ஸன், எல்லாப் பொருள்களிலும் மின்துகள்கள் இருக்கவேண்டும் என்ற துணிபை வெளியிட்டார். இவற்றிலிருந்து இன்னொரு துணிபையும் தாம்ஸன் அறிவித்தார். அடிப்பொருள்களின் அணுக்கள் அனைத்தும் மின்துகள்களால் ஆனவையே என்பதும், ஒவ்வொரு அணுவுக்குள்ளும் எதிர்மின்பொதிவு கொண்ட மின்துகள்களை ஈர்த்துக் கட்டிக் காக்கக்கூடிய நேர்மின்பொதிவு கொண்ட மண்டலம் இருக்கவேண்டும் என்பதும் அத்துணிபின் சாரம். இதன் மூலம், யாரும் கண்டறியாத அணுவின் மாதிரிப் படிவம் ஒன்றையே

தாம்ஸன் விளக்கியிருந்தார்¹. இந்தப் படிவத்தின்படி கோளவடிவில் பரந்திருக்கும் நேர்மின் மண்டலம் ஒன்றில் ஆங்காங்கே எதிர்மின் துகள்கள் பதிக்கப்பட்ட ஒரு பொருட்துகளாகவே, 'அணு' கருதப்பட்டது. இந்தக் கோளத்தின் ஆரம் $V_{wFi} wa 10^{-8}$ செ.மீ. என்றும் கருதப்பட்டது. 10^8 என்பது 10 என்ற எண்ணின் 'எண்பெருக்கம்'; 10^8 என்பது 10 என்ற எண்ணின் 'எண்குறுக்கம்'. ஓர் அணுவின் ஆரம் இந்த அளவுடையது என்பது, மெய்வளிமங்களின் இயக்கநெறிக் கொள்கையில் இருந்து ஏற்கனவே நிறுவப்பட்டிருந்தது. இந்தப் படிவத்தின்படி ஓர் அணுவின் கனம் முழுவதும் அதன் மின்துகள்களுடைய கனங்களின் கூட்டே. ஏற்கனவே முந்தைய அதிகாரம் ஒன்றில், உறைபனிக் கூடச் சோதனை விளக்கப்பட்டது. அச்சோதனை மூலம் ஒரு மின்துகளின் மின்பொதிவும், ஒரு நீரியம் மின்னணுவின் மின்பொதிவும் சமமாக இருந்ததைத் தாம்ஸன் நிறுவியிருந்தார். அதே நேரம், மின்துகள்களின் மி/க (மி = மின்பொதிவு; க = கனம்), நீரியம் அணுவின் மி/க-வை விடக் கிட்டத்தட்ட 1900 மடங்கு குறைவாக இருந்ததையும் தாம்ஸன் கணித்திருந்தார். எனவே ஒரு நீரியம் அணுவைக் காட்டிலும் ஒரு மின்துகள் கிட்டத்தட்ட 1900 மடங்கு குறைந்த கனம் உடையது என்று தாம்ஸன் தீர்மானித்தார். இதிலிருந்து தாம்ஸன் ஒரு தவறான முடிவுக்கு வர நேர்ந்தது. ஒரு நீரியம் அணுவுக்குள் கிட்டத்தட்ட 1900 மின்துகள்கள் இருக்கவேண்டும் என்பதே அத்தவறான முடிவு.

மின்பொதிவு கொண்ட துகள்கள் விரைவொடுக்கம் செய்யப்படும்போது மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு வெளிப்படும் என்பது ஏற்கனவே நிறுவப்பட்ட ஒரு விதி. அணுவில் உள்ள மின்துகள்கள் அணுவின் நேர்மின் மண்டலத்தால் ஈர்க்கப்பட்டு, அதன் காரணமாக அவை விரைவொடுக்கம் செய்யப்படுகின்றன என்று தாம்ஸன் கருதினார். அப்பொழுது அந்த அணுவிலிருந்து மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு நிகழ்வது இயற்கைதானே? ஒரு பொருள் சூடேற்றப்பட்டால் அதன் அணுக்களுக்குள் மின்துகள்களின் இயக்க வேகம் அதிகரிக்கும். வேகம் அதிகரிக்க, அதிகரிக்க, நேர்மின் மண்டல ஈர்ப்பால் நிகழும் வேக ஒடுக்கமும் அதிகரிக்கும். இதனால் அந்த அணுக்களில் இருந்து வெளிப்படும் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சும் தீவிரம் அடையும். அப்பொழுது, அக்கதிர்கள் ஒளிக்கதிர்களாகப் புலப்படத் தொடங்கும். சூடேற்றப்பட்ட பொருள்கள் இப்படித்தான் ஒளிர்கின்றன என்று தாம்ஸனின் அணுப்படிவம் சுட்டிக் காட்டியது.

தாம்ஸனின் அணுப்படிவம் ஓர் அடிப்படையான சிக்கலைத் தோற்றுவித்தது. கதிர்வீச்சு இயக்கத்தின் காரணமாக மின்துகள்கள் தங்கள் ஆற்றலை இழக்க

நேரிடும். ஒளிரும் அளவுக்குக் கதிர்வீச்சின் தீவிரம் அதிகரிக்கும்போது, அணுவுக்குள் உள்ள மின்துகள்களின் ஆற்றல் மிகவும் குறைந்து, வெகு விரைவில், மின்துகள்கள் இயக்கமிழந்து, நேர்மின் மண்டலத்தில் அமிழ்ந்து விட நேரிடும்: உலர்ந்த திராட்சைகள் அல்வாவில் அமிழ்ந்து விடுவதைப்போல! ஆனால் நடைமுறையில் அப்படி எதுவும் நடப்பதாகத் தெரியவில்லை. எனவே தாம்ஸனின் அணுப்படிவம் அப்படியே ஏற்படையதாக இல்லை.

இந்தச் சிக்கலைத் தீர்ப்பதற்கு ப்லங்க் அறிவித்த துளிக்கொள்கையைப் பயன்படுத்த வேண்டும் என்ற சிந்தனை அப்பொழுது உருவாகவில்லை. 1905-ஆம் ஆண்டு ஐன்ஸ்டைன் வெளியிட்ட ஒளித்துகள் கொள்கையில் இருந்து கூட அப்படிப்பட்ட சிந்தனை உடனே தோன்றவில்லை. இது, இப்பொழுது, நமக்கு வியப்பளிக்கலாம். ஆனால், ஒரு சிந்தனை மலர்வதற்குக் காலம் கணிந்து வரவேண்டிய தேவையை அறிவியல் வரலாறு ஒவ்வொரு கட்டத்திலும் உணர்த்துகிறது.

மேலே சொல்லப்பட்ட நெருக்கடியிலிருந்து அறிவியல் விடுபட காலத்தின் கருவிகளாக இருவர் பயன்பட்டனர். ஒருவர், ரதர்ஃபர்ட்; மற்றொருவர், நீல்ஸ் போர். இருவருமே தாம்ஸனின் மாணவர்கள். இருவரில் ரதர்ஃபர்ட் வயதில் சற்று மூத்தவர். அவர் முதலில் தாம்ஸனின் மாணவராகச் சிறிது காலம் இருந்துவிட்டுப் பிறகு வேறொரு பல்கலைக் கழகத்தில் பேராசிரியராகப் பொறுப்பேற்றார். அதற்குப் பிறகே நீல்ஸ் போர், தாம்ஸனிடம் மாணவராகச் சேர்ந்து, அதன் பிறகு ரதர்ஃபர்டின் மாணவராகவும் பயின்றார்.

அந்த இருவரில், முதலில் ரதர்ஃபர்ட் என்ன செய்தார் என்பதைப் பார்ப்போம். 1898-ஆம் ஆண்டிலேயே பெக்ரல்-கதிர்கள் பற்றிய ஓர் ஆய்வுத்தாளை அவர் வெளியிட்டிருந்தார் என்பதையும், அக்கதிர்கள் இரண்டு வகைப்பட்டவை என அதில் அறிவித்திருந்தார் என்பதையும், அவற்றுக்கு 'ஆல்ஃபா கதிர்கள்', 'பீட்டா கதிர்கள்' எனப் பெயர் சூட்டியிருந்தார் என்பதையும் ஏற்கனவே கண்டோம். அக்கதிர்கள், இந்த நூலில், 'அகரக் கதிர்கள்' என்றும், 'உகரக் கதிர்கள்' என்றும், முறையே குறிக்கப்படுகின்றன. 1898-க்குப் பிறகு ரதர்ஃபர்ட் அகரக் கதிர்களைப் பயன்படுத்திப் பல சோதனைகளில் ஈடுபட்டார். அகரக் கதிர்கள் நேர்மின்பொதிவு கொண்ட துகள்களால் ஆனவை என்பதை அவர் அறிவித்திருந்தார். தம் பேராசிரியர் தாம்ஸன் வெளியிட்ட அணுப்படிவம் பற்றி அகரக் கதிர்களை வைத்துச் சோதனை செய்து பார்க்க அவர் முனைந்தார். அப்பொழுது, அவர் ஏற்கனவே நோபெல் பரிசு

பெற்றுவிட்ட புகழ்மிக்க அறிஞர் என்பது இங்கே குறிப்பிடத்தக்கது. அச்சோதனையை 1909-10 ஆண்டுகளில், மார்ஸ்டென், கைகர் என்ற இரண்டு மாணவர்கள் உதவியுடன் அவர் நிகழ்த்தினார்.

மிக மெல்லிய ஒரு தங்கத் தகட்டை நோக்கி அகரக் கதிர்களை அதிவிரைவில் செலுத்துவதே அச்சோதனையின் செய்முறை. செலுத்தப்பட்ட அகரக் கதிர்களின் துகள்களில் மிகப் பெரும்பான்மையானவை தங்கத் தகட்டினூடே தங்கு தடையின்றிப் பாய்ந்து சென்றன. ஆனால் ஒரு சில அகரத் துகள்கள் மட்டும் தங்கத் தகட்டைத் தாக்கியதும் சிறிய திசைத் திருப்பத்துக்கு உள்ளாகிச் சிதறின. அதனினும் மிகமிகக் குறைந்த எண்ணிக்கையில், சுமார் 8000 துகள்களில் ஒரு துகள், பெரிய அளவில் திசைத்திருப்பம் பெற்று, முதலில் சென்ற பாதையிலேயே திரும்பி வந்தன. தாம்ஸன் அறிவித்திருந்த அணுப்படிவத்தின்படி, ஓர் அணுவுக்குள் நேர்மின் மண்டலம் 10^{-8} செ.மீ. ஆரம் உள்ள அணுக்கோளம் முழுவதும் பரவியிருக்க வேண்டும். அப்படி இருந்தால் நேர்மின்பொதிவு கொண்ட அகரத் துகள் எதையும் தடுத்துத் திசைத்திருப்பம் செய்யக் கூடிய அளவு சக்தி வாய்ந்ததாக அந்த மண்டலம் இருக்க முடியாது. இதை மின்பொதிவு பற்றி ஏற்கனவே நிறுவப்பட்டிருந்த கணித விதிகள் உணர்த்தின. அந்த விதிகளின்படி, ஓர் அகரத் துகளை, 90 கோண் சாய்மானத்திற்கு மேல் திசைத்திருப்பம் செய்யக்கூடிய அளவு ஆற்றல் கொண்ட நேர்மின் மண்டலத்தின் ஆரம், 10^{-8} செ.மீ. என்பதை விட ஒரு லட்சம் மடங்கு சிறியதாக இருக்கவேண்டும். அதாவது அதன் ஆரம் 10^{-13} செ.மீ.க்கு மேல் இருக்க முடியாது. 10^{-13} என்றால் 10 என்பதன் பதின்மூன்றாம் தற்குறுக்கம். இதனால் 10^{-8} செ.மீ. ஆரம் கொண்ட அணுக்கோளத்துக்குள், 10^{-13} செ.மீ. ஆரம் கொண்ட ஒரு மிகமிகக் குறுகிய பகுதியே நேர்மின்பொதிவு கொண்ட பகுதியாக இருக்க வேண்டுமென்பது தெளிவாகியது. செலுத்தப்பட்ட அகரத் துகள்களில் பெரும்பாலானவை திசைத்திருப்பம் பெறாமையும், ஒரு சில துகள்கள் மட்டுமே திசைத்திருப்பம் பெற்றமையும், மேற்சொன்ன முடிவை மேலும் வலுவாக்கின. அத்துடன் திசைத்திருப்பம் பெற்ற துகள்களின் வடிவக் கோப்பிலிருந்து, மேலுமோர் உண்மை தெளிவாகியது. அதாவது, 10^{-8} செ.மீ. ஆரம் கொண்ட அணுக்கோளத்துக்குள் 10^{-13} செ.மீ. ஆரம் கொண்ட மிகச்சிறிய மையப்பகுதியே நேர்மின்பொதிவு கொண்ட ஒரு மண்டலமாகக் கருக்கொண்டிருந்தது என்ற உண்மை தெளிவாகியது. அந்த மையப் பகுதியிலிருந்து வெகுதொலைவில் எதிர்மின் துகள்கள் இருப்பதாக ரதர்ஃபர்ட் கருதினார். மையப்பகுதியின் நேர்மின்பொதிவால் ஈர்ப்புக்கு உள்ளாகும் எதிர்மின் துகள்கள், மையப் பகுதிக்குள் வந்து விழுந்துவிடாமல் இருக்கவேண்டுமானால், அந்த ஈர்ப்பாற்றலுக்குச் சமமான

வேறொரு சக்தி எதிர்மின் துகள்களைத் தொலைவிலேயே ஒரு கட்டுக்கோப்பில் வைத்திருக்கவேண்டும் என்று ரதர்ஃபர்ட் சிந்தித்தார். அப்பொழுது, அவர் சிந்தனையில் ஒரு மின்னல் பளிச்சிட்டது. ஒரு கயிற்று நுனியில் கட்டப்பட்ட பந்தின் வட்டச் சுழற்சிதானே ந்யூட்டன் சிந்தனையில் அண்டக் கோள்களின் சுழற்சிக் கொள்கையை மின்னலடிக்கச் செய்தது? அதே போன்ற சக்தியே எதிர்மின் துகள்களை, மையப் பகுதியிலிருந்து வெகுதொலைவில் சுழற்சியியக்கத்தில் பிடித்து வைத்துள்ளது என்ற முடிவுக்கு ரதர்ஃபர்ட் வந்தார். அணுவுக்குள் ஓர் அண்டமா? கதிரவன் போல் ஒரு நேர்மின் மையப்பகுதி! சுற்றிச் சுழலும் கோள்கள் போல் எதிர்மின் துகள்கள்! அவற்றைக் கட்டுக்கோப்பில் வைத்திருக்கும் மையச் சுழல்சக்தி! இப்படிப்பட்ட அணுப்படிவம் ஒன்றைத்தான் ரதர்ஃபர்ட் 1911-ஆம் ஆண்டு வெளியிட்டார். 07.03.1911 அன்று ரதர்ஃபர்ட் இப்படிவத்தை ழீன்சஸ்டர் இலக்கிய, மெய்யியல் கழகத்தில் நிகழ்த்திய பேருரையின்போது குறிப்பிட்டார்². இப்படிவம் பற்றிய ஆய்வுத்தாள் உடனே வெளியானது. அறிவியல் உலகை வியக்க வைத்தபோதும், சில சிக்கல்களை இப்படிவம் தீர்க்கவில்லை.

பொருள்கள் சூடேற்றப்படும்போது அணுக்களில் உள்ள எதிர்மின் துகள்களுடைய சுழற்சி வேகம் அதிகரிப்பதால் பொருள்கள் ஒளிர்கின்றன என்ற விளக்கம் ஒரு நோக்கில் பொருள் ஒளிர்வுக்கான காரணத்தைத் தெளிவு செய்கிறது. இருந்தாலும், அந்த விளக்கத்திலேயே இப்படிவத்தின் குறைபாடும் அடங்கியிருந்தது. கதிரவனைச் சுற்றிக் கோள்கள் சுழல்கின்றன அல்லவா? அதுபோல் அணுக்கருவைச் சுற்றி மின்துகள்கள் சுழல்கின்றன என்று வைத்துக்கொண்டால், வட்டச் சுழலியக்கத்தால் மின்துகள்கள் வேகமுடுக்கம் பெறவேண்டும். ந்யூட்டன் வகுத்த விதிகளின்படி வேகமுடுக்கம் ஓர் ஈரளவைக் கருத்தீடு. ஏனென்றால் அதற்கு விசை, திசை ஆகிய இரண்டு அளவைகள் உண்டு. வட்டச் சுழலியக்கத்தில் 'திசை' என்பது மாறிக்கொண்டே இருக்கும். எனவே ஒரே வேகத்தில் வட்டச் சுழலியக்கத்தில் ஈடுபடும் பொருள்கூடத் திசைமாற்றங்கள் காரணமாக வேகமுடுக்கம் பெறும் என்பது ஏற்கனவே நிறுவப்பட்ட ஒரு விதி. அதே போல் மின்பொதிவு கொண்ட பொருள்கள் வேகமுடுக்கம் பெறும்போது அவை மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தும் என்பதும் ஏற்கனவே நிறுவப்பட்ட ஒரு விதி. எனவே, வட்டச் சுழலியக்கத்தால் மின்துகள்கள், வேகமுடுக்கம் பெற்று மின்காந்தக் கதிர்களை வெளியிடுகின்றன என்று கொண்டால், கதிர்வீச்சுக்கான ஆற்றல், மின் துகள்களின் சுழலியக்கத்தில் இருந்தே வெளிப்பட்டுச் செலவாக வேண்டும். அப்படியென்றால் மின்துகள்களின் ஆற்றல் குறைந்துகொண்டே வரவேண்டும். ஆற்றல் குறையக் குறையச் சுழற்சி வட்டத்தின் ஆரம் குறைந்துகொண்டே வரவேண்டும். ஆரம் குறையக் குறைய

மின்துகள்கள் மையக் கருவை நெருங்கி வந்து கருவுக்குள் அமிழ்ந்துவிடும். ஆனால் மெய்யாகவே அணுக்களுக்குள் இப்படி நிகழவில்லையே! எனவே, இந்த விளக்கத்தில் ஏதோ குறைபாடு இருக்கவேண்டும். கதிரவனைச் சுற்றி வரும் கோள்களுக்கு இப்படி நேர்வதில்லையே என்றால், அதற்குக் காரணம், அவை மின்பொதிவு கொண்ட பொருள்களல்லவே. ஆனால் மின்துகள்கள் மின்பொதிவு கொண்டவை. எனவே அவை வேகமுடுக்கம் பெற்றுக் கதிர்வீச்சு நிகழ்த்திக் கருவுக்குள் வந்து விழுத்தான் வேண்டும்.

ரதர்ஃபர்ட் வெளியிட்ட அணுப்படிவத்தில் இன்னொரு சிக்கலும் எழுந்தது. மின்பொதிவு கொண்ட ஒரு பொருள் வட்டச் சுழலியக்கத்தால் கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தும் போது, அதன் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண்ணும், அதன் சுழற்சியின் அதிர்வெண்ணும் சமமாகவே இருக்கும் என்று நியூட்டன் விதிகள் உணர்த்தின. மேலே சொன்னவாறு மின்துகள்களின் சுழல்வட்டம் இடையின்றி மாறிக்கொண்டே இருந்தால் அவற்றிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்களின் அதிர்வெண்ணும் மாறிக்கொண்டேயிருக்கும். அதனால், அந்தக் கதிர்வீச்சில் வெளிப்படும் கதிர்களின் வரிசை, முறிவற்ற தொடர்நிலையாகவே இருக்க வேண்டும். ஆனால், ஒளிரும் பொருள்களின் கதிருக்கு, பெரும்பாலும் அப்படிப்பட்ட தொடர்நிலையாக இருப்பதேயில்லை.

குறைபாடுகள் இருந்தாலும், இப்படிவத்தின் மூலம், ‘அணுக்கரு’ என்பதைக் கண்டுபிடித்த பெருமைக்கு ரதர்ஃபர்ட் உரியவராகிறார். தம்முடைய 1911-ஆம் ஆண்டுத் தாளில் அவர் ‘அணுக்கரு’ என்பதற்கு ஈடான ஆங்கிலச் சொல்லைப் பயன்படுத்தாமல், ‘மிகச்சிறிய மையப்பகுதி’ என்று மட்டுமே குறிப்பிட்டிருந்தார். ஆனால் 1912-ல் எழுதி, 1913-ல் வெளியான தம் நூலில், ஓர் இடத்தில், ‘அணுக்கரு’ என்பதற்கு ஈடான சொல்லை, அவர் பயன்படுத்தியிருந்தார்³.

குறிப்புகள்:

1. *Philosophical Magazine* 6, 1903, page 673 and *Philosophical Magazine* 7, 1904, page 237.
2. *Philosophical Magazine* 21, 1911, page 669.
3. E. Rutherford, “*Radioactive Substances and their Radiations*”, Cambridge University Press, 1913, page 184.

12. பாயுமொளி நீ யெனக்கு

தாம்ஸன் படிவத்தால் எழுந்த சிக்கல்களைத் தீர்க்க ரதர்ஃபர்ட் மரபு வழியில் சிந்தித்தார். ஆனால், போர்தான் முதன்முதலில், ப்லங்க் அறிவித்த துளிக்கொள்கையைப் பின்பற்றி, அதன் மூலம் மரபு சாராக் கொள்கையொன்றை வெளியிட்டார். ஈராயிரம் ஆண்டுகளுக்கு மேல் மேம்போக்காகப் பேசப்பட்டு வந்த அணுகுகொள்கை, உட்பிரிவு எதுவுமற்ற சிறிய கோலிக்குண்டுகளின் அணிவகுப்பாக டால்டன், மின்டிலேயெஃப் ஆகியோரால் விரித்துரைக்கப்பட்ட அணுகுகொள்கை, 1912 வரை மூலப் பொருளாய்வின் விளைவாக மட்டுமே இருந்தது. 'பொருள்' என்பதிலிருந்து வேறுபட்டதாகக் கருதப்பட்ட 'ஆற்றல்' என்பதற்குக் கூடப் பொருண்மை நிலை வழங்கிய துளிக்கொள்கையை மூலப் பொருளாய்வுக்கு முதன்முதலில் பயன்படுத்திய புரட்சியைச் செய்தவர் நீல்ஸ் போர்தான். 'ஆற்றல் துளிகள்' என முதலில் பேசிய புரட்சியாளர் ப்லங்க் என்றால், ஒளித்துகள்கள் என நிறுவிக் காட்டிய புரட்சியாளர் ஐன்ஷ்டைன் என்றால், பொருள்களுக்குள்ளேயே ஆற்றல் நிலைகள் உண்டு என முதலில் துணிந்து மொழிந்த புரட்சியாளர் நீல்ஸ் போர் எனலாம்.

ரதர்ஃபர்ட் வெளியிட்ட அணுப்படிவத்தில் எழுந்த சிக்கல்கள் நீல்ஸ் போரின் சிந்தனையைத் தூண்டின. ரதர்ஃபர்ட் வெளியிட்ட படிவத்தைக் கைவிட போருக்கு மனம் வரவில்லை. அதில் சிறு மாறுதல் செய்வதன் மூலம் அதனால் ஏற்பட்ட சிக்கல்களைத் தீர்த்துவிடலாம் என்று அவர் நம்பினார். அவர் சிந்தனை ஓட்டத்தைக் கீழ்வருமாறு விளங்கிக் கொள்ளலாம்.

அணுக்கருவைச் சுற்றி மின்துகள்கள் எங்கு வேண்டுமானாலும் சுழலலாம் என்று கொள்ளாமல், குறிப்பிட்ட ஆரங்கள் கொண்ட சில வட்டப் பாதைகளில் மட்டுமே அவை சுழல முடியும் என்று கற்பித்துக்கொண்டால்...? அப்படி, அனுமதிக்கப்பட்ட வட்டப் பாதைகளில் அவை சுழலும்போது ஒளிவிடுபாடு நிகழ்வதில்லை என்று வைத்துக் கொண்டால்...? ஒரு வட்டப் பாதையிலிருந்து இன்னொரு வட்டப் பாதைக்கு ஒரு மின்துகள் இடம்பெயரும்போது மட்டுமே ஒளிவிடுபாடு நிகழ்கிறது என்று வைத்துக் கொண்டால்...?

இப்படிப்பட்ட சிந்தனைகள் ஒரு புதிய கொள்கைக்கு வித்தூன்றின. 1913-ஆம் ஆண்டு போர், மூன்று அறிவியல் தாள்கள் வெளியிட்டார்¹. அந்த மூன்று தாள்களிலும் அவர் வெளியிட்ட கருத்துகள், துளிக்கொள்கையின் வழியே

அணுப்படிவத்தை ஒரு புதிய நோக்கில் விளக்கியிருந்தன. அந்த விளக்கத்தை நாம் இப்பொழுது பார்ப்போம்.

ஓர் அணுவுக்குள் மின்துகள் குறிப்பிட்ட வட்டப் பாதைகளில் மட்டுமே சுழலக் கூடும் என்று போர் ஒரு முடிவுக்கு வந்தார். அந்த வட்டப் பாதைகளெல்லாம் ஒரே மையப்புள்ளி கொண்ட வட்டங்கள். அந்த மையப்புள்ளியாக இருப்பது அணுக்கருவே. ஒரு வட்டப் பாதையில் மின்துகள் சுழல, அதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றலின் அளவு, இன்னொரு வட்டப் பாதையில் சுழல்வதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றலின் அளவிலிருந்து வேறுபட்டது. அதாவது, ஒவ்வொரு வட்டப் பாதைக்கும் ஒவ்வொரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் அளவு தேவைப்படுகிறது. அதிக ஆற்றல் தேவைப்படும் வட்டப் பாதையிலிருந்து, குறைந்த ஆற்றல் தேவைப்படும் வட்டப் பாதைக்கு ஒரு மின்துகள் இடம்பெயரும் பொழுது, புதிய பாதையில் சுழலத் தனக்குத் தேவைப்படும் ஆற்றலைக் காட்டிலும் கூடுதலாகத் தன்னிடம் உள்ள ஆற்றல் அளவை அது ஒளியாக வெளியேற்றி விடுகிறது. இதுதான் போர் விவரித்த அணுப்படிவத்தின் சாரம்.

ஓர் அணுவுக்குள் மின்துகள் சுழலக்கூடிய வட்டப் பாதைகளில், அதிக ஆரம் உள்ள பாதைகளில் சுழல மின்துகளுக்கு அதிக ஆற்றல் தேவைப்படும். அதாவது, அணுக்கருவில் இருந்து மின்துகளின் தொலைவு அதிகரிக்க, அதிகரிக்க, அதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றல் அளவும் அதிகரிக்கிறது. எனவே போர் படிவத்தின்படி, வெளிவட்டப் பாதையிலிருந்து உள்வட்டப் பாதைக்கு ஒரு மின்துகள் தாவும்போது அதன் ஆற்றலளவு குறைகிறது. உள்வட்டப் பாதையில் அதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றலை விடக் கூடுதலாக இருக்கும் ஆற்றலை அது ஒளியாக வெளிப்படுத்துகிறது. மிகவும் கச்சிதமான படிவமாக இது காணப்பட்டது.

மேற்சொன்னவாறு, ஒரு பொருளில் உள்ள ஓர் அணுவுக்குள் சுழன்றுவரும் மின்துகள், அந்த அணுவுக்குள் ஒரு வெளிச்சுற்றிலிருந்து ஓர் உள்சுற்றுக்கு இடம்பெயரும்போது, இருசுற்றுகளுக்கும் இடையிலுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு அளவுக்குச் சமமான ஆற்றல் கொண்ட ஒளித்துகள் அந்த அணுவிலிருந்து வெளிப்படுகிறது. அந்த ஒளித்துகள், அப்பொருளின் மற்ற அணுக்களைக் கடந்து, அப்பொருளை நீங்கி, நமக்குப் புலப்படுமாறு வெளிப்படுகிறது. ஒரு பொருளின் பல லட்சம் அணுக்களிலிருந்தும், பல லட்சம் ஒளித்துக்கள், ஒரே நேரத்தில், இப்படி வெளிப்படக்கூடும். கதிர்களைப் பிரித்து வகைப்படுத்தும் 'கதிரடுக்கு

மாணி' என்ற கருவியின் ஆடி வழியாக அந்த ஒளித்துகள்களைச் செலுத்தி, அதைப் புகைப்படத் தகட்டில் விழ்ச்செய்து பார்க்கும் பொழுது அது ஒரு கருப்புக் கோடாகப் புலப்படும். கதிரடுக்கியல் விதிகளின்படிப் புகைப்படத் தகட்டில் அந்தக் கோடு இருக்குமிடம், அதன் நிலை, அந்தக் கோட்டின் பருமன் ஆகியவற்றிலிருந்து அதை விளைவித்த ஒளியின் அலைநீட்டமும் அதிர்வெண்ணும் கணிக்கப்படலாம். இவற்றிலிருந்து, மேற்சொன்னவாறு வெளிப்பட்ட ஒளித்துகள் ஒன்றின் ஆற்றல் அளவைக் கணிக்கலாம். அந்த ஆற்றல் அளவே, மேலே சொல்லப்பட்டவாறு மின்துகள் இடம்பெயர்ந்த இருசுற்றுகளின் ஆற்றல் நிலைகளுக்கு இடையே உள்ள வேறுபாட்டின் அளவு.

1855-ஆம் ஆண்டிலேயே பா(ல்)மர் என்பவர் நீரியம் அணுவின் கதிரடுக்கில் உள்ள வெவ்வேறு நிற ஒளிக்கதிர்களின் அலைநீட்டங்களுக்கிடையே அமைந்த தொடர்பைக் கணித்திருந்தார். அத்தொடர்பைக் கணிக்க அவர் பயன்படுத்திய நுட்பம் 'பா(ல்)மர் குறள்நெறி' எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, 3 என்ற எண்ணைத் தற்பெருக்கம் செய்து, 1 என்ற எண்ணை அத்தற்பெருக்கத்தின் மதிப்பால் வகுத்து, விளைவை 1/4 என்ற எண்ணிலிருந்து கழித்து, இதில் விளையும் மதிப்பை 32, 903, 604,000,000,000 என்ற மிகமிகப் பெரிய எண்ணுடன் பெருக்கினால் கிடைக்கும் தொகை, நீரியத்தினுடைய கதிரடுக்கில் தென்படும் சிவப்பு நிறக் கோடுகளின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமம். அதாவது, $\left[\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right] \times 32,903,640,000,000,000$.

முதலில் எடுத்துக்கொண்ட '3' என்ற எண்ணின் இடத்தில் '4' என்ற எண்ணை எடுத்துக்கொண்டு மேற்சொன்னவாறு செய்தால் அது நீரியம் கதிரடுக்கிலுள்ள பச்சைக் கோடுகளின் அதிர்வெண்ணையும், '5' என்று எடுத்துக்கொண்டால் ஊதா நிறக் கோடுகளின் அதிர்வெண்ணையும் தரும் என அவர் கணித்திருந்தார். அது போலவே 6, 7, 8 என்ற எண்கள் மேற்சொன்னவாறு நீரியம் கதிரடுக்கின் மற்ற நிறக் கோடுகளின் அதிர்வெண்களைத் தந்தன என்று பிறகு நிறுவப்பட்டது. 32,903,640,000,000,000 என்ற எண் எப்படி இத்தகைய விளைவுகளை ஏற்படுத்தக்கூடும் என்பது பெரும் புதிராகவே இருந்தது. இந்த எண் ஏதோ ஒரு மாயாஜாலத்தைப்போல் அறிவியலுக்குள் நுழைந்துவிட்டதாகக் கருதப்பட்டது. இந்த எண்ணை வைத்தே ரைட்`பர்க் என்பவர் நீரியம் மட்டுமின்றி, மற்ற பல அடிப்பொருள்களின் கதிரடுக்குகளையும் விளக்கமாக விவரித்தார். இதனால் இந்த எண் ரைட்`பர்க் நிலையெண்' என்றே வழங்கப்பட்டது. மேலே சொல்லப்பட்ட நிலையெண்ணை விளக்கக்கூடிய ஒரு சமன்பாட்டை போர் வகுத்தார்.

$$\frac{(2\pi^2 x k x m l^4)}{n^3} = 32,903,640,000,000,000$$

இதில் π என்பது, 22/7; 'க' என்பது மின்துகளின் கனம்; 'மி' என்பது மின்துகளுடைய மின்பொதிவின் அளவு; 'நி' என்பது ப்லங்க் நிலையெண். மி⁴ என்பது மி என்பதன் நூற்றெருக்கம். நி³ என்பது நி என்பதன் முப்பெருக்கம்.

போர் விளக்கிய கொள்கை பெரிய மலைப்பை ஏற்படுத்தியது. அது ஒளிர்வுக்கான காரணத்தை மட்டுமின்றி, “கதிரடுக்கியல்” என்ற அறிவியல் துறையையும் மிக விளக்கமாகத் தெளிவுபடுத்தியது. மின்துகளின் கனத்துக்கும், மின்பொதிவுக்கும், ஆற்றல் துளியின் கீழ்வரம்பான ப்லங்க் நிலையெண்ணுக்கும் உள்ள தொடர்பை மேலே கண்ட சமன்பாடு விளக்குகிறது.

ஒரு பொருளின் கதிரடுக்கு, இயல்பில், ஒரே கோடாக இருப்பதில்லை. அப்படியிருந்தால் அதற்குக் 'கதிரடுக்கு' என்ற பெயரே அமைந்திருக்காது. அது வரிசையான பல மெலிந்த கோடுகளாகவே பெரும்பாலும் தோன்றும். ஒரே அணுவுக்குள் மின்துகள்கள் சுழல அனுமதிக்கப்பட்ட வட்டப் பாதைகள் பல இருப்பதாலும், ஒவ்வொன்றிலிருந்தும் வேறொன்றுக்கு மின்துகள்கள் இடம்பெயரும் போதெல்லாம் அந்த அணு வெளிப்படுத்தும் ஒளித்துகள்கள் அப்பாதைகளுக்கும், இடம்பெயர்ச்சிகளுக்கும் ஏற்ப ஆற்றலில் வேறுபடுவதாலும், மேற்சொன்னவாறு அதன் கதிரடுக்கு, வேறுபட்ட பல கோடுகளால் அமைகிறது. ஆனால், ஒவ்வொரு அடிப்பொருளின் கதிரடுக்கும் தனித்தன்மை வாய்ந்தது. ஒர் அடிப்பொருளின் கதிரடுக்கைப்போல் வேறொரு அடிப்பொருளின் கதிரடுக்கு அமைவதேயில்லை. இரண்டு கதிரடுக்குகள் ஒரே மாதிரியிருந்தால் அவற்றை வெளிப்படுத்திய அணுக்களெல்லாம் ஒரே அடிப்பொருள் வகையைச் சார்ந்தவை என்று முடிவு செய்து கொள்ளலாம். எத்தனை கோடுகள் இருந்தாலும் கைரேகை எப்படி அதன் சொந்தக்காரனை அடையாளம் காட்ட உதவுகிறதோ, அதே போல ஒரு கதிரடுக்கு அதை விளைவித்த அணுவை அடையாளம் காட்டிவிடும்.

ஒரு வட்டப் பாதையில் இருந்து இன்னொரு வட்டப் பாதைக்கு ஒரு மின்துகள் ஏன் இடம் பெயர வேண்டும்? இந்தக் கேள்விக்கு போர் தந்த விடையைக் கீழ்வருமாறு விளங்கிக்கொள்ளலாம்.

இயல்பான வெப்ப நிலையில் ஓர் அணுவின் மின்துகள், அணுக்கருவுக்கு மிகவும் அருகாமையிலுள்ள வட்டப் பாதையிலேயே சுழல்கிறது. அது, கருவை மேலும் நெருங்கி வரக்கூடிய வகையில், அதைவிட அருகாமையில் வேறு பாதை கிடையாது. அதைவிடத் தொலைவிலுள்ள பாதைக்கு இடம்பெயர அதற்குக் கூடுதல் ஆற்றல் தேவை. குழிக்குள் இருக்கும் பந்து குழியின் அடிவாரத்தில் ஒரு நிலையிலிருக்க என்ன காரணம்? அதைவிடக் கீழே போக அதற்கு இடமில்லை என்பதோடு, அது தானாக மேலேறிக் குழிக்கு வெளியே வரமுடியாது என்பதுமே காரணம். இயல்பான வெப்ப நிலையில் கருவுக்கு மிக அருகாமையிலுள்ள கீழ்மட்டப் பாதையில் இருக்கும் மின்துகள், குழிக்குள் இருக்கும் பந்தைப் போன்றதுதான். ஒரு பொருள் சூடேற்றப்படும்போது அதன் வெப்பநிலை அதிகரிக்கிறது. அப்பொருளின் அணுக்களுக்குள் இருக்கும் மின்துகள்கள் அந்த வெப்ப வடிவில் கிடைக்கும் கூடுதல் ஆற்றலை உட்கொண்டு, வெளிச் சுழற்பாதைக்குத் தாவுகின்றன. அந்த நிலையில் அணுக்கள் ஒருவகையான பரபரப்போடு இருக்கின்றன. இப்படி ஒரு மின்துகள் தன் இயல்பான பாதையை விடுத்துச் சற்றுத் தொலைவிலுள்ள வெளிவட்டப் பாதைக்குத் தாவியதும், கருவின் ஈர்ப்பாற்றல் அந்த மின்துகளை மீண்டும் அதன் இயல்புப் பாதைக்கே ஈர்த்துக் கொள்கிறது. எனவே அந்த மின்துகளின் வெளித்தாவல் ஒரு கண நேர நிகழ்வே. ஒரு கணத்தில் வெளியே தாவிச் சென்று உடனேயே மையக்கருவின் ஈர்ப்பாற்றலால் மீண்டும் அது தன் பழைய நிலைக்கே திரும்புகிறது. அப்படி வெளியிலிருந்து மீண்டும் உள்நிலைக்குத் திரும்பும்போது, வெப்ப வடிவில் தான் உட்கொண்ட கூடுதல் ஆற்றலை ஒளிவடிவில் அது வெளியேற்றுகிறது. இதுதான் போர் தந்த விளக்கம். பொருள் சூடேற்றப்படுவதில் வெப்பம் அதிகரிக்க, அதிகரிக்க, மின்துகள் தன் இயல்புப் பாதையிலிருந்து வெகுதொலைவிலுள்ள வெளிப்பாதைக்குத் தாவ நேரிடும். அப்படி வெகு தொலைவிலுள்ள வெளிப்பாதையிலிருந்து அது மீண்டும் தன் இயல்பு நிலைக்குத் திரும்பும்போது அதிக ஆற்றல் கொண்ட ஒளி வெளிப்படும். அதிக ஆற்றல் கொண்ட ஒளி என்றால், அதன் அதிர்வெண் அதிகமாகவும், அலைநீட்டம் குறுகியதாகவும் இருக்கவேண்டும். அப்பொழுது வெளிப்படும் ஒளி ஊதா நிறம் நோக்கி நிறமாற்றம் பெறுகிறது. இந்த விளக்கத்தால் ஒரே நேரத்தில் ஷ்டெபோல்ஸ் விதி, வீன் விதி இரண்டும் தெளிவு செய்யப்படுகின்றன.

வெப்ப நிலையில் செலுத்தப்படும் ஆற்றலை ஒரு மின்துகள் முதலில் உட்கொண்டு, பிறகு வெளிப்படுத்துவதால்தான் ஒரு பொருளிலிருந்து ஒளி வெளிப்படுகிறது. ஒரு மின்துகள் எந்த அளவில் வேண்டுமானாலும் ஆற்றலை உட்கொள்ளவோ வெளிப்படுத்தவோ முடியாது என்பது ப்லங்க் வகுத்த

சமன்பாட்டின்படிப் பெறப்படுகிறது. குறிப்பிட்ட அளவுகளிலேயே ஆற்றல் துளிகளை வெப்ப வடிவில் உட்கொண்டு, பிறகு அதே அளவுகளிலேயே ஆற்றலை ஒளித்துகள்களாக வெளிப்படுத்துவதால், மின்துகள்கள், அதற்கேற்பச் சில குறிப்பிட்ட ஆரங்களுடைய வட்டப் பாதைகளில் மட்டுமே சுழல முடியும் என்று போர் கற்பித்துக்கொண்ட துணிபு வலுவடைகிறது. செலுத்தப்படும் ஆற்றல் அதிகரித்தால், வெளிப்படும் கதிர்களின் அலைநீட்டம் குறுகிக் குறுகி, மிகக்குறைந்த அலைநீட்டமுடைய எக்ஸ் கதிர்கள் வெளிப்படக் கூடும்.

போர் வெளியிட்ட துணிபைப் பாராட்டியவர் பலர்; குறை கூறியவர் பலர்; அதிலிருந்து ஒதுங்கி நின்றவர் பலர். இப்படித்தான் அன்றைய அறிவியல் சூழ்நிலை அமைந்தது. ஒதுங்கி நின்ற சிலருள் ஐன்ஸ்டீன் இருந்தது வியப்புக்குரியது.

1912-14 ஆண்டுகளில், 'பர்லின் பல்கலைக் கழகத்தில், ஜேம்ஸ் ஃப்ராங்க் என்பவரும் ஹெர்ட்ஜ்* என்பவரும் இணைந்து சோதனைகள் நிகழ்த்தினார்கள். அந்தச் சோதனைகளில் பாதரச அணுக்களை மின்துகள்களால் தொடர்ந்து தாக்கினார்கள். ஓரளவுக்குக் கீழ்ப்பட்ட விரைவு கொண்ட மின்துகள்கள், பாதரச அணுக்களில் பட்டுத் தெறித்தன என்பதையும், அந்த அளவுக்கு மேற்பட்ட விரைவு கொண்ட மின்துகள்கள், பாதரச அணுக்களிடம் தங்கள் ஆற்றலில் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை இழந்தன என்பதையும், அந்தக் குறிப்பிட்ட அளவு 4.9 வோல்ட் என்றமைந்ததையும், அந்த அளவுக்கு மேற்பட்ட மின்துகள்களில் இருந்தும் பாதரச அணுக்கள் 4.9 வோல்ட் அளவே ஆற்றலை உட்கொண்டன என்பதையும் கண்டறிந்து நிறுவினார்கள். இதன் மூலம், குறிப்பிட்ட அளவுகளிலேயே அணுக்களால் ஆற்றல் உட்கொள்ளப்படுவது நிறுவப்பட்டது. போர் வகுத்த அணுப்படிவத்தை இது ஒரு விதத்தில் நிறுவியது எனலாம். ஃப்ராங்க், ஹெர்ட்ஜ்* இருவரும், 1925-ஆம் ஆண்டில், நோபெல் பரிசைப் பகிர்ந்துகொண்டார்கள்.

ஒரு கொள்கையாக, அணுக்கருவின் புறத்தே மின்துகள் இயக்கத்தின் கட்டுக்கோப்பை விளக்கியதில் போர் முன்மொழிந்த துணிபு வெற்றி பெற்றது. ஆனால் கணித முறையில், ஓர் அணுவுக்குள் மின்துகள் இயக்கத்தை முழுமையாக விவரிப்பதில் அது வெற்றி பெறவில்லை. 1900-ஆம் ஆண்டு, ப்லங்க் சிந்தனையில் முதலில் மலர்ந்த துளிக்கொள்கை, பன்னிரண்டு ஆண்டுகள் கழித்து போர் சிந்தனையில் ஓர் அணுப்படிவக் கொள்கையாக மலர்ந்தது. துகள்களின் உள்ளியக்கங்களை விவரிக்கும் ஓர் இயக்கவியல் கொள்கையாக அது மீண்டும் மலர மேலும் பன்னிரண்டாண்டுக் காலம் கடக்க வேண்டியிருந்தது.

அனுமதிக்கப்பட்ட பாதைகளின் ஆரங்களையும் அவற்றின் ஆற்றல் நிலைகளையும் கணிக்க, போர் சில சமன்பாடுகளை வகுத்துத் தந்தார். அச்சமன்பாடுகள் மூலம் பெறப்பட்ட அளவுகள் பல சோதனைகளில் கிட்டத்தட்ட சரியான அளவுகளாக அறியப்பட்டும், அச்சமன்பாடுகளின் அடிப்படை என்ன என்பது ஒரு பெரும் புதிராகவே இருந்தது. போராலும், வேறு யாராலும், அதை விளக்க முடியவில்லை. தேவைப்படும்போது மரபுச் சிந்தனையையும், மற்ற நேரங்களில் துளிநிலைச் சிந்தனைகளையும் இச்சமன்பாடுகளில் போர் பயன்படுத்தியிருந்தார். இந்தக் கலவை பலருக்கு நிறைவளிக்கவில்லை. இது ஏதோ, 'ஆற்றில் ஒரு கால், சேற்றில் ஒரு கால்' என்பதுபோல் அடிப்படையற்ற ஓர் உத்தியாக அவர்களுக்குத் தென்பட்டது. சில விளக்கங்களுக்கு மேக்ஸ்வெல் வகுத்த மரபு விதிகளையும், சில விளக்கங்களுக்கு அந்த மரபை மறுக்கும் துளிநிலை விதிகளையும் பயன்படுத்தும் உத்தியைத் தமிழில், 'சமரசக் கொள்கை' என்று அழைக்கலாம். அந்தக் கொள்கை வெற்றி தந்தாலும், அடிப்படையற்ற அதன் விதிகளை ஏற்றுக்கொள்ள அறிவியல் உலகம் தயங்கிக்கொண்டிருந்தது. அத்தயக்கத்தைப் போக்கக் காலம் மேலும் பன்னிரண்டு ஆண்டுகள் எடுத்துக் கொண்டது. அதை நாம் பிறகு பார்க்க இருக்கிறோம். போர் துணிபில் குறைபாடுகள் இருந்தாலும் அது ஒரு புரட்சிகரமான பாதையில் எடுத்து வைக்கப்பட்ட முதலடி என்பது மறுக்கப்பட முடியாத உண்மை. அத்துணிபு, அணுக்களின் கதிரடுக்குகளை வெற்றிகரமாக விவரித்ததால் நீல்ஸ் போருக்கு 1922-ஆம் ஆண்டு நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

மேற்சொன்ன துணிபில் ஐன்ஸ்டீனின் சார்புக் கொள்கையையும் பொருத்தி, அதிலிருந்து மேலும் விரிவான கதிரடுக்கியல் கொள்கை ஒன்றை ஜோ*மர்ஃ பெல்ட், 1915-ஆம் ஆண்டு நிறுவினார்². பா(ல்)மர் வகுத்த குறள் நெறியின்படி நீரியம் கதிரடுக்கில் உள்ள கோடுகள் எல்லாம் கணித முறையில் பெறப்பட்டன என்று மேலே கண்டோம். ஆனால் அதிலுள்ள ஒவ்வொரு கோடும், மேலும் உன்னிப்பாக கவனிக்கப் பட்டதில், நுட்பமான, மிகச்சிறிய இடைவெளிகளுடன் அமைந்த சில கோடுகளின் கூட்டாகவே காணப்பட்டது. இதை 'இழைபிரிவு' எனத் தமிழில் சொல்லலாம். சார்புக் கொள்கையையும், துளிக்கொள்கையையும் இணைத்து இந்த இழைபிரிவுக்குக் கணித அடிப்படையில், ஜோ*மர்ஃபெல்ட், ஒரு விளக்கத்தைக் கொடுத்தார். அப்படிச் செய்யும் போது அணுவுக்குள் ஒரு மின்துகளின் பாதை முழுவட்ட வடிவில் இல்லாமல் கிட்டத்தட்ட முட்டை வடிவில் இருக்கவேண்டும் என்பதை அவருடைய சமன்பாடுகள் உணர்த்தின.

அணுவுக்குள் ஒரு நிலையிலிருந்து வேறொரு நிலைக்கு மின்துகள்கள் பாய்ந்து சென்று மீள்வதால் ஒளி வெளிப்படுகிறது என்பதை போர் வகுத்த அணுப்படிவம் நிறுவியது.

குறிப்புகள்:

1. *Philosophical Magazine* 26, 1913, page 1 and 476
2. *Sitz., Ber. Bayer. Akad. Wiss.*, 1915, page 459.

13. வானம் வளைந்தது

ஐன்ஷ்டைன் வகுத்த தனிச்சார்புக் கொள்கை, ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்புக்கு உட்பட்டதாக இருந்தது. வேகமுடுக்கம் இன்றி, ஒரே சீர்கதியில் விரையும் இரண்டு முறைப்பாடுகளுக்கு இடையில் மட்டுமே அக்கொள்கை பொருந்தியது. ஒரே கதியில் விரையும் ஒரு முறைப்பாட்டுக்கும், அதைப் பொறுத்து மாறிக்கொண்டே இருக்கும் கதியில் விரையும் இன்னொரு முறைப்பாட்டுக்கும் இடையே பொருந்துமாறு தம் சார்புக் கொள்கையைப் பொதுப்படையாக்க ஐன்ஷ்டைன் விரும்பினார். அதன் விளைவே பொதுச் சார்புக் கொள்கை. 1915-ஆம் ஆண்டு ஐன்ஷ்டைன் நிகழ்த்திய பேருரைகளில் இது முதலில் வெளிப்பட்டது. பிறகு 1916-ஆம் ஆண்டு ஆய்வுத்தாள வடிவில் ஐன்ஷ்டைன் இதை விவரித்தார்¹.

ஐன்ஷ்டைனைப் பொறுத்தவரை அவருடைய அறிவே சோதனைக்கூடம். அவர் நிகழ்த்திய சோதனைகள் பலவும் கற்பனைச் சோதனைகள். தம்முடைய பொதுச்சார்புக் கொள்கையை விளக்க ஐன்ஷ்டைன், சில கற்பனைச் சோதனைகளை விவரித்தார்.

முதல் கற்பனைச் சோதனை: இயல்புக்கு மேல் மிகமிக உயர்ந்த ஒரு கட்டடம்; அதில் 'லிஃப்ட்' எனப்படும் ஒரு மேலுந்து; அந்த மேலுந்தின் கயிற்றுப் பிணைப்பு அறுபட்டு. அந்த மேலுந்து மேல்தளத்தில் இருந்து அதிவிரைவோடு அடித்தளம் நோக்கி விரைவதாகவும், அந்த மேலுந்துக்குள் சிலர் இருக்கிறார்கள் என்றும் கற்பித்துக் கொள்வோம். நாம் அந்த மேலுந்துக்கு வெளியே இருந்துகொண்டு அது கீழே விழுவதை நோக்கியபடி நின்றிருக்கிறோம் என்றும் கற்பனை செய்துகொள்வோம். இன்னொரு வேடிக்கையான கற்பனையும் தேவைப்படுகிறது. கற்பனைதானே! மேலுந்துக்குள் இருப்பவர்கள் எல்லாரும் மேலுந்துக்குள்ளேயே பிறந்து, வெளியே ஒரு பரந்த உலகிருப்பதே அறியாமல் வளர்ந்தவர்கள் என்றும் கற்பனை செய்துகொள்வோம். அந்த மேலுந்துக்குச் சாளரங்களும் இல்லை என்று வைத்துக்கொள்ளலாமே!

கீழே விழுந்துகொண்டிருக்கும் மேலுந்தில் உள்ள ஒருவர் தம் மோதிரத்தைத் தவறவிடுகிறார் என்று வைத்துக்கொண்டால், என்ன நேரும்? அந்த மோதிரம் மேலுந்தின் தரையை நோக்கி விழாமல், அது விடுபட்ட இடத்திலேயே மிதந்து கொண்டிருப்பதுபோல், மேலுந்தில் இருப்பவர்களுக்குப் புலப்படும். காரணம், மேலுந்தும் மோதிரமும் புவியை நோக்கி ஒரேவிதமான வேகமுடுக்கத்தோடு

விரைகின்றன. ஆனால் மேலுந்தில் இருப்பவர்களுக்கு இது தெரியாது. மேலுந்து கீழ்நோக்கி இறங்குவதே அவர்களுக்குத் தெரியாது. மோதிரத்துக்குப் பதில் ஒரு பந்தை அவர்கள் தவறவிட்டாலும் அதே கதிதான். சரி! விடுபட்ட இடத்திலேயே மிதப்பது போல் தொங்கிக்கொண்டிருக்கும் பந்தை இடப்புறம் அல்லது வலப்புறமாகப் பக்கவாட்டில் தள்ளிவிட்டால் என்ன ஆகும்? அது சென்று மேலுந்தின் சுவர்களை மோதி, மீண்டும் மிதக்கத் தொடங்கும். மேலுந்தில் இருப்பவர்களைப் பொறுத்தமட்டில் மேலுந்துக்குள் இயற்கை சக்தி எதுவும் இல்லை; இயங்கா நிலையில் உள்ள எந்தப் பொருளும் அப்படியே தொடர்ந்து இருக்கும், உள்ளே இருப்பவர் தள்ளும் வரை; விரையும் பொருள் எதுவும் தொடர்ந்து விரையும், சுவரில் மோதித் திசைத்திருப்பம் கொள்ளும் வரை. ந்யூட்டன் வகுத்த இயல்பியல் விதிகள் அப்படியே பொருந்தக்கூடிய ஓர் ஓய்வுநிலை முறைப்பாடாகவே அவர்களுக்கு மேலுந்து விளங்கும். மேலுந்துக்கு வெளியே இருப்பவர்களுக்கோ மேலுந்து, புவியீர்ப்பாற்றலினால் வேகமுடுக்கத்துடன் கீழ்நோக்கி விரைவது புரியும்.

மேலுந்து போன்ற, அளவிற சிறிய முறைப்பாட்டைப் பொறுத்தமட்டில், ஓய்வுநிலை முறைப்பாடாக இருப்பதும், புவியீர்ப்புக் களத்தில் வீழ்ச்சி கொள்ளும் முறைப்பாடாக இருப்பதும் வேறுவேறல்ல.

இப்பொழுது, கற்பனைக் காட்சியைச் சற்றே மாற்றிக்கொள்ளலாம்.

இரண்டாவது கற்பனைச் சோதனை: ஓர் ஓய்வு நிலை முறைப்பாட்டில் நாம் இருப்பதாகக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். முதல் சோதனையில் மேலுந்துக்குள் நிகழ்ந்தபடியே இப்பொழுது நாமிருக்கும் உலகிலும் நிகழ்வதாக வைத்துக் கொள்வோம். கற்பனைதானே! நம் உலகில், நம் கையிலிருந்து நழுவும் பந்து தரையை நோக்கி விழாமல், நழுவிய இடத்திலேயே நிற்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். ஓய்வு நிலை முறைப்பாட்டு விதிகளின்படியே நம் உலகில் எல்லா நிகழ்வுகளும் நடப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். இந்த உலகில் ஒரு மேலுந்தைக் கயிறுகட்டி யாரோ மேல்நோக்கி வேகமாக இழுப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். கற்பனை தானே! அந்த மேலுந்துக்குள் இருப்பவர்கள் எல்லாரும் அந்த மேலுந்துக்குள்ளேயே பிறந்து, வெளியே ஓர் உலகம் இருப்பதே தெரியாமல் வளர்ந்தவர்களாக இருந்தால், அவர்களுக்கு இயல்பியல் விதிகள் எப்படி அமையும்? மேலுந்தில் யார் எதைக் கை நழுவ விட்டாலும், அப்பொருள் விரைவாக மேலுந்தின் தரையைச் சென்றடையும்; அங்கு யாராவது எம்பிக் குதித்தால், சற்று உயரத்திற்கு

எம்பி உயர்ந்த பிறகு அவர் தாமாகவே கீழ்நோக்கி வந்து மேலுந்தின் தரையில் விழவேண்டும். உள்ளேயிருப்பவர்கள் இந்த நிகழ்வுகளை ஆராய்ந்து, மேலுந்தின் தரைக்கு ஏதோ ஓர் ஈர்ப்பாற்றல் இருப்பதாக முடிவு செய்வார்கள். மேலுந்து மேல்நோக்கி வேக முடுக்கத்தோடு விரைவதால்தான் இப்படியெல்லாம் நிகழ்வதாக அவர்களுக்குத் தெரியாது. மேலுந்துக்குத்தான் சாளரமே கிடையாதே! கற்பனைதானே! வேக முடுக்கமா, புவியீர்ப்பாற்றலா? எது சரி? இந்தச் சிக்கலைத் தீர்த்து வைக்க யாரால் இயலும்?

சரி, ஒரு சிறிய மாற்றம் செய்து பார்ப்போம். மேற்சொன்ன மேலுந்தின் ஒரு சுவரில் சிறிய ஊசித்துளை ஒன்று செய்வோம். அந்தத் துளை வழியாக ஓர் ஒளிக்கதிரை மேலுந்துக்குள் செலுத்துவோம். அந்த ஒளிக்கதிர் மேலுந்தின் எதிர்சுவரை அடையும் முன்பு, மேலுந்து சற்றேனும் மேல்நோக்கி விரைந்திருக்கும். ஆகவே, எதிர்சுவரில் ஒளிக்கதிர் தாக்கும் புள்ளியும், முதற்சுவரில் நாம் செய்த ஊசித்துளையும் நேர்கோட்டில் இல்லாமல் சற்று விலகியிருக்கும். அதாவது, மேலுந்தின் சமதளத் தரையில் இருந்து ஊசித்துளையின் உயரமும், எதிர்சுவரில் ஒளிக்கதிர் தாக்கிய புள்ளியின் உயரமும் அளக்கப்பட்டால், ஊசித்துளை சற்று கூடுதல் உயரத்தில் இருப்பது புலனாகும். இதை அளந்து, அறிந்துகொள்வது எளிதே. இதன் மூலம், மேலுந்தின் உள்ளே இருப்போர்க்குத் தாங்கள் மேல்நோக்கி விரையும் ஒரு மேலுந்தில் பயணம் செய்துகொண்டிருப்பதால்தான், தாங்கள் நழுவுவிடும் பொருள்களும், எம்பிக் குதிக்கும் தங்கள் பாதங்களும் மேலுந்தின் தரையை அடைகின்றன என்ற உண்மை தெரிந்துவிடுமே! இருப்பதாகத் தாங்கள் இதுவரை நம்பிக் கொண்டிருந்த புவியீர்ப்பாற்றல் இல்லை என்று அவர்களுக்குப் புரிந்துவிடுமே!

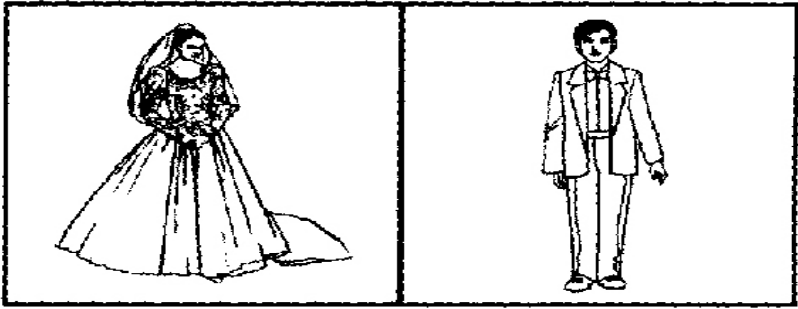
இல்லை. நம் வாதம் சரியில்லை. உள்ளேயிருப்பவர்கள் பதில் வாதம் செய்து மீண்டும் தங்கள் புவியீர்ப்புக் கொள்கையையே நிறுவுவார்கள். ஆம்! ஒளி என்பது ஆற்றல். ஆற்றலுக்குக் கூட கனம் உண்டு. புவியீர்ப்பாற்றல், கனமுடைய எதையும் ஈர்க்கும். எனவே மேலுந்தின் ஒரு சுவர் வழியாக நுழைந்த ஒளிக்கற்றை, புவியீர்ப்பாற்றலால் ஈர்க்கப்பட்டுச் சற்றே கீழ்நோக்கி வளைந்ததால்தான், அது எதிர்சுவரைத் தாக்கிய புள்ளியும், முதற்சுவரின் ஊசித்துளையும் நேர்கோட்டில் அமையவில்லை.

எந்த வாதம் சரி? மேற்சொன்ன கற்பனைச் சோதனைகள் மூலம் புவியீர்ப்புப் புலம் என்பதும், வேக முடுக்கத்தோடு கூடிய இயக்கம் என்பதும் ஒன்றுக்கொன்று

ஈடானவையே என்று ஐன்ஷ்டைன் விளக்கினார். இதுவே ஐன்ஷ்டைனுடைய 'ஈர்ப்பு - ஓய்வநிலைச் சமன்பாட்டுக் கொள்கை' எனப்படுகிறது.

ஐன்ஷ்டைன் இன்னொரு புதுமையான கூற்றை வெளியிட்டார். இயல்புகில் நாம் மூன்று அலகுகள் அல்லது வாட்டங்களுையே அறிகிறோம். நீளம், அகலம், உயரம் என்று அவற்றைக் குறிப்பிடுகிறோம். நாலாவதாக இன்னொரு வாட்டம் உண்டு என்று யாராவது சொன்னால்...? அதுவும் காலம்தான் அந்த நாலாவது வாட்டம் என்று யாராவது சொன்னால்...? ஐன்ஷ்டைன் அப்படித்தானே சொன்னார்!

நாலாவது வாட்டம் (அலகு) இருக்கட்டும். 'மூவலகு' உலகில் இருப்பதாக எண்ணிக்கொண்டிருக்கும் நாம், 'மூவலகு' என்ற கருத்தீட்டையாவது சரியாகப் புரிந்துகொண்டிருக்கிறோமா என்று பார்ப்போம். முதலில் ஒரு கற்பனை செய்து கொள்வோம். இரண்டே வாட்டங்கள் உள்ள ஈரலகு உலகம் ஒன்று உண்டு என்று வைத்துக்கொள்வோம். இந்தத் தாளின் மீது நிறைய மனிதர்களும், அவர்களைச் சுற்றிப் பல பொருள்களும் வரையப்பட்டால் எப்படி இருக்குமோ, அப்படித்தான் ஈரலகு உலகம் இருக்கும்.



(படம் 8)

மேலே உள்ள ஈரலகுப் படத்தில் உள்ள காதலன், காதலியிடம் சென்றடைய வேண்டுமானால், நடுவில் சுவர்போல் உள்ள கோட்டைச் சுற்றிக்கொண்டுதான் போக வேண்டுமே தவிர, நேர்கோட்டில் கோட்டைத் தாண்டிச் செல்ல முடியாது. கோட்டைத் தாண்டுவது என்றால், தானை விட்டு இப்புறமோ, அப்புறமோ காதலன் வரவேண்டும். அது முடியாதே. காரணம் தாளுக்கு வெளியே என்று எதுவும் அவன் உலகில் கிடையாதே; அதுதான் ஈரலகு உலகம் ஆயிற்றே!

அந்த ஈரலகு உலகில் இருப்போர்க்கு வட்டம் தெரியும், ஆனால் கோளம் தெரியாது. அவர்கள் சற்று ஆராய்ந்து பார்த்தால், அவர்கள் வாழும் ஈரலகு உலகம் தட்டையாக ஆனால் வரம்பின்றி இருப்பதைப் புரிந்துகொள்வார்கள். இன்னும் சற்று ஆராய்ந்தால் அவர்கள் உலகில் பெறப்படும் பல்வேறு வடிவங்கள், கோணங்கள், சாய்மானங்கள் பற்றிய கணித விதிகளை எல்லாம் அவர்கள் தெரிந்துகொள்ள முடியும். மூன்று கோடுகள் ஒரு முக்கோணம்போல் சந்தித்துக்கொண்டால், அதனால் விளையும் உட்கோணங்கள் மூன்றினுடைய கூட்டுத் தொகை 180° என்பதை அவர்கள் எளிதில் அறிந்துகொள்ளலாம். இதேபோல் ஒரு வட்டத்தின் ஆரத்துக்கும், சுற்றளவுக்கும் உள்ள தொடர்பு கூட எளிதில் விளங்கக்கூடும், அந்த மாயாஜால எண், 22/7, அதாவது 'π', என்பது மட்டும் எப்படியோ தெரிந்துவிட்டால்! ஒரு நிமிடம்! மூவலகு உலகில் வாழும் நாம் பள்ளிகளில் படித்தோமே, அதே கணித விதிகளல்லவோ இவை! ஆம். இதை ஆங்கிலத்தில் 'ஜியோ-மெட்ரி' என்று அழைத்தோமே! இந்தப் பெயருக்குக் கூடப் பொருள், கிட்டத்தட்ட, புவிக்கணிதம் என்பதுதானே. அப்படியானால் ஈரலகு உலகிலும், மூவலகு உலகிலும் வடிவ விதிகள் ஒரே மாதிரி ஆனவையோ? இல்லை. நாம் புவிக்கணிதம் எனப் படித்ததை நிறுவியவர், யூக்லிட் என்ற க்ரேக்க அறிஞர். சுமார் இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்கு முன்பு, யூக்லிட் வாழ்ந்த காலத்தில், நம் புவிக்கோளமே வெறும் தட்டையான நிலப்பரப்பு என்றுதான் கருதப்பட்டது. அதனால் தட்டையான பரப்புக்கு மட்டுமே பொருந்தக்கூடிய விதிகளின் தொகுப்பைப் புவிக்கணிதம் என்பதாகப் பெயரிட்டுவிட்டனர்.

இப்பொழுது புவிக்கோளத்தின் மீது ஒரு முக்கோணம் வரைவோம்; அதுவும், கற்பனையில். அந்த முக்கோணத்தின் ஒவ்வொரு கோடும் சுமார் இரண்டாயிரம் மைல் நீளம் இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். அந்த முக்கோணத்தின் மூன்று உட்கோணங்களின் கூட்டுத் தொகை 180° என்று சொல்ல முடியுமா? எனவே மூவலகுப் பரப்புக்கு, யூக்லிட் வகுத்த புவிக்கணித விதிகள் பொருந்தவில்லை என்பது தெளிவாகிறது.

நிலைமை இப்படி இருக்க, ஐன்ஸ்டீன் நான்கு அலகுகள் கொண்ட பரப்பாக இந்த உலகைப் பற்றிப் பேசினார். 1908-ஆம் ஆண்டே மென்கோஸ்கி என்பவர் வெளியும் காலமும் இணைந்த நாலலகுப் பரப்பைப் பற்றி விளக்கியிருந்தார். இந்தக் கருத்தை எடுத்துக்கொண்டு மேலும் விரிவு செய்து, பொதுச்சார்புக் கொள்கையை ஐன்ஸ்டீன் நிறுவினார். ஓர் ஆகாய விமானத்தின் பயணத்தை விவரிக்கும் போது, அது தென்வடக்காக எவ்வளவு தொலைவு சென்றது, கிழக்கு

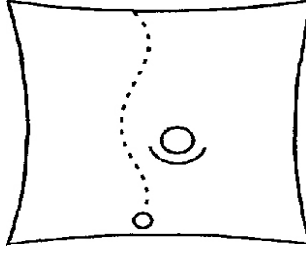
மேற்காக எவ்வளவு தொலைவு சென்றது, புவியிலிருந்து மேல்நோக்கி எவ்வளவு உயரம் சென்றது என்ற மூன்று அலகுகளோடு, நான்காவதாக, அது இந்தச் செலவுக்கு எடுத்துக் கொண்ட நேரம் எவ்வளவு என்பதையும் குறிப்பிடுகிறோம். எனவே வெளியின் மூன்று அலகுகளோடு, காலச் செலவு என்ற நான்காவது அலகைச் சேர்த்து, கால-வெளி என்ற ஒரே தொடர்பரப்பைக் குறிக்கும் வழக்கம் இருக்கிறது. 'வெளி-காலம்' என்று குறிக்கும் ஆங்கில மரபு, தமிழில், 'காலவெளி' என மாறுவதே ஒலிநயத்துக்கு ஏற்படையதாக இருக்கிறது.

இப்பொழுது நாம் பொதுச்சார்புக் கொள்கையின் மையக் கூற்றைப் புரிந்துகொள்ள முயலலாம்.

புவியீர்ப்பாற்றல் என்பதும், வேகமுடுக்கத்தோடு கூடிய இயக்கம் என்பதும் ஒன்றே என்று முதலில் விளக்கப்பட்டது. எனவே புவியீர்ப்பாற்றலால் நிகழ்வையாக நாம் நம்பும் தொடர்பியக்கங்கள், அவ்வியக்கங்களின் வேகமுடுக்கத்தால் நிகழ்வையாகவும் கருதப்படலாம். எடுத்துக்காட்டாக, புவி முதலான கோள்கள் குறிப்பிட்ட பாதைகளில் சுற்றி வரும் நிகழ்வுகள், புவியீர்ப்பாற்றலின் விளைவுகளாக நயூட்டனால் விளக்கப்பட்டன. அதே நிகழ்வுகளைப் பொதுச்சார்புக் கொள்கையின் மூலம், ஐன்ஸ்டீன், வேறு விதமாக விளக்கினார். இந்த இயக்கங்களுக்கெல்லாம் காரணம், கால-வெளி என்ற தொடர்பரப்பின் அமைப்பே என்பது அவர் தந்த புதிய விளக்கம். இதைக் கணித அடிப்படையில் அவர் நிறுவினார். அதை அப்படியே புரிந்துகொள்ள மிகவும் உயர்நிலைக் கணிதப் பயிற்சி தேவை. இந்நூலின் நிலைக்கு அது மிகவும் மேம்பட்டது. எனவே, கணிதம் இல்லாமல், எளிமையான வழியில் அதைப் புரிந்துகொள்ளுமாறு, அவரே பிற்பாடு ஒரு நூல் வெளியிட்டார்². மேலும், ஆர்`தர்` எஸ். எடிங்டன் போன்ற அறிஞர்கள் ஐன்ஸ்டீனின் சார்புக் கொள்கைகளை மிக எளிமையாக விளக்கும் நூல்கள் எழுதி வெளியிட்டனர்³. அவற்றைப் பின்பற்றி நாமும் பொதுச்சார்புக் கொள்கையின் மையக் கருத்தை எளிமையாக விளக்கிக் கொள்ள முயல்வோம்.

கால-வெளி என்ற தொடர்பரப்பு, எல்லாத் திசைகளிலும் இழுத்துக் கட்டப்பட்ட ஓர் இழுவைத் தளம் என்று வைத்துக்கொள்வோம். இந்த இழுவைத் தளத்தின் அமைப்பு அதன் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் சமதளமாக இருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். இந்தச் சமதளத்தின்மேல், கணம் அதிகமில்லாத பந்து போன்ற ஓர் உருளையை உருட்டி விட்டால், அது கிட்டத்தட்ட ஒரு நேர்கோட்டில்தான் உருண்டு செல்லும். இப்பொழுது, அந்த இழுவைத் தளத்தின் மையத்தில், மிகவும் கனமான ஒரு கல்லை வைத்தால், அந்த இடம் ஒரு குழிபோல் ஆகித் தொங்கும்; அந்தக்

குழிக்குள், கல், அமைவாக இருக்கும்; சமதளம் எனப்பட்டது சமதளமாக இல்லாமல் கீழ்க்காணும் வரைபடத்தில் உள்ளதுபோல் ஆகும்:



(படம் 9)

இப்பொழுது முதலில் உருட்டிய பந்தை மீண்டும் அத்தளத்தில் உருட்டிவிட்டால், அது நேர்கோட்டில் செல்லாமல், சற்றே வளைந்து சென்று, நடுவில் உள்ள குழியைச் சுற்றிக்கொண்டு மறுபுறத்துக்குப் போகும். இப்பொழுது, அந்தப் பந்து வளைந்து சென்றதற்குக் காரணம் ஏதாவது ஈர்ப்பாற்றலா, தளத்தின் மையத்தில் குழியாக ஏற்பட்ட மாறுதலா?

ஐன்ஷ்டைன் சொல்லுகிறார்: கால-வெளிப் பரப்பில் மிகவும் கனமான பொருள்கள்... கதிரவன், விண்மீன்கள்... இருக்கும் இடங்கள் இப்படிக் குழிகளாக இருப்பதாக, அவற்றைச் சுற்றி ஒரு தொலைவுவரைக் கால-வெளிப் பரப்பின் சமதளநிலை பாதிக்கப்படுகிறது; அந்த இடங்களை நெருங்கும் கோளங்கள் சுற்றிக்கொண்டு செல்ல முற்படுகின்றன. நாற்சந்தியில், நடுவே, போக்குவரத்துக் காவல்காரர் நிற்பதற்காக அமைக்கப்பட்ட நிழற்குடையை, வாகனங்கள் சுற்றிக்கொண்டுதானே போகின்றன! அதைப் போலத்தான் கோள்களும். கால-வெளிப் பரப்பில் எங்கெல்லாம், பெரிய கோளின் இருப்பதால், சமதளநிலை பாதிப்புக்குள்ளாகிறதோ, அங்கெல்லாம் ஏதோ ஓர் ஈர்ப்புப் புலம் இருக்கிறதென்றும், அதனால் அந்தப் புலத்தை மற்ற சிறிய கோள்கள் சுற்றிக் கொண்டு போகின்றன என்றும் நாம் நினைத்துக்கொள்கிறோம்.

இந்த நூலின் நிலைக்கு இது போதும். வானத்தை வில்லாக வளைப்பேன் என்று சொல்லும் வாய்ச்சொல் வீரத்தைக் கேள்விப்பட்டுள்ளோம். ஆனால் உண்மையில், வெட்டவெளியாகிய வானப்பரப்பே வளைந்திருக்கிறது என்பதை

ஐன்ஷ்டைன் வகுத்த பொதுச்சார்புக் கொள்கை தெளிவாக்கியது. பெரிய கோளங்களால், கால-வெளிப் பரப்பு மடிந்தும், குழிந்தும், மாற்றத்துக்குள்ளாவதும், அதனால் அவ்வழியே செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள் கூட நேர்கோட்டில் இருந்து மடங்கிச் செல்வதும், பிற்பாடு பல சோதனைகளில் நிறுவப்பட்டு, ஐன்ஷ்டைனுடைய பொதுச்சார்புக் கொள்கையை ஏற்புடையதாக ஆக்கின என்றே பெரும்பாலான அறிஞர்கள் கருதுகின்றனர். அப்படி நிறுவிய சோதனைகளில் முக்கியமான சிலவற்றை மட்டும் இங்கே நோக்குவோம்.

ஐன்ஷ்டைன் காலத்துக்கு முன்பே வான்வெளி பற்றிய ஆய்வில் ஒரு சிக்கல் இருந்தது. கதிரவனைச் சுற்றிவரும் கோள்களின் பாதைகளெல்லாம் மிகத் துல்லியமாக நியூட்டன் வகுத்த கோட்பாடுகளில் இருந்து பெறப்பட்டும், 'மர்க்யூரி' அல்லது 'புதன்' என்ற கோளின் பாதை மட்டும் அவ்வாறு சரியாக அமையவில்லை. 'புதன்' என்ற கோள் மற்ற கோள்களை விடக் கதிரவனுக்கு வெகு அருகாமையில் உள்ளது. அதனால் கதிரவனுடைய ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு அது மிகவும் உள்ளாவதால்தான் அப்படி நிகழ்கிறது. நியூட்டன் வகுத்த சமன்பாடுகளின்படி புதனின் பாதை அமையாமல், ஐன்ஷ்டைன் சமன்பாடுகளின்படி மிகச் சரியாக அமைந்திருப்பது தெளிவாகியது. இது, பொதுச்சார்புக் கொள்கைக்குக் கிடைத்த முதல் வெற்றி.

பொதுச்சார்புக் கொள்கையை உறுதி செய்த அடுத்த நிகழ்வு, ஆங்கிலத்தில் 'ரெட் ஷிப்ட்' எனப்படுகிறது. தீவிரமான ஓர் ஈர்ப்புப் புலத்தில், ஒளி இந்த நிகழ்வைப் புலப்படுத்துகிறது. அப்படியொரு புலத்தின் ஈர்ப்பிலிருந்து விடுபடப் போராடும் விண்மீனின் ஒளி, ஆற்றலில் குறைந்து போய், நீண்ட அலைநீட்டம் கொண்ட சிவப்புநிறப் பகுதிக்குத் தாவுவதே அந்த நிகழ்வு. 'செந்திரிபு' என்பதாக இதைத் தமிழாக்கிக் கொள்ளலாம். வால்`டர் சிட்னி ஆடம்ஸ் என்பவர் விண்வெளியில் ஒரு புதிரைப் புலத்தேர்வு செய்தார். 'சிரியஸ்' என்ற விண்மீனின் தோழமை விண்மீன் பற்றிய ஆய்வில் அவர் ஈடுபட்டிருந்தார். அந்தத் தோழமை விண்மீன் மிகவும் சூடாக இருந்ததையும், அதே நேரம், அந்த அளவு சூடான பொருள் எவ்வளவு வெளிச்சம் அல்லது ஒளிர்வைப் புலப்படுத்தவேண்டுமோ அவ்வளவு வெளிச்சமின்றி, குன்றிய ஒளிர்வோடு இருந்ததையும் அதன் கதிரடுக்கு ஆய்வில் இருந்து அவர் அறிந்துகொண்டார். எடிங்டன் இது பற்றி அறிந்து, மிகத் தீவிரமான ஈர்ப்புப் புலத்தில், அந்த விண்மீன் சிக்கியிருக்கலாம் என்று குறிப்பிட்டார். அப்படித் தீவிரமான ஈர்ப்புப் புலத்தில் சிக்கிய விண்மீன்கள் 'வெள்ளைக் குள்ளர்கள்' என்று பொருள்பட ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படுகின்றன. 'உருவுகண்டு எள்ளாமை

வேண்டும்' என்ற திருக்குறள் கட்டளையை மனத்தில் கொண்டு, நாம் இவற்றை 'வெண்மீன்கள்' என்றே அழைப்போம். 1925-ஆம் ஆண்டு, ஆடம்ஸ் அந்த வெண்மீனின் கதிரடுக்கில் செந்திரிபு நிகழ்ந்துள்ளதைப் புலத்தேர்வு செய்தார்.

இனி மூன்றாவது நிகழ்ச்சி. 1919-ஆம் ஆண்டு, மார்ச் மாதம், 29-ஆம் நாள் முழு சூரிய கிரகணம் அல்லது 'முழுப்பகல்மறைப்பு' நிகழ்வால் பகல்நேர வானம் இருண்டிருந்தபோது, இரண்டு குழுவினர், அருகாமையில் தெரிந்த விண்மீன்களின் ஒளிக்கதிர்களை அளந்து, கணித்து, அதன் மூலம் பெற்ற விடைகளை, ஆறு மாதங்களுக்கு முன் நள்ளிரவில் அதே விண்மீன்கள், கதிரவனுக்கு அருகாமையில் இல்லாதபோது எடுத்த அளவுகளில் இருந்து பெற்ற விடைகளுடன் ஒப்பிட்டனர்⁴. கதிரவனுக்கு அருகில் வரும்போது விண்மீனின் ஒளிக்கதிர்கள் திசைத்திருப்பம் கொள்கின்றன என்பது தெளிவாயிற்று. பொதுச்சார்புக் கொள்கை வென்றது.

பொதுச்சார்புக் கொள்கையின் கணித விதிகளின்படி, அண்டத்தின் அமைப்புப் படிவம் ஒன்றை, 1917-ஆம் ஆண்டில் ஐன்ஸ்டீன் வகுத்தபோது அவர் திடுக்கிட்டார். காரணம், அந்தப் படிவத்தில், தொலைவுகள் காலச்செலவில் வளர்ந்தும், குறுகியும் காணப்பட்டன. அது எப்படி முடியும் என்றெண்ணிய ஐன்ஸ்டீன், அந்த விளைவைத் தவிர்ப்பதற்காக, நிலையெண் ஒன்றைத் தம் சமன்பாடுகளில் புகுத்தினார். பிற்பாடு, வியனுலகமே விரிந்துகொண்டிருப்பதாக நிறுவப்பட்டவுடன், அந்த நிலையெண்ணைப் புகுத்தியது, தாம் செய்த பெரிய தவறு என்று ஒப்புக்கொண்டார்.

எல்லாவற்றுக்கும் மேலாகக், 'கருங்குழிகள்' என்று அழைக்கப்படும் விண்மீன்கள் கண்டுபிடிப்பு, பொதுச்சார்புக் கொள்கையை மிக உறுதியாக நிறுவியது. அதுபற்றி நாம் இந்த நூலின் இறுதியில் நோக்க இருக்கிறோம்.

ஐன்ஸ்டீனிடைய பொதுச்சார்புக் கொள்கை இந்த நூற்றாண்டு அறிவியல் வரலாற்றில் மணிமகுடமாகத் திகழ்கிறது. இன்னும் கூட அக்கொள்கையின் முழுவீச்சும் அறிஞர்களால் புரிந்துகொள்ளப்படவில்லை. 'டைட்டேனிக்', 'க்ளியோபேட்ரா' போன்ற ஆங்கிலப் படங்களைப் பார்த்தவர்கள் அவை ப்ரும்மாண்டமாக இருந்தன என்பார்கள். அதேபோல், அறிவியல் கருத்தோட்டங்களைப் படிப்பவர்கள், பொதுச்சார்புக் கொள்கை பற்றிக் கேட்டால், 'ப்ரும்மாண்டம்' என்றுதான் ஒரே சொல்லில் விவரிக்க முடியும். இவ்வளவு பெரிய

சிந்தனைச் சாதனை நிகழ்த்திய ஐன்ஷ்டைன், அடக்கத்தின் பெருமையை நன்கு உணர்ந்தவர். தம் கொள்கைக்கு வித்திட்ட ந்யூட்டன், மைக்கல்சன், மார்லி, மென்கோஸ்கி, எர்னஸ்ட் மஹ் ஆகியோரைக் குறிப்பிட்டுப் பாராட்ட அவர் தவறவில்லை.

எல்லார்க்கும் நன்றாம் பணிதல் அவருள்ளும்
செல்வார்க்கே செல்வம் தகைத்து.

குறிப்புகள்:

1. *Ann. der Phys. Und Chem.*, Volume 49, 1916, page 769 to 822.
2. Einstein, Albert: “Relativity, The Special and General Theory: A Popular Exposition”, New York, Crown Publishers, 1961.
3. “*Relativity*”: Sir Arthur Eddington, Eighth Annual Haldane Lecture, 20.05.1937, London.
4. 29.05.1919 அன்றே, முழுப்பகல்மறைப்பின்போது, அந்தப் புகைப்படங்கள் எடுக்கப்பட்டன; ஆனால், அந்தப் புகைப்படங்களிலிருந்து கணிப்புகள் செய்து, அந்தக் கணிப்புகளின் மூலம், பொதுச்சார்புக் கொள்கை நிறுவப்பட்ட செய்தியை, முதன் முதலாக ஐன்ஷ்டைனுக்குத் தந்தி மூலம், 27.09.1919 அன்றுதான் லோரென்ஜ்* தெரிவித்தார். 06.11.1919 அன்றுதான், எடிங்டன் தலைமையிலான குழுவில் இடம் பெற்றிருந்த டைசன் என்பவர், அந்தக் குழுவின் அறிக்கையை ஓர் ஆய்வுக் கழகத்தின் பொதுக்கூட்டத்தில் படித்தார்.

14. ஐயத்தின் மையத்தில்

1911-ஆம் ஆண்டிலேயே ஒவ்வோர் அணுவுக்குள்ளும் ஓர் அணுக்கரு உண்டு என்பதை ரதர் `ஃபர்ட்` நிறுவியிருந்தும், உடனேயே அணுக்கரு பற்றிய ஆய்வு முனைப்புடன் மேற்கொள்ளப்படவில்லை. போர் வெளியிட்ட கொள்கையின்படி அணுக்கருவும், அதன் புறத்தே உள்ள மின்துகள்களும் எப்படிக்கட்டுக்கோப்புடன் அமைந்துள்ளன என்பதிலேயே அறிவியல் சிந்தனை நாட்டம் கொண்டிருந்ததால், அணுக்கருவைப் பற்றிய ஆய்வு தீவிரமாக மேற்கொள்ளப்படவில்லை. போர் வெளியிட்ட கொள்கையை, 'அணு அமைப்பியல்' என்று சொல்லலாம். ஆனால், 1917-19 ஆண்டுகளில் ரதர் `ஃபர்ட்` தம் மாணவர்களுடன் நிகழ்த்திய சில சோதனைகள் அணுக்கருவியல் ஆய்வுக்கான வாசலைத் திறந்துவிட்டன. அச்சோதனைகள் அகரத் துகள்களைக் கொண்டே நிகழ்த்தப்பட்டன. அச்சோதனைகளைப் பற்றி அறிந்துகொள்ள முற்படுவதற்கு முன், அகர, உகரக் கதிர்கள் பற்றி அந்தக் கால கட்டத்தில் நிலவிய கருத்துகளை நாம் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

அடிப்பொருள்களில் இருந்தே, அகர, உகரக் கதிர்கள் புறப்பட்டு வருகின்றன என்பது தெளியப்பட்டது. இத்தகைய கதிர்களை, ஓர் அடிப்பொருள் வெளிப்படுத்தும் நிகழ்வுதான் கதிரியக்கம். 1911-ஆம் ஆண்டு அக்டோபர் மாதம் நடைபெற்ற முதல் ஸால்வே மாநாட்டில் மேரி க்யூரி கலந்துகொண்டார். அதில் அவர் பேசும்போது, மேற்சொன்ன கதிர்கள் அணுவின் ஆழப் பகுதியில் இருந்தே தோற்றம் கொள்வதாகவும், அப்படிப்பட்ட ஆழப் பகுதி நம் புலப்பாட்டுக் கருவிகளுக்கும், மெய்ப்பாட்டுக் கருவிகளுக்கும் அகப்படாத பகுதியாக இருக்கக்கூடும் என்றும் குறிப்பிட்டார். அதற்கு நான்கு மாதங்களுக்கு முன்பே, ஒவ்வோர் அணுவுக்குள்ளும் ஒரு மையக்கரு இருப்பதை ரதர் `ஃபர்ட்` நிறுவியிருந்தார். ஆனாலும் தாம் குறிப்பிட்ட ஆழப் பகுதி அணுக்கருவே என்று அந்த அம்மையார் உணர்ந்திருந்ததாகத் தெரியவில்லை. அந்த மாநாட்டுக் கூட்டத்தில் ரதர் `ஃபர்டும்` வீற்றிருந்தார். அவர் கூட அம்மையார் குறிப்பிட்ட ஆழப் பகுதி அணுக்கருவே என்று சுட்டிக் காட்டவில்லை¹

அந்தக் காலகட்டத்தில் கதிர்வீச்சு பற்றி ரதர் `ஃபர்ட்` என்ன கருத்துகள் கொண்டிருந்தார் என்பதை அவர் எழுதிய நூல் ஒன்றிலிருந்து நாம் தெரிந்துகொள்ள முடிகிறது. அகரக் கதிர்கள் வெளிப்பட அணுக்கருவின் சிதைவே காரணம் என்பது அவர் கருத்து. அதே போல், உகரக் கதிர்கள் வெளிப்பட மின்துகள் அமைப்பின் தடுமாற்றமே

காரணம் என்று அவர் கருதினார். ரதர்ஃபர்டின் நூல் வெளியான 1913-ஆம் ஆண்டில்தான், முன்பே சொன்னவாறு, நீல்ஸ் போர், தம் அணுப்படிவக் கொள்கையை வெளியிட்டிருந்தார். அக்கொள்கையை அவர் மூன்று ஆய்வுத் தாள்களில் வெளியிட்டார் என்று முன்பே சொல்லப்பட்டது. தம் இரண்டாவது தாளில் அவர் ஒரு கருத்தைக் குறிப்பிட்டிருந்தார். உகரத் துகள்கள் மட்டுமன்றி, உகரத் துகள்களும் அணுக்கருவில் இருந்தே வெளிப்படவேண்டும் என்பதுதான் அக்கருத்து. அதற்கான காரணத்தையும் அவரே விவரித்திருந்தார். கதிர்வீச்சுத் தன்மை, அணுவின் கனம் ஆகிய இரண்டு குணங்கள் தவிர மற்ற எந்த விதத்திலும் வேறுபடாமல், ஒரே மாதிரியாகப் புலப்படும் இருவேறு அடிப்பொருள்கள் இயற்கையில் இருக்கின்றன என்பது ஏற்கனவே தெளிவாகி இருந்தது. இப்படி ஒரே மாதிரியான வேதியியல் குணங்கள் கொண்ட அடிப்பொருள்கள் உண்டு என்பதை 1911-ஆம் ஆண்டிலேயே ஸாடி அறிவித்திருந்தார்². அப்படிப்பட்ட பொருள்களுக்கு 'ஐஸ்டோப்ஸ்' என்று ஆங்கிலத்தில் பெயர் சூட்டியவரும் அவரே. அவற்றுக்குத் தமிழில் என்ன பெயர் சூட்டலாம்? எடை வேறுபாடு மட்டுமிருந்தாலும், ஓர் அடிப்பொருள் போலவே இன்னொன்று மற்ற எல்லா விதங்களிலும் செயல்பட்டதால், ஒன்றிலிருந்து படியெடுத்து வைத்ததுபோல் ஒற்றுமை புலப்பட வைத்த இவற்றைப் 'படிப்பொருள்கள்' என்று குறிப்பிடலாமே.

அணுக்கரு நிறுவப்படுவதற்கு முன்பே அடிப்பொருள்-படிப்பொருள் வேறுபாடு நிறுவப்பட்டது. படிப்பொருள்கள் அணு எடையில் மட்டுமே வேறுபட என்ன காரணம் என்ற தெளிவு அப்பொழுது பிறக்கவில்லை. அணுக்கரு கண்டுபிடிக்கப்பட்டு இருபது ஆண்டுகள் வரையிலும், அதாவது 1933-ஆம் ஆண்டு வரையிலும், இக்கேள்விக்குச் சரியான விடை கிடைக்கவில்லை. அப்படி இருந்தபோதும், 1913-ஆம் ஆண்டிலேயே போர், தம்முடைய இரண்டாவது ஆய்வுத் தாளில் ஒரு கருத்தை வெளியிட்டிருந்தார்³. உகரக் கதிரியக்கம் நிகழ்த்தும் அடிப்பொருள் ஒன்றின் வெவ்வேறு படிப்பொருள்கள், வெவ்வேறு வேகங்களில் உகரக் கதிர்களை வெளிப்படுத்தின என்பதைப் புலத்தேர்வு செய்து, இதனால் உகரக் கதிர்கள் அணுக்கருவுக்குள் இருந்தே புறப்படுகின்றன என்ற கருத்தைத்தான் போர் வெளியிட்டிருந்தார். படிப்பொருள்களுக்குள் உள்ள வேற்றுமைக்குக் காரணம் அணுக்கருவின் உள்ளமைப்பில் உள்ள வேற்றுமையே என்று மிகச் சரியாக போர் கருதினார் என்பதை மேலே சொன்ன கூற்று தெளிவு செய்கிறது.

இனி 1917-ஆம் ஆண்டிலிருந்து ரதர்ஃபர்ட் அணுக்கரு பற்றி என்ன சோதனைகள் நிகழ்த்தினார் என்பதை நோக்குவோம்.

அணுக்கருவை அகரத் துகள்களால் இடைவிடாமல் தாக்கிக் கொண்டேயிருக்கும் பலவிதமான சோதனைகளில் ரதர்ஃபர்டும் அவருடைய சக ஆய்வாளர்களும் ஈடுபட்டிருந்தனர். 1919-ஆம் ஆண்டு அப்படிப்பட்ட ஒரு சோதனையில் வெற்றி கிட்டியது. நீரியம் அல்லாத சில பொருள்களின் அணுக்கருக்கள் அகரத் துகள்களால் தாக்குண்டபோது அந்த அணுக்கருக்களிலிருந்து நீரியம் அணுக்கரு பிரிந்து வெளிப்பட்ட நிகழ்வு அப்பொழுது புலனாயிற்று. அதிலிருந்து நீரியம் தவிர ஏனைய அணுக்கருக்கள் அனைத்தும் அடிப்படையில் நீரியம் அணுக்கருக்களால் அமையப் பெற்ற கூட்டுப் பொருள்களே என்ற கருத்து நிறுவப்பட்டது. நீரியம் அணுக்கரு நேர்மின்பொதிவு கொண்டது. எனவே 'நேரான்' என்று இதை அழைக்கலாம். நேரான் ஓர் அடிப்படைத் துகளாக ஏற்கப்பட்டது. அணுக்கரு ஒவ்வொன்றும் ஒரு நேரானால் அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட நேரான்களால் ஆனது என்ற கருத்து ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது. ஒரு நேரானின் கனம் ஒரு மின்துகளின் கனத்தை விடக் கிட்டத்தட்ட 1836 மடங்கு அதிகம் என்பது சோதனைகள் மூலம் நிறுவப்பட்டது. ஒரு நேரானும் ஒரு மின்துகளும் சம அளவு மின்பொதிவு கொண்டவை என்பதும், ஆனால் ஒன்றுக்கொன்று எதிரான மின்பொதிவு கொண்டவை என்பதும் நிறுவப்பட்டது. நேரானின் மின்பொதிவு நேர்மின்பொதிவாகக் கொள்ளப்பட்டதால், மின்துகளின் மின்பொதிவு எதிர்மின்பொதிவாக ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது. இதுவரை 'மின்துகள்' என்றே இந்நூலில் குறிப்பிடப்பட்ட துகளை இனி 'எதிரான்' என்றே குறிக்கலாம். நேர்மின் துகள்கள் 'நேரான்கள்'; எதிர்மின் துகள்கள் 'எதிரான்கள்'.

ஓர் அணுக்கருவுக்குள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட நேரான்கள் எப்படி இருக்க முடியும் என்ற கேள்வி எழுந்தது. சுமார் 10^{-13} செ.மீ. ஆரமுடைய மிகக் குறுகிய கருவுக்குள் ஒரே குறியீடு கொண்ட மின்பொதிவுத் துகள்கள் எப்படி ஒன்றையொன்று தவிர்த்துப் புறந்தள்ளாமல் கூடியிருக்க முடியும்? இந்தக் கேள்விக்கு அப்போது விடை கிடைக்கவில்லை. இன்னொரு கேள்வியையும் அணுக்கருவியல் எதிர்கொள்ள வேண்டியிருந்தது. ஓர் அணுவுக்குள் நேரான்களும், எதிரான்களும் எண்ணிக்கையில் சமமாக இருக்கவேண்டும். அப்பொழுதுதான், மின்சாரச் சமச்சீர்மை உடையதாக ஓரணு இருக்க முடியும். இயற்கையில் அணுக்களெல்லாம் மின்சாரச் சமச்சீர்மையில் தான் உள்ளன. இது சரி என்றால், எட்டு எதிரான்கள் உடையதாக ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட உயிரியம் அணுக்கருவில் எட்டு நேரான்களே இருக்க முடியும். அப்படியென்றால் ஓர் உயிரியம் அணுவின் கனம் ஒரு நீரியம் அணுவைக் காட்டிலும்

எட்டு மடங்காகவே இருக்க முடியும். ஆனால் மெய்யாக ஓர் உயிரியம் அணுவின் கனம் ஒரு நீரியம் அணுவைக் காட்டிலும் கிட்டத்தட்ட பதினாறு மடங்கு அதிகமாக இருப்பது சோதித்து அறியப்பட்டது. இப்படியே மற்ற அடிப்பொருள்கள் எல்லாம் மேற்சொன்ன படிவத்தின்படி இருக்கவேண்டிய கனத்தைக் காட்டிலும் கிட்டத்தட்ட இரண்டு மடங்கு அதிக கனம் உள்ளவையாக இருந்தன. இந்த கன வேறுபாட்டுக்கு என்ன காரணம்? இந்த இரண்டாவது கேள்விக்கும் விடையின்றி அறிவியல் உலகம் தவித்தது.

இந்த இரண்டு சிக்கல்களையும் தீர்க்குமாறு ஒரு துணிபை 1920-ஆம் ஆண்டு ரதர்ஃபர்ட் துணிந்து வெளியிட்டார். அதன்படி நீரியம் தவிர ஏனைய அடிப்பொருள்களின் அணுக்கருக்களில் நேரான்கருடன் வேறு துகள்களும் இருக்க வேண்டும்; அப்படிப்பட்ட துகள்கள் நேர் அல்லது எதிர் மின்பொதிவு எதுவும் அற்றவையாக, அதாவது மின்சீர்மை கொண்டவையாக இருக்கவேண்டும். இத்துணிபு நிறுவப்பட மேலும் பன்னிரண்டு ஆண்டுகள் அறிவியல் உலகம் காத்திருக்க வேண்டியிருந்தது.

அதற்குமுன் 1919-ஆம் ஆண்டு ரதர்ஃபர்ட் வெளியிட்ட ஒரு தாளில் முக்கியமான ஓர் அடிப்படை உண்மை அறிவிக்கப்பட்டது⁴. அந்த உண்மை ஒரு சோதனை மூலம் ரதர்ஃபர்டால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டு நிறுவப்பட்டிருந்தது. முதலில் அச்சோதனை எத்தகையது என்பதை அறிந்துகொள்வோம்.

காற்று மண்டல அழுத்தத்திலேயே நீரிய வளிமம் நிரப்பப்பட்ட ஒரு கலனுக்குள், ஒருவகைக் கதிரியத்தால் மூலாம் பூசப்பட்ட பித்தளைத் தட்டு ஒன்று வைக்கப்பட்டது. இத்தட்டிலிருந்து சுமார் 50 லட்சம் எதிரான் வோல்ட் விரைவாற்றல் கொண்ட அகரத் துகள்கள், கதிரியத்தின் கதிர்வீச்சில் வெளிப்பட்டு விரைந்தன. அகரத் துகளின் நேர்மின்பொதிவுக்கும் நீரியம் அணுக்கருவின் நேர்மின்பொதிவுக்கும் இடையே ஒன்றையொன்று தவிர்த்துப் புறந்தள்ள முற்படும் எதிர்ப்புத் தடையை மீறிச் செல்ல இந்த அளவு விரைவாற்றல் போதுமானதாக இருந்தது. கதிரியம் பூசப்பட்ட பித்தளைத் தட்டை முதலில் அலுமினியத் தகட்டாலும் பின்பு தங்கத் தகட்டாலும் சுற்றி மறைத்து இச்சோதனை மீண்டும் மீண்டும் நிகழ்த்தப்பட்டது. இத்தகடுகள் அகரத் துகள்களின் தொடக்க விரைவைக் குறிப்பிட்ட அளவுடையதாகக் கட்டுப்படுத்த உதவின. அகரத் துகள்களின் தாக்குதலால் நீரியம் அணுக்களிலிருந்து சிதறும் நீரியம் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கையைக் கணிக்கக்கூடிய 'எண்மானி' என்ற கருவியும் பயன்படுத்தப்பட்டது. இந்த

எண்மானி ரதர்`ஃபர்டின் மாணவர் கைகரால் வடிவமைக்கப்பட்டதால் 'கைகர் எண்மானி' என்றே வழங்கப்படுகிறது.

அகரத் துகள்களின் தொடக்க விரைவு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்கு உட்பட்டு இருந்தபோது அத்தொடக்க விரைவும், சிதறிய நீரியம் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கையும் எதிர்ப்பங்குத் தொடர்புகொண்டவையாய் அமைந்தன. அதாவது, அகரத் துகள்களின் தொடக்க விரைவு அதிகரித்தால், சிதறும் நீரியக் கருக்களின் எண்ணிக்கை குறைந்தது; அவ்விரைவு குறைந்தால் சிதறும் நீரியக் கருக்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்தது. ஒரே குறியீடு கொண்ட இரண்டு மின்பொதிவுத் துகள்களுக்கு இடையிலுள்ள தொடர்பு, மேற்சொன்னவாறுதான் அமையுமென்பதை டார்வின் என்பவர் 1914-ஆம் ஆண்டில் நிறுவியிருந்தார்⁵. ஆனால் இச்சோதனைகளில் அகரத் துகள்களின் தொடக்க விரைவு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்கு மேல் அதிகரிக்கப் பட்டபோது, அதற்கேற்ப நீரியக் கருச்சிதறல் எதிர்ப்பங்குத் தொடர்பில் குறையாமல், நேர்பங்குத் தொடர்பில் அதிகரிக்கத் தொடங்கியது. அகரத் துகள்களின் தொடக்க விரைவை 'வி' என்றும், நீரியக் கருச்சிதறலை 'சி' என்றும் கொண்டால் மேற்சொன்ன நிகழ்வைக் கீழ்வருமாறு எளிமையாகக் குறிப்பிடலாம்: 'வி' ஒரு குறிப்பிட்ட உச்சவரம்பிற்கு உள்ளிருந்த வரை 'வி' யும் 'சி' யும் எதிர்ப்பங்குத் தொடர்பு கொண்டிருந்தன. 'வி' அந்த உச்சவரம்பைக் கடந்ததும் 'வி - சி' தொடர்பு, நேர்பங்குத் தொடர்பாக மாறியது.

'வி' அதிகமானால், அகரத் துகள் நீரியக் கருவுக்கு மிக அருகில் செல்லும். அதாவது, 'வி' அதிகரித்தால், அகரத் துகளுக்கும் நீரியக் கருவுக்கும் உள்ள இடைவெளி குறையும். ஓரளவுக்கு மேல் அந்த இடைவெளி குறைந்து அகரத் துகள் நீரியக் கருவின் மிக அருகில் செல்லும்போது டார்வின் சமன்பாட்டிற்கு அடிப்படையான மின்காந்த சக்தி அல்லாமல் வேறொரு புதிய சக்தியை அகரத் துகள் சந்திக்க நேர்கிறது. நீரியக் கருவின் வெகு அருகாமையில் மட்டுமே அப்புதிய சக்தியின் இயக்கம் உணரப்படுகிறது. அந்த அருகாமையின் எல்லைக்கு வெளியே மின்காந்த சக்தி மட்டுமே உணரப்படுகிறது.

மேற்சொன்ன சோதனைகளில் பெறப்பட்ட அளவு மதிப்புகளில் இருந்து புதிய சக்தியுடைய எல்லை வட்டத்தின் ஆரம் ரதர்`ஃபர்டால் கணிக்கப்பட்டது. அது சுமார் 3.5×10^{-13} செ.மீ. என்றமைந்தது. அதாவது, அணுக்கருவுக்கு மிகமிக அருகாமையில் மட்டுமே அது அமைகிறது.

சோதனை மூலம் மேற்சொன்னவாறு ஒரு புதிய சக்தியின் இயக்கத்தைக் கண்டறிந்தும், அதை ஒரு புதிய அடிப்படை சக்தியின் விளைவு என்று துணியாமல், அது மின்காந்த சக்தியின் ஒரு கூறாகவே இருக்கக்கூடும் என்று ரதர்ஃபர்ட் கருதினார். தம் சோதனையின் விளைவை, மையக் கருவின் உள்ளமைப்பில் ஏற்பட்ட தடுமாற்றத்தின் விளைவென்றே அவர் நினைத்தார். தம் ஆய்வு எதைச் சுட்டிக் காட்டியதோ, அதை நோக்கிப் போகவிடாமல் அவரைத் தடுத்தது, அவர் கண்டுபிடிப்பில் அவருக்கு ஏற்பட்ட ஐயமே. மையப் புலம் நிறுவப்பட அவருடைய ஐயமே தடையாக அமைந்தது.

ஆனால், சேட்விக்க, பை'லர் என்ற அவருடைய மாணவர்கள் இருவர், அச்சோதனைகளை மேலும் நுட்பம் செய்து, தொடர்ந்து நிகழ்த்தி, மேற்சொன்ன விளைவை மேலும் உறுதி செய்தனர். அவ்விளைவை ஏற்படுத்திய சக்தி மின்காந்த சக்தியின் ஒரு கூறாக இருக்க முடியும் என்ற கருத்தை அவர்கள் ஒதுக்கியதோடு, அப்படிப்பட்ட விளைவுகளை உருவாக்கக்கூடிய புதிய சக்திப்புலம் ஒன்றை நிறுவும் முயற்சியில் அறிவியலார் ஈடுபடவேண்டும் என்ற எண்ணத்தையும் 1921-ஆம் ஆண்டு வெளிப்படுத்தியிருந்தனர். அப்படிப்பட்ட புதிய சக்திப் புலத்தின் இயக்கவியல் தெளிவு செய்யப்பட மேலும் பன்னிரண்டு ஆண்டுகள் அறிவியல் உலகம் காத்திருக்க வேண்டியிருந்தது. ஆனால் அந்த இடைப்பட்ட காலமோ, அறிவியலின், குறிப்பாக அணுவியலின், பொற்காலமாகவே அமைந்துவிட்டது. அந்தப் பொற்காலத்துக்குள் நுழைவதற்கு முன் ஓர் அறிவியல் நிகழ்ச்சி பற்றிக் குறிப்பிடவேண்டியுள்ளது.

1921-ஆம் ஆண்டில், ஆர்'தர் காம்ப்டன் என்பவர் 'க்ரேஃபைட்' என்ற திடப்பொருளில் எக்ஸ் கதிர்கள் பட்டுச் சிதறும் நிகழ்வில், சிதறலுக்குப் பிறகு அக்கதிர்களின் ஆற்றல் குறைவுபட்டதைக் கண்டறிந்தார்⁶. எக்ஸ் கதிர்கள், அலைகளாக இருக்குமேயானால், திசைத்திருப்பத்தால் அவை ஆற்றலிழக்க முடியாது. இவ்வாறு அவர் நிகழ்த்திய சோதனையிலிருந்து எக்ஸ் கதிர்கள் போன்ற மின்காந்தக் கதிர்களின் துகட்தன்மை மேலும் தெளிவாக நிறுவப் பட்டது. அதே நேரத்தில், சிதறிய கதிர்கள் இழந்த ஆற்றலை க்ரேஃபைட் கல் வாங்கிக்கொண்டு, அதனாற்றல் அதிகரித்ததும் மேற்கண்ட சோதனையில் புலனாகியது. இதன் மூலம் ஐன்ஷ்டைனுடைய ஒளிமின் விளைவு தெளிவாக நிறுவப்பட்டது.

குறிப்புகள்:

1. Page 223, “*Inward Bound*”, Abraham Pais, Clarendon Press, Oxford, 1986.
2. *Annual Report to the London Chemical Society for 1910*, reprinted in T. J. Trewn, “*Radioactivity & Atomic Theory*”, Taylor and Francis, 1975, London, page 251 and 252.
3. *Philosophical Magazine* 26, 1913, page 476.
4. *Philosophical Magazine* 37, 1919, pages 537, 571, 581.
5. *Philosophical Magazine* 27, 1914, page 499.
6. *Philosophical Magazine* 42, 1921, page 923.

15. அலைகள் ஓய்வதில்லை

இயல்பியல் வளர்ச்சிக்குப் பெரிதும் வழிகோலிய ஆய்வுகள் இரண்டு என்று இந்நூலின் தொடக்கத்திலேயே சொல்லப்பட்டது. அவை, மூலப்பொருள் ஆய்வும், ஒளித்தன்மை ஆய்வும் ஆகும். எக்ஸ் கதிர் கண்டுபிடிப்பு ஒரே நேரத்தில் இந்த ஆய்வுகள் இரண்டிலும் சிந்தனை வளர்ச்சியைத் தூண்டியது. ப்லங்க் வகுத்த துளிக்கொள்கையாலும், ஐன்ஷ்டைன் விவரித்த ஒளிமின் விளைவாலும், தாம்ஸன், ரதர்'ஃபர்ட், நீல்ஸ் போர் வகுத்த அணுக்கொள்கைகளாலும், அலைகள் பற்றிய பேச்சு அறிவியலில் ஓய்ந்துபோயிருந்தது. துகள்நிலை பற்றிய ஆரவாரமே மிகுந்திருந்தது. அப்போது, எதிர்பாராத திசையிலிருந்து, திடீரென்று, அலைக்கூற்று சீறிப் பாய்ந்து வந்து அறிவியல் உலகைத் தாக்கியது. அக்கூற்றை மீண்டும் உசுப்பி, அதன் துயில் கலைத்தவர் லூயி த் ப்ராக்லி என்ற ப்ரெஞ்சு அறிவியல் வல்லுநர். இவர், அரசு குடும்பத்தைச் சேர்ந்த கோமகன் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

த் ப்ராக்லி இரண்டு ஆய்வுத் தாள்களை 1923-ஆம் ஆண்டு வெளியிட்டார்¹. அத்தாள்களில், அவர் ஒரு புரட்சிகரமான கருத்தை வெளியிட்டு இருந்தார். ஒளி என்பது அலைகளால் ஆனது என்பதை யங், மேக்ஸ்வெல் போன்றோர் உறுதியாக நிறுவி விட்டதாக அறிவியல் உலகம் நம்பிக்கொண்டிருந்தபோதுதான், ப்லங்க் கணித்த சமன்பாட்டின் அடிப்படையில் சிந்தித்து, 1905-ஆம் ஆண்டு, 'ஒளி' என்பது துகள்களாக வெளிப்படும் உண்மையை ஐன்ஷ்டைன் அறிவித்தார். அதன் பிறகு அறிவியல் உலகத்தில் கவனிப்பாரின்றிப் பல்லாண்டுகள் ஒதுங்கிப் பதுங்கியிருந்த அலைக்கூற்று, 1923-ஆம் ஆண்டு த் ப்ராக்லியின் ஆய்வுத்தாள்கள் மூலம் புத்துணர்வு பெற்றுப் புறப்பட்டு, ஒளியை ஒதுக்கித் தள்ளிவிட்டு, அதுவரை கனமான துகள்கள் என்றே எல்லாரும் நம்பிக் கொண்டிருந்த பொருள்கள் எல்லாம் கூட, அலைவடிவிலேயே வெளிப்படும் அதிசயத்தைக் கூவி அறிவித்து, அறிவியல் உலகை அதிர்ச்சிக்கு ஆளாக்கியது. 'ஒளியலைகளை ஐன்ஷ்டைன் மறுத்திருந்தால் என்ன? இதோ, பொருளலைகள்!' என்று கூறி அலைக்கொள்கை மீண்டும் எழுந்து நின்று ஆர்ப்பரித்தது. த் ப்ராக்லி கேட்ட கேள்வி மிகவும் எளிமையானது. 'ஒளி' என்பது துகளாகவும், அலையாகவும் இரட்டைத் தன்மை கொண்டதாக இருக்க முடியுமானால், பொருள்களெல்லாம் அவ்வண்ணமே இரட்டைத் தன்மை கொண்டவையாக ஏன் இருக்கக் கூடாது?

ஓர் அணு என்பது, அதன் கருவால் விதிக்கப்பட்ட எல்லைக்கு உட்பட்டு இயங்கும் எதிரான் அலைகளே என்று வைத்துக்கொண்டால், அந்த எல்லைகளுக்குள் அந்த அலைகள் குறிப்பிட்ட சில வடிவமைப்பில் மட்டுமே இயங்க முடியும் என்பதும், அதனால் அந்த அணு குறிப்பிட்ட சில ஆற்றல் நிலைகளை மட்டுமே ஏற்க முடியும் என்பதும் எளிதில் பெறப்படுமே! இதுதான் த ப்ராக்லியின் வாதம். தாம் கற்பித்துக்கொண்ட பொருளலைகளின் அலைநீட்டங்களைக் கணிக்க த ப்ராக்லி ஒரு சமன்பாடு வகுத்திருந்தார்.

$$\text{அலை} = \frac{\text{நி}}{\text{விசை}}$$

{குறிப்பு: ‘அலை’ என்பது அலைநீட்டம்; ‘நி’ என்பது ப்லங்க் நிலையெண்.}

அதாவது, ப்லங்க் நிலையெண்ணை ஒரு பொருளின் விசை மதிப்பால் வகுத்தால் கிடைக்கும் மதிப்பு, அப்பொருளின் அலைநீட்ட அளவுக்குச் சமம். ஒரு பொருளின் கனம் (க), வேகம் (வி) ஆகியவற்றின் பெருக்கல் தொகையே விசை என்பது ந்யூட்டன் காலத்திலேயே நிறுவப்பட்ட ஒரு சமன்பாடு. எனவே, மேற்கண்ட சமன்பாட்டைக் கீழ்வருமாறும் எழுதலாம்.

$$\text{அலை} = \frac{\text{நி}}{\text{க} \times \text{வி}}$$

பொருள்களெல்லாம் அலைகளாகவே இருந்தும், அப்படிப்பட்ட அலைகளை நாம் புலத்தேர்வு செய்ய முடியாமற் போவதற்கு, மேற்சொன்ன சமன்பாட்டின் விளைவே காரணம் என்று த ப்ராக்லி கருதினார்.

எடுத்துக்காட்டாகப் புவிக்கோளத்தின் கனம் 6×10^{27} க் ராம் . அதன் நகர்வேகம் ஒரு வினாடிக்கு 3×10^6 செ.மீ. ‘நி’ என்பதன் மதிப்பு 6.6×10^{-27} அல்லது $\frac{6.6}{10^{27}}$ எனவே புவிக்கோளத்தின் அலைநீட்டம்,

$$\frac{6.6 \times 10^{-27}}{\langle 6 \times 10^{27} \rangle \times \langle 3 \times 10^6 \rangle} = \frac{6.6}{10^{60} \times 18}$$

இது கற்பனை கூட செய்து பார்க்க முடியாத மிகமிகச் சிறிய அளவு. ஓர் அணுவின் ஆரத்தை விடப் பல கோடிகோடி மடங்கு அளவிற்கு சிறியது. இதை அளக்கவோ, நுகரவோ, கருவி அல்லது புலன் ஏது?

இப்பொழுது 100 க்ரேம் எடையுள்ள சிறிய கல் ஒன்றை எடுத்துக் கொள்வோம். அது ஒரு வினாடிக்கு 100 செ. மீ. வேகத்தில் விரைவதாக வைத்துக் கொண்டால், அதன் அலைநீட்டம்:

$$\frac{6.6}{10^{27}} = \frac{1}{100 \times 100} = \frac{6.6}{10^{31}}$$

இதுவும் ஓர் அணுவின் ஆரத்தை விடப் பலகோடி மடங்கு சிறியது; எந்தப் புலனாலும் கருவியாலும் அளக்கப்பட முடியாதது.

இப்பொழுது ஓர் எதிரான் துகளை எடுத்துக்கொள்வோம். ஓர் எதிரானின் எடை, ஏறக்குறைய 10^{-27} க்ரேம். ஒரு மின்புலத்தில் அது வினாடிக்கு 6×10^7 செ.மீ விரைவில் செல்வதாக வைத்துக்கொண்டால், அதன் அலை நீட்டம்:

$$\frac{6.6}{10^{27}} \times \frac{1}{10^{-27} \times 6 \times 10^7} = \frac{6.6}{10^{27}} \times \frac{10^{27}}{6 \times 10^7} = 10^{-7} \quad (\text{கிட்டத்தட்ட}).$$

இது அளக்கக்கூடிய நீளமே. இது கிட்டத்தட்ட, எக்ஸ் கதிர்களின் அலைநீட்டத்துக்குச் சமமானதே. எனவே, ஏதேனும் சோதனை மூலம் எதிரானின் அலைத்தன்மை கண்டறியப்பட வாய்ப்புள்ளது.

இந்த ஆய்வுத் தாள்கள் வெளியானதும் முதலில் அவை பெரிய தாக்கத்தை ஏற்படுத்தவில்லை. இத்துணியை நிறுவக்கூடிய சோதனை எதுவும் நிகழ்த்தப் படவில்லை என்பது ஒரு காரணம். ஆனால், இந்த ஆய்வுத் தாள்களில் வெளியிட்ட கருத்தை விரிவு செய்து, 1924-ஆம் ஆண்டு, தப்ராக்லி எழுதிய ஒரு கட்டுரையை² ஐன்ஸ்டைன் படிக்க நேர்ந்தது. அதன் கருத்தை மேலும் விரிவாக்கி, ஐன்ஸ்டைன் ஒரு கடிதம் எழுதினார்³. புகழின் உச்சியில் இருந்த ஐன்ஸ்டைனால் குறிப்பிடப் பட்டதும், தப்ராக்லியின் பொருளலைக் கொள்கை அறிவியல் உலகின் கவனத்தைக் கவர்ந்தது. அப்பொழுதுதான், தற்செயலாக, ஒரு சோதனையில் இக்கூற்று நிறுவப்பட்டது.

1925-ஆம் ஆண்டு, ஏப்ரல் மாதம், டேவிஸன் என்பவர், ஜேம்ஸ் என்பவரின் உதவியுடன், ஒரு சோதனை நடத்திக்கொண்டிருந்தார். நிக்கல் தகட்டை நோக்கிச் செலுத்தப்படும் எதிரான்கள், அத்தகட்டில் பட்டுத் தெறித்துப் பரவும் நிகழ்ச்சியை ஆய்வு செய்வதே அச்சோதனையின் குறிக்கோள். அப்பொழுது த ப்ராக்லியின் துணிபு பற்றி டேவிஸன் கேள்விப்பட்டிருக்கவில்லை. அச்சோதனையின் போது சோதனைக் கூடத்தில் நிகழ்ந்த ஒரு விபத்தினால் நிக்கல் தகட்டின் மேற்புறம் மாசடைந்தது. அதைத் துலக்க ஒரே வழி, அத்தகட்டை நீண்ட நேரம் சூடேற்றுவதுதான். அப்படிச் சூடேற்றப் பட்டவுடன், அத்தகட்டின் மேற்பூச்சில் இருந்த அணுக்கள் உள்சீர்மை பெற்றுவிடுகின்றன. ‘உள்சீர்மை’ என்றால் ஒரு பொருளின் அணுக்கள் சமஇடைவெளி கொண்ட வடிவமைப்பில் இருத்தல். இப்படி ஒழுங்கான வடிவமைப்பில் அணுக்கள் அணிவகுக்கும்போது, அணுக்கள் படிசுத் தன்மை பெறுகின்றன. அதாவது அப்படிப்பட்ட அமைப்பில் அணுக்களின் இடைவெளிகள் வழியாக ஒளி ஊடுருவிச் செல்லும். இதுவே ‘படிசுத் தன்மை’ என்று இங்கே குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது. மிகவும் சூடேற்றப்பட்ட நிக்கல் தகட்டை நோக்கி மேற்சொன்ன சோதனையில் செலுத்தப்பட்ட எதிரான்கள் படிசுத் தன்மை பெற்றுவிட்ட அணு அமைப்பை ஊடுருவி, மறுபுறம் சென்று, ‘அலைபரவுதல்’ என்ற நிகழ்வைப் புலப்படுத்தின. டேவிஸன், இப்புதிரை விளங்கிக்கொள்ள முடியாமல் திகைத்தார். அறிஞர் பலருடன் தொடர்பு கொண்டு கேட்ட பிறகு அவர் த ப்ராக்லியின் துணிபு பற்றி அறிய நேர்ந்தது. அப்பொழுது அவருக்கு உண்மை விளங்கியது. எதிரான் அலைகள் அச்சோதனையில் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டன என்பதை அவர் உணர்ந்தார். அச்சோதனையை மேலும் செப்பனிட்டுப் பலமுறை நிகழ்த்தி, டேவிஸன் அதே முடிவிற்கு வந்தார். 1927-ஆம் ஆண்டு, இந்த முடிவை உலகுக்கு அறிவித்தார்⁴. த ப்ராக்லியின் பொருளலைகள், எதிரான்களைப் பொறுத்த மட்டிலேனும் சோதனை மூலமாக நிறுவப்பட்டன.

அதே 1927-ஆம் ஆண்டில் டேவிஸன் நிகழ்த்திய சோதனைகள் பற்றி அறியாமலேயே ஜார்ஜ் தாம்ஸன் என்பவர் த ப்ராக்லியின் துணிபைச் சோதித்து அதே முடிவுக்கு வந்தார்⁵. படிசுத் தன்மை கொண்ட அணு அமைப்பின் ஊடே கட்டுப்பாட்டுடன் எதிரான்களைச் செலுத்தி மறுபுறம் ஒரு புகைப்படத் தகட்டில் அலைபரவு வளையங்கள் தோன்றிய நிகழ்வைத் தாம்ஸன் கண்டறிந்தார். 1937-ஆம் ஆண்டு, இச்சோதனைகளுக்காக இயல்பியல்துறை நோபெல் பரிசை தாம்ஸனும் டேவிஸனும் பகிர்ந்துகொண்டனர். ஜார்ஜ் தாம்ஸன், ஜே.ஜே. தாம்ஸனுடைய மகன் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. 1897-ஆம் ஆண்டு எதிரான் என்ற ஒரு துகளின்

இருப்பைத் தந்தை நிறுவினார். அதற்காக அவர் பிறகு நோபெல் பரிசு பெற்றார். 1927-ஆம் ஆண்டு அவர் மகன் எதிரான் அலைகளே என நிறுவினார். அதற்கு அவரும் நோபெல் பரிசு பெற்றார்.

இவ்வாறாக அலைகள் எனக் கருதப்பட்ட ஒளி, துகள் தன்மையையும், துகள்கள் எனக் கருதப்பட்ட எதிரான்கள் அலைத் தன்மையையும் வெளிப்படுத்தி, ஒளி, ஆற்றல், பொருள் என்பவை அனைத்தும் அடிப்படையில் ஒன்றே என்ற கருத்து உருவாக வழிகோலின. இவையெல்லாம் ஒரே பொருளின் வெவ்வேறு தோற்ற நிலைகளே என்பதை மேலே விவரிக்கப்பட்ட அறிவியல் நிகழ்ச்சிகள் உணர்த்தின.

குறிப்புகள்:

1. *Comptes Rendus*, 177, 1923, page 507 & 548.
2. “*Recherches sur la theorie des quanta*”, re-edited version, Masson, Paris, 1963.
3. Letter to H. A. Lorentz, 06.12.1924.
4. *Nature*, 119, 1927, page 558.
5. *Nature*, 122, 1928, page 279.

16. மரமா, மத யானையா?

அங்கொன்றும் இங்கொன்றுமாகச் சிறிய வெளிச்சங்கள் அறிவியற் பாதையில் அவ்வப்போது தென்பட்டிருந்தாலும், இருபதாம் நூற்றாண்டின் கால்பகுதி கடந்த பிறகும் முழுமையான தெளிவின்றித் திக்குத் தெரியாத காட்டில் அறிவியல் திக்குமுக்காடிக் கொண்டிருந்தது. குறிப்பாக, அணுவின் இயக்க விதிகளை முழுமையாக அறிந்து கொள்ளும் முயற்சியில் வெற்றி கிட்டாமல் அது துவண்டு போயிருந்தது. அப்பொழுது, திடீரென்று 1925-ஆம் ஆண்டு, அதன் பயணம் வெற்றிப் பாதையை நோக்கித் திரும்பியது. அந்தத் திருப்பத்துக்கு யாரோ ஒருவர் மட்டும் காரணம் என்று சுட்டிக் காட்ட முடியாது. ஒரே நேரத்தில், உலகின் பல்வேறு இடங்களில், பல்வேறு அறிஞர்கள், அவர்கள் அறியாமலேயே அத்திருப்பம் நிகழ உதவினார்கள். பேருண்மை ஒன்று எப்படியும் வெளிப்பட்டே தீருவது என்ற பிடிவாதத்துடன் வானத்திலிருந்து மண்ணில் வந்து இறங்கியதோ என்ற மலைப்பை, அத்திருப்பத்துக்குக் காரணமான நிகழ்ச்சிகள் ஏற்படுத்தின. அப்படி இறங்கிய பேருண்மை, தன்னை வரவேற்கத் தயாராக இருந்த சிந்தனைகளைப் பற்றிக்கொண்டு, அச்சிந்தனைகளின் இயல்பான குறைபாடுகளையும் கட்டுப்பாடுகளையும் மீறி, அறிவியல் உலகில் அடியெடுத்து வைத்தது. அந்தப் பேருண்மையை வரவேற்று, வடிவமைத்து, வெளிப்படுத்திய சிந்தனைச் சிற்பிகள் என்று சிலரைக் குறிப்பிடலாம். இவர்களில் ஏற்கனவே இந்நூலில் இடம் பெற்றுவிட்ட நீல்ஸ் போர் என்பவருடன் ஹைஸன்பர்க், ஷ்ரூடிங்கர், மக்ஸ் பார்ன், டிரேக், பெளலி, யார்டன் ஆகியோர் குறிப்பிடத் தக்கவர்கள். 'ஜர்மனி, ஆஸ்டிரியா, டென்மார்க், இங்லன்ட் என உலகின் பல பகுதிகளைச் சேர்ந்த இவர்கள் தனித்தனியே சிந்தித்தும், அச்சிந்தனைகள் ஒன்றுபட்டு ஒரு முழுக்கொள்கையாக வடிவம் பெற்றன. அக்கொள்கையைத் தமிழில் 'துளிநிலை இயக்கவியல்' என வழங்கலாம். 1925-ஆம் ஆண்டு மலர்ந்த இக்கொள்கை சரியாக ஐந்து ஆண்டுகளுக்குள் விரிவும் முழுமையும் பெற்றது.

1925-ஆம் ஆண்டில், எதிரான்களுக்கான இட ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கை ஒன்றை பெளலி அறிவித்தார்¹. ஓர் அணுவக்குள், ஒரே இடத்தில், குறிப்பாக, ஒரே ஆற்றல் நிலையில், ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எதிரான்கள் இருக்க முடியாது என்பதே அக்கொள்கையின் சாரம். எதிரான்களுக்குச் சில எண்கள்

ஒதுக்கப்பட்டன. இவற்றைத் 'துளிநிலையெண்கள்' எனச் சொல்லலாம். சுருக்கமாகத் 'துளியெண்கள்' எனலாம். மொத்தம் நான்கு விதமான துளியெண்கள் வகுக்கப்பட்டன. பௌலியின் கொள்கைப்படி நான்கு துளியெண்களில் ஏதேனும் ஒன்றிலாவது ஒன்றோடொன்று வேறுபடும் எதிரான்களே ஓர் அணுவுக்குள் சேர்ந்து இருக்கலாம். அதாவது, ஓர் எதிரானும், அதன் நான்கு துளியெண்களுக்கும் சமமான நான்கு துளியெண்கள் கொண்ட இன்னோர் எதிரானும், ஒரே அணுவுக்குள் சேர்ந்து வசிக்க முடியாது.

ஒருவர் வசிக்கும் வீட்டின் முகவரியைக் குறிக்க தெரு, தெருவிலுள்ள கட்டடம், கட்டிடத்திலுள்ள தளம், தளத்திலுள்ள வீடு என்ற நான்கு செய்திகளைக் குறிக்கவேண்டும். ஓர் அணுவை ஓர் ஊர் என்று வைத்துக்கொண்டால் அதற்குள் ஒவ்வொரு எதிரானும் வெவ்வேறு வீட்டில்தான் வசித்தாகவேண்டும் என்பது பௌலியின் கொள்கை. ஓர் அணுவுக்குள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எதிரான்கள் ஒரே தெருவில் வசிக்கலாம்; ஒரே கட்டிடத்தில் வசிக்கலாம்; ஒரு கட்டிடத்தின் ஒரே தளத்தில் வசிக்கலாம்; ஆனால், ஒரே வீட்டில் வசிக்க முடியாது. கணித அடிப்படையில் பௌலி நிறுவிய கொள்கையை எளிமையாகப் புரிந்துகொள்ள மேற்சொன்ன விளக்கம் தரப்பட்டது.

எதிரான்களுக்கு மட்டுமன்றிப் பிறகு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சிற்றணுத் துகள்களில் பெரும்பான்மையான துகள்களுக்கும் இந்த ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கை பொருந்தும் என்று பிறகு நிறுவப்பட்டது. அதனால் இக்கொள்கை துளிநிலை ஆய்வில் ஓர் அடிப்படைக் கொள்கையாக ஏற்றுக்கொள்ளப் பட்டது. இக்கொள்கைக்காக பௌலிக்கு 1945-ஆம் ஆண்டு, காலம் கடந்து, நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

பௌலியின் ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி வேதியியல் அறிஞர்கள் ஓர் அணுவுக்குள் பற்பல கூடுகளில் எதிரான்கள் இருப்பதாகக் கற்பித்துக்கொண்டு பல வேதியியல் நிகழ்வுகளை வெற்றிகரமாகவிளக்கினார்கள்.

1925-ஆம் ஆண்டு, 23 வயது இளைஞர் ஒருவர் புதிய அறிவியல் சிந்தனை ஒன்றை அறிவித்தார்². அவர் பெயர் ஹைஸன் 'பாக்'. அதற்கு முன்பே, அவர் ஓராண்டுக் காலம் கோப்பன்ஹேகன் எனப்படும் 'க்யோபென்ஹேகன்' என்ற ஊரில் உள்ள போர் அறிவியல் நிறுவனத்தில் தங்கியிருந்தபோது, போரின் அணுப்படிவக் கொள்கை பற்றி, போருடன் நேரடியாக வாதாடி, அப்படிவத்தின் குறைபாடுகள் பற்றிய சிந்தனையோடு 'ஐர்மனி திரும்பியிருந்தார். அங்கே

பேராசிரியர் மக்ஸ் பார்ன் என்பவரிடம் பணியாற்றி வந்தார். அப்பொழுதுதான் அவருக்கு ஒரு புதிய அறிவியற் சிந்தனை உதித்தது. அதுவே அறிவியல் வளர்ச்சியின் திருப்புமுனைக்குப் பெரிதும் வழிவகுத்தது. அந்தச் சிந்தனையை விளங்கிக்கொள்ள முற்படுவோம்.

ஒரு பொருளின் இயக்க விதிகளைக் கணிக்க மரபுவழி அறிவியலில் இரண்டு அளவுகள் தேவைப்படுகின்றன. ஒன்று விசை; மற்றொன்று, இருப்பிடம். ஒரு பொருளின் வேகம், கனம் ஆகிய இரண்டின் பெருக்கல் தொகையே விசை. 'இருப்பிடம்' என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் ஒரு பொருள் எந்த இடத்தில் உள்ளது என்பதைக் குறிப்பது. மரபுவழி அறிவியலைப் பின்பற்றி, விசை, இருப்பிடம் ஆகிய இரண்டையும் கொண்டே எதிரானின் இயக்க விதிகளைக் கணிக்கும் முயற்சியில் ஹைஸன் `பர்க் ஈடுபட்டார்.

உறுதியாகத் தெரிந்த தகவல்களை மட்டும் வைத்துக்கொண்டு விதிகளைக் கணிக்கவேண்டும் என்பது அவர் திட்டம். படிவம் என்ற பெயரில் எதையும் கற்பனை செய்துகொள்வதில் அவருக்கு உடன்பாடு கிடையாது.

அணுவைப்பற்றி, 1925-ஆம் ஆண்டு, உறுதியாகத் தெரிந்த தகவல்கள் மூன்று மட்டுமே. அணுக்களிலிருந்து வெளிப்படும் கதிரடுக்குகளைக் கொண்டு பா(ல்)மர் வகுத்த கணிப்பும், அதைக் கொண்டு பிறகு ரிட்ஜ்* என்பவர் விவரித்த கொள்கையும் முதல் தகவல். தாம்ஸன் நிறுவியவாறு அணுவுக்குள் எதிரான் என்ற துகள் உண்டு என்பது இரண்டாவது தகவல். அணுவுக்குள் எதிரானுக்கு எதிர்மறையான நேர்மின்பொதிவு கொண்ட மிகச்சிறிய மையக்கரு உண்டு என்பது ரதர்`ஃபர்டால் நிறுவப்பட்ட மூன்றாவது தகவல். இந்த மூன்று தகவல்களை மட்டும் வைத்துக்கொண்டு எதிரானின் இயக்க விதிகளைக் கணித்தாக வேண்டிய கட்டாயத்தில் தாமிருப்பதை ஹைஸன் `பர்க் தெளிவாக உணர்ந்திருந்தார்.

பா(ல்)மர்-ரிட்ஜ்* கதிரடுக்குகளைக் கணித முறையில் அதிர்வெண் வாரியாகப் பகுத்து, ஓர் அதிர்வெண்ணின் கோடுகளையும், இன்னுமோர் அதிர்வெண்ணின் கோடுகளையும் பெருக்கினால் என்ன என்று அவருக்குத் திடீரென்று தோன்றியது. மரபுவழி அறிவியலில் விசையையும் இருப்பிடத்தையும் பெருக்குவதுபோல், ஓர் அதிர்வெண்ணின் பிளவுக் கோடுகளை 'பி' என்றும், இன்னோர் அதிர்வெண்ணின் பிளவுக் கோடுகளை 'க்யூ' என்றும், வைத்துக் கொண்டு பெருக்கினால்.....? ஆனால் அதிர்வெண் பிளவுகளை எப்படிப் பெருக்குவது?

பா(ல்)மர்-ரிட்ஜ்* கதிரடுக்கின் அதிர்வெண்களை ஓர் அட்டவணை வடிவில்

அமைத்தால் என்னவென்று ஹைஸன் `பர்க்குக்குத் தோன்றியது. போர் துணிபின்படி வெவ்வேறு பாதைகளில் சமுலும்போது எதிரான் வெவ்வேறு ஆற்றல் கொண்டதாக இருக்கும். அணுவுக்குள் மெய்யாகவே இப்படிப் பாதைகள் உள்ளனவா என்று தெரியாத போது, அணு பற்றிய ஓர் அறிவியல் கொள்கையில் பாதைகள் என்று பேசுவதே தவறு என்று ஹைஸன் `பர்க் கருதினார். ஏற்கனவே சொன்னவாறு தெரிந்த தகவல்களை மட்டும் வைத்து விதிகள் கணிக்கப்பட வேண்டும் என்பதில் அவர் உறுதியாக இருந்தார். இது தொடர்பாகத் தெளிவாகத் தெரிந்ததெல்லாம் அணுக்களின் கதிரடுக்குகள் மட்டுமே. ஒரு நிலையிலிருந்து எதிரான் வேறொரு நிலைக்குத் தாவும்போது ஒளி வெளிப்படுகிறது என்பதை மட்டும் ஒப்புக்கொண்டு, எந்த நிலையிலிருந்து எந்த நிலைக்குத் தாவல் நிகழ்கிறது என்பதைப் பொறுத்து வெளிப்படும் ஒளியின் அதிர்வெண் மாறுவதாக மட்டுமே எடுத்துக் கொள்ளலாம். எனவே அட்டவணை போட நம்மிடம் உள்ளதெல்லாம், முதல் நிலை, இரண்டாம் நிலை, மூன்றாம் நிலை என்ற வரிசையும், இவற்றுள் வெவ்வேறு விதமான தாவல்கள் நிகழும்போது தோன்றும் ஒளிக் கோடுகளின் எண்ணிக்கையும், அதிர்வெண்களும் மட்டுமே.

ஏற்கனவே சொன்னதுபோல் ஒரு துகளின் இயக்கத்தைப் பல மதிப்புகள் அடங்கிய இருவேறு கூறுகளால் விளக்கமுடியும். ஒரு கூறு 'பி' என்றும், இன்னொரு கூறு 'க்யூ' என்றும் ஹைஸன் `பர்க் எடுத்துக்கொண்டார். 'பி' என்ற கூறில் உள்ள மதிப்புகளைக் கொண்டு ஓர் அட்டவணையும், 'க்யூ' என்ற கூறிலுள்ள மதிப்புகளைக் கொண்டு இன்னுமொர் அட்டவணையும் தயாரித்து, இரண்டு அட்டவணைகளையும் பெருக்கிப் பார்த்தால் என்ன என்று ஹைஸன் `பர்க் நினைத்தார். ஓர் எண்ணையும் இன்னொர் எண்ணையும் பெருக்கலாம். ஓர் அட்டவணையையும் இன்னொர் அட்டவணையையும் எவ்வாறு பெருக்க முடியும்? வேறொருவராக இருந்தால், 'ஆளை விட்டால் போதும' என்று இந்தப் பிரச்சினைக்கே முழுக்குப் போட்டிருப்பார். ஆனால் ஹைஸன் `பர்க் மனம் தளராமல் தொடர்ந்தார். தட்டுத் தடுமாறி, முட்டி மோதிக்கொண்டு, எப்படியோ அட்டவணைகளைப் பெருக்க ஒரு முறையை அவர் கண்டுபிடித்தார். அதன்படி 'பி' அட்டவணையையும், 'க்யூ' அட்டவணையையும் பெருக்கிப் பார்த்தபோது, இந்தக் கணிதத்தில் 'பி' × 'க்யூ' என்பதன் மதிப்பும், 'க்யூ' × 'பி' என்பதன் மதிப்பும் சமமாக இல்லாமல் போனது ஹைஸன் `பர்க்குக்குக் குழப்பத்தை ஏற்படுத்தியது. குழப்பத்தின் காரணமாக அவர் தம் முயற்சியைக் கைவிட்டு விடவில்லை. மேலும் தொடர்ந்து இக்கணித முறைப்படிக்க கணிப்புகள் செய்ததில், அக்கணிப்புகளின் விளைவுகள் பெரும்பாலும் பா(ல்)மர்-ரிட்ஜ்* கதிரடுக்குகளுடன் தெளிவாகப் பொருந்தி, அதுவரை அறிவியலில் இருந்த ஒரு குழப்பத்தைச் சரியாகத் தீர்த்ததை அவர் உணர்ந்தார். ப்லங்க் வகுத்தது போலவே, ஆற்றல் மாற்றங்கள் குறிப்பிட்ட துளிக்கணக்கிலேயே நிகழ்ந்ததையும்

அவர் உணர்ந்தார். தம் சிந்தனையைத் துணிந்து வெளியிட்டார். இன்னதென்று தெரியாமலேயே ஹைஸன் 'பர்க் பயன்படுத்தியிருந்த கணித நுட்பத்தைப் பார்த்த உடனேயே அவருடைய பேராசிரியர் மக்ஸ் பார்ன் இனம் கண்டுகொண்டார். சென்ற நூற்றாண்டில் கேய்லி என்ற கணித வல்லுநர் வகுத்திருந்த ஒரு நுட்பமே அது என்பதை அவர் கண்டுகொண்டார். மக்ஸ் பார்னும், யார்டனும் இணைந்து இந்த நுட்பத்திலிருந்து 'பி × க்யூ' என்பதற்கும், 'க்யூ × பி' என்பதற்கும் உள்ள அளவு வேறுபாட்டைக் கணிக்க முற்பட்டனர். மிகவும் நுட்பமான கணித முறையைப் பயன்படுத்திக் கீழ்வரும் சமன்பாட்டை அவர்கள் நிறுவினர்³.

$$[பி \times க்யூ] - [க்யூ \times பி] = 2^{TM} \times \sqrt{-1}$$

அதாவது 'பி × க்யூ' மதிப்பிற்கும், 'க்யூ × பி' மதிப்பிற்கும் உள்ள வேறுபாடு, 'நி' என்ற மிகமிகச் சிறிய ப்லங்க் நிலையெண்ணை வேறொரு புதிரான எண்ணால் வகுத்துக் கிடைக்கும் மதிப்புக்குச் சமம்.

ஏதோ ஒரு விதத்தில் ஹைஸன் 'பர்கின் கணித முறைப்பாடு ப்லங்க் நிலையெண்ணோடு தொடர்பு கொண்டிருந்ததை பார்ன் - யார்டன் சமன்பாடு உணர்த்தியது. ஆனாலும் புதிர் முழுதும் விடுபடவில்லை.

1926-ஆம் ஆண்டு ஜனவரி மாதம் மேலும் தெளிவான கணித முறையைக் கடைப்பிடித்து, ஹைஸன் 'பர்குடைய சமன்பாடுகளில் இருந்து நீரியம் அணுவுக்கான பா(ல்)மர்-ரிட்ஜ்* அதிர்வெண்கள் எளிதில் பெறப்படுவதைப் பெளலி நிறுவினார்⁴. அதே காலக் கட்டத்தில் டிரேக் என்ற இளைஞர், 'பொய்ஸான் அடைப்புக் குறிகள்' என்ற மரபுக் கணித முறையைப் பயன்படுத்தி பார்ன் - யார்டன் சமன்பாட்டை மேலும் எளிய முறையில் நிறுவியதோடு, பா(ல்)மர்-ரிட்ஜ்* அதிர்வெண்களை எளிதாக அதிலிருந்து பெறும் வழியையும் நிறுவினார்.

இதே 1926-ஆம் ஆண்டு ஜனவரி மாதம் ஷ்ருஷ்டங்கர் என்பவர் 'அலைச் சமன்பாடு' என்ற ஒரு கணித முறையை வெளியிட்டிருந்தார்⁵. அச்சமன்பாட்டின் படி எதிரான் சுழற்சிகளை எதிரான் அலைகள் எனக் கற்பித்துக்கொண்டு, அவற்றுக்கு அலைகள் பற்றிய விதிகளைப் பொருத்தி, நீரியம் அணுவிற்கான அலைச்சமன்பாட்டை அறிவித்திருந்தார். அதிலிருந்து

நீரியம் அணுவின் கதிரடுக்கு விதிகள் எல்லாம் எளிதில் பெறப்பட்டன. அறிவியல் உலகம் அதிர்ச்சிக்கு ஆளாகியது. இதைத் தொடர்ந்துதான், 1927-ஆம் ஆண்டு, ஏற்கனவே சொன்னதுபோல் டேவிஸனும், ஜார்ஜ் தாம்ஸனும் சோதனைகள் மூலம் எதிரான் துகள்களின் அலைத்தன்மையை நிறுவினார்கள்.

அறிவியல் உலகைக் குழப்பம் சூழ்ந்துகொண்டது. எதிரான்கள் துகள்களா, அலைகளா, அல்லது இரண்டுமேவா? இது ஒரு குழப்பம். ஓர் எதிரானின் விசை, இடக்குறிப்பு இரண்டும் ஏதோ ஒரு விதத்தில் ப்லங்க் நிலையெண்ணுடன் தொடர்புடையதாகக் கணித முறையில் தென்பட்டும், இயற்கை நிகழ்வில் அத்தொடர்பு புலனாகவில்லை. இது அடுத்த குழப்பம். இரண்டாவதாகச் சொல்லப்பட்ட குழப்பமே ஹைஸன் 'பர்க் சிந்தனையை மேலும் தூண்டியது. திரென்று அவர் சிந்தனையில் ஓர் உண்மை மின்னலெனப் பளிச்சிட்டது. 'பி × க்யூ' வும், 'க்யூ × பி' யும், அதாவது, எதிரானின் விசை × இடக்குறிப்பும், அதன் இடக்குறிப்பு × விசையும், சமமாக இல்லாததற்குக் காரணம் என்ன என்று அவருக்குப் புரியத் தொடங்கியது. அக்காரணத்தைக் கூட ஹைஸன் 'பர்க் கணித வழியிலேயே பெற்றார். தனியாகச் சிந்தித்த டிரைக்லுக்கும் அதே நேரத்தில் அதே முடிவுக்கு வந்தார். நீல்ஸ் போர், இக்கணித முறைப்பாடுகளில் இருந்து ஓர் இயக்கவியல் உண்மையை வடிகட்டி எடுத்து அதை ஒரு கொள்கையாகவே வடிவமைத்துத் தந்தார். அக்காரணம் என்ன என்பதை எளிமையாக விளங்கிக்கொள்ள முற்படுவோம். ஓர் எதிரானின் விசை, இடக்குறிப்பு ஆகியவற்றை எப்படி அளந்தறிவது? 'ஏன், பார்த்துத் தெரிந்துகொள்ளலாமே!' என்று தோன்றக் கூடும். ஓர் எதிரானை எப்படிப் பார்ப்பது? நுண்ணோக்கி உதவாதா? அத்துணை நுட்பம் வாய்ந்த நுண்ணோக்கி இல்லையே. சரி, அத்தகு நுட்பம் வாய்ந்த நுண்ணோக்கி இருப்பதாகவே வைத்துக்கொள்வோம். எதிரானைப் பார்ப்பதென்றால் அதன் மீது ஒளியைப் பாய்ச்சி, எதிரான் மேல் பட்டுத் திரும்பும் ஒளி, எதிரானின் வடிவை நம் விழித்திரையில் படரச் செய்யவேண்டும். அதற்கென்ன, அது அவ்வளவு கடினமா? ஆம். ஒரு நுண்ணோக்கியின் நுட்பத் திறன் அதில் பயன்படுத்தப்படும் ஒளியின் அலைநீட்டத்தைப் பொறுத்ததே. குறைந்த அலைநீட்டம் உடைய ஒளியைப் பயன்படுத்தும் நுண்ணோக்கியின் நுட்பத் திறன் அதிகம். நுட்பத் திறன் அதிகம் என்றால், மேலும் நுட்பமான சிறிய துகளை அது புலப்படுத்தக் கூடும் என்பதே பொருள். ஆனால் ஒளியின் அலைநீட்டம் குறையக் குறைய, அதன் அதிர்வெண் அதிகரிக்குமே! அதிர்வெண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, அந்த ஒளியின் துகள்களான ஒளித்துகள்களின் ஆற்றல் அதிகரிக்குமே! அதனால் என்ன? அதிக ஆற்றல் உள்ள ஓர் ஒளித்துகள் ஓர் எதிரானைத் தாக்கினால், அத்தாக்கத்தால் எதிரான் பேரதிர்ச்சிக்கு ஆளாகி, மிகப்பெரிய அளவு வேகமுடுக்கம் பெற்று உந்தித் தள்ளப்படுமே! ஓர் எதிரானின் இடக்குறிப்பை அறிய அதன் மீது ஒளிபாய்ச்சினால், பாய்ச்சப்பட்ட ஒளியாலேயே தாக்குண்டு, இடம்பெயர்ந்து, பாய்ந்த

ஒளிவட்டத்துக்கு வெளியே அது சென்றுவிடுகிறதே! அதன் வேகமும் முடுக்கம் பெற்று மாறிவிடுகிறதே! இது என்ன விளையாட்டு? ஒரு நீர்க்குமிழியைக் கையில் எடுக்க முனைந்து, கைபட்டு அக்குமிழி உடைவதைக் கண்டு ஏமாறும் குழந்தை விளையாட்டைப் போலன்றோ உள்ளது!

ஒளிபாய்ச்சி ஓர் எதிரானின் இடக்குறிப்பை அறிய முற்படும்போது, ஒளிபாய்ச்சியதுமே எதிரான் வேகமுடுக்கம் பெற்று விரைந்துவிடுகிறதே. ஒளி தாக்கியதற்குமுன் எதிரான் என்ன வேகத்தில் நகர்ந்து கொண்டிருந்தது என்று தெரியாது; ஒளி தாக்கியபின் அது என்ன வேகத்தில் நகரத் தொடங்கியது என்பதும் தெரியாது. ஒரு பொருளின் வேகத்தை அளக்கவேண்டுமானால் குறைந்தது இரண்டு முறைகளேனும் அப்பொருளைப் புலப்பாட்டுக்கு உள்ளாக்கி, இரண்டு முறைகளுக்கும் உள்ள கால, இட வேறுபாடுகளை வைத்தே அப்பொருளின் வேகத்தைக் கணிக்க முடியும். ஆனால் எதிரானைப் புலப்பாட்டுக்கு உள்ளாக்கும் எந்த முயற்சியும் அதற்கு மேலும் வேகமுடுக்கம் தந்து, அதை மேலும் இடம்பெயரச் செய்துவிடுவதால், அதன் வேகத்தைச் சரியாகக் கணிக்க முடிவதில்லை. வேகத்தைச் சரியாகக் கணிக்கவேண்டுமானால் எதிரானை அதிர்ச்சிக்கு ஆளாக்க முடியாத அளவு குறைந்த ஆற்றல் (மிகப்பெரிய அலைநீட்டம்) கொண்ட ஒளியைப் பயன்படுத்த வேண்டும். அப்படிப்பட்ட ஒளியின் நுட்பத் திறன் வெகுகுறைவாக இருக்கும். அப்பொழுது எதிரானின் இடக்குறிப்பை அறியவே முடியாது. இது என்ன சிக்கல்?

ஹைஸன் பர்க் ஒரு முடிவுக்கு வந்தார். ஓர் எதிரானின் இடக்குறிப்பு, வேகம் இரண்டையும் ஒரே நேரத்தில் மிகச் சரியாகக் கணிக்கவே முடியாது என்பதுதான் அந்த முடிவு. ஒன்றை மிகச் சரியாகக் கணிக்க முற்பட்டால், மற்றொன்றின் கணிப்பு மிகவும் உறுதியற்றதாகிவிடும். அதாவது 'கல்லைக் கண்டால் நாயைக் காணோம்' என்ற வழக்குத் தொடர்போல், மரத்தை மறைத்தது மாமத யானை, மரத்தில் மறைந்தது மாமத யானை என்று திருமூலர் சொன்னதுபோல், ஒன்றையறிந்தால் மற்றதை அறிந்துகொள்ள முடியாத நிலை! வேகம், இடக்குறிப்பு என்று நாம் குறிப்பிட்டவற்றை விசை, இடக்குறிப்பு என்றும் சொல்லலாம். ஏனென்றால், வேகமும் விசையும் ஒன்றுக்கேற்ப ஒன்று நேர்ப்பங்குத் தொடர்பில் மாறுபடுவன.

விசை, இடக்குறிப்பு ஆகியவற்றின் கணிப்புறுதியின்மைத் தன்மைகளை ஹைஸன் பர்க் ஒரு சமன்பாட்டின் மூலம் தொடர்புபடுத்தினார்⁶. கணிப்புறுதியின்மை என்பதை உறுதியின்மையென்றே சுருக்கமாகக் குறிக்கலாம்.

$$\Delta \text{ விசை} \times \Delta \text{இடம்} \geq 6.6 \times 10^{-27}$$

(Δ = கணிப்புத் தடுமாற்றத்தின் அளவு; ' \geq ' என்பதன் பொருள் அதிகம் அல்லது சமம்.)

ஓர் எதிரானுடைய விசையின் உறுதியின்மை, அதன் இடக்குறிப்பின் உறுதியின்மை ஆகிய இரண்டும் பெருக்கப்பட்டால் கிடைக்கும் தொகை 6.6×10^{-27} என்ற மிகமிகச் சிறிய எண்ணை விடக் குறைவாக இருக்கவே முடியாது. இச்சமன்பாட்டில் 6.6×10^{-27} என்பது நாம் முன்பே சந்தித்த ஒரு புதிர்ப் பேர்வழிதான். ஆம், அதுவே ப்லங்க் நிலையெண் 'நி'.

சாதாரணமாக நாம் நடைமுறையில் காணும் பொருள்கள் - கோள்கள், பாறைகள், பழங்கள், கோலிக்குண்டுகள் - எல்லாவற்றுக்கும் விசை, இடக்குறிப்பு என்ற இரண்டு அளவுகளையும் ஒரே நேரத்தில் நம்மால் கணிக்க முடிகிறது. அப்படியிருக்க, எதிரான் போன்ற சிற்றணுக்களுக்கு மட்டும் நம்மால் ஏன் அப்படிச் செய்ய முடிவதில்லை? இக்கேள்விக்கான விடை, 'நி' என்ற எண் மிகமிகச் சிறிய மதிப்புடைய எண் என்பதே. கோள்கள், பாறைகள், கோலிக்குண்டுகள் போன்ற பொருள்களின் விசை, இடக்குறிப்பு ஆகியவற்றை அளப்பதிலும் உறுதியின்மை இருக்கத்தான் செய்கிறது. ஆனால் அவ்வறுதியின்மையின் அளவு மிகமிகச் சிறியது. கிட்டத்தட்ட 0.000 000 000 000 000 000 000 000 00 66. அதனால் நடைமுறை வாழ்வில் நாம் காணும் பொருள்களின் அளவுகளில் தோன்றக்கூடிய இந்த மிகமிகச் சிறிய உறுதியின்மை கவனிக்கப்படவே முடியாதது. மேலும் அது எந்த மாற்றத்தையும் அன்றாட வாழ்வில் ஏற்படுத்த இயலாதது. துப்பாக்கியில் இருந்து புறப்படும் ஒரு குண்டு, பயிற்சிக்கு வைக்கப்பட்ட குறிப்புள்ளியைத் தாக்குமா தாக்காதா என்ற கணிப்பில் 'நி' அளவு உறுதியின்மை ஏற்படுவதால் எந்தக் கோளாறும் விளையாது. ஏனென்றால், அந்த மையப் புள்ளியின் அளவே, 'நி' யை விடப் பலகோடி மடங்கு அளவில் பெரியது. எனவே ஹைஸன் 'பர்க் வகுத்த உறுதியின்மைக் கொள்கை எல்லாப் பொருள்களுக்குமே பொருந்தும் என்றாலும், அந்த விதியின் விளைவு மிகமிகச் சிறியதாகையால், அதன் காரணமாக, அணுவின்மும் பெரிய பொருள்களைப் பொறுத்தவரை பெரிய மாற்றம் எதுவும் ஏற்படுவதில்லை. ஆனால் எதிரான் போன்ற மிகமிகச் சிறிய துகள்களைப் பொறுத்தமட்டில், இவ்விதி கவனிக்கத்தக்க அளவு மாற்றங்களை ஏற்படுத்துகிறது.

எடுத்துக்காட்டாகச் சிறிய கல் ஒன்றைக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். அது ஒரு செ.மீ. நீளம், ஒரு செ.மீ. அகலம், ஒரு செ.மீ. உயரம் கொண்ட ஒரு மூலவகுச் சதுரம் என்று வைத்துக்கொள்வோம். அதன் எடை சுமார் 10 க்ரேம் என்று வைத்துக்கொள்வோம். விசை என்பது கனம் \times வேகம். கனம் மாறாதது. எனவே, வேகமாற்றங்களே விசைமாற்றங்களை விளைவிக்கின்றன. இதைக் கருத்திற்கொண்டு மேற்கண்ட சமன்பாட்டைக் கீழ்வருமாறு மாற்றிக்கொள்ளலாம்.

$$\Delta \text{வி} \times \Delta \text{இடம்} \geq \frac{6.6 \times 10^{-27}}{க} \geq 0.66 \times 10^{-27}$$

[இச்சமன்பாட்டில், 'வி' என்பது வேகம்.]

இச்சமன்பாட்டின் இடமும் வலமும் சமமே என்று வைத்துக்கொண்டால் அக்கல்லின் வேகத்தையும் இடக்குறிப்பையும் ஒரே நேரத்தில் அளக்கும்போது அந்த அளவுகளில் 0.66×10^{-27} அளவுக்கு ஒரு சிறிய தடுமாற்றம் ஏற்படக்கூடும். இந்தத் தடுமாற்றம் கற்பனைக்கும் எட்டாத அளவுக்கு மிகமிகச் சிறியது. 0.66×10^{-27} என்பது 0.66 என்ற எண்ணை 1000000000000000000000000 என்ற மிகப் பெரிய எண்ணால் வகுத்துப் பெறும் அளவு. இது, ப்லங்க் நிலையெண்ணை விடப் பத்து மடங்கு சிறிய மதிப்புடையது. மேலே நாம் எடுத்துக்கொண்ட கல்லின் 1 செ.மீ. நீளத்தில் இது பல கோடிகோடிகளில் ஒரு பகுதி. நாம் கணித்த இடத்திலிருந்து ஒரு கல் இந்த அளவு தள்ளி விழுவதை எந்தக் கருவியால் அளக்க முடியும்? எப்படித்தான் இதை நாம் அறிந்து கொள்ள முடியும்? எனவே ஒரு செ.மீ. அளவு நீள, அகல, உயரமுள்ள ஒரு சிறிய கல்லுக்குக் கூட உறுதியின்மைச் சமன்பாட்டால் கவனிக்கத்தக்க பாதிப்பு எதுவும் நேர்வதில்லை.

இப்பொழுது, கல்லினும் சிறிய புழுதித்தூள் ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் நீள, அகல, உயரங்கள் மேற்சொன்ன கல்லில், பத்தாயிரத்தில் ஒரு பகுதி அளவே என்று வைத்துக்கொண்டால் அப்புழுதியின் மூன்று அலகுகள், 10^{-4} ; 10^{-4} ; 10^{-4} என அமையும். இந்தப் புழுதி, மேற்சொன்ன கல்லை உடைத்ததில் தெறித்த ஒரு பகுதி என்றே கொண்டால், இப்புழுதியின் எடை, $10^{-12} \times 10 = 10^{-11}$ க்ரேம்.

எனவே இப்புழுதியைப் பொறுத்தவரை:

$$\Delta \text{வி} \times \Delta \text{இடம்} \geq \frac{6.6 \times 10^{-27}}{10^{-11}} \geq 6.6 \times 10^{-16}$$

இது சற்றேறக்குறைய 10^{-15} .

இதன்படி, 'வி', 'இடம்' இரண்டுக்குமே அதிகப்படியான உறுதியின்மையைக் கற்பித்துக்கொண்டால், $\Delta \text{வி} = 10^{-7}$ என்றும் $\Delta \text{இடம்} = 10^{-8}$ என்றும் கொள்ளலாம். அதாவது புழுதியின் இருப்பிடம் 10^{-8} அளவு, இப்படியப்படி இருக்கலாம். இப்புழுதியின் நீளமான 10^{-4} செ.மீ. என்பதோடு ஒப்பிடும்போது கிட்டத்தட்ட அப்புழுதியின் அளவில் பத்தாயிரத்தில் ஒருபங்கு அளவுக்கு அப்புழுதி இடம் விலகி இருக்கலாம். இது கருத்த தக்க அளவே இல்லை என்று முடிவு செய்துவிடலாம். அப்புழுதியின் இயல்புநிலை வேகம் கிட்டத்தட்ட வினாடிக்கு

10^{-1} செ.மீ என்று வைத்துக்கொண்டால், இத்துடன் ஒப்பிடும் போது, அதன் வேகத்தின் உறுதியின்மையான 10^{-7} என்பது பத்து லட்சத்தில் ஒரு பங்கு. இதுவும் கருதத்தக்க அளவு கிடையாது.

இப்பொழுது ஓர் எதிரானை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் ஆரம், தாம்ஸன் காலத்து மரபியல் கொள்கையின்படி கிட்டத்தட்ட 10^{-13} செ.மீ. என்றும், அதன் எடை 10^{-27} க்ராம் என்றும் கணிக்கப்பட்டுள்ளன. அதேபோல் அதன் சராசரி வேகம் ஒரு நொடிக்கு 10^{-7} செ.மீ. என்றும் கணிக்கப்பட்டுள்ளது. எதிரானைப் பொறுத்தவரை,

$$\Delta \text{வி} \times \Delta \text{இடம்} = \frac{6.6 \times 10^{-27}}{10^{-27}} = 6.6$$

எனவே ஓர் எதிரானைப் பொறுத்தவரை $\Delta \text{வி} \times \Delta \text{இடம்} = 6$ (கிட்டத்தட்ட). எதிரானின் இடக்குறியில் ஏற்படும் தடுமாற்றம், கிட்டத்தட்ட, ஓர் எதிரான் அளவுக்குச் சமம் என்று வைத்துக்கொண்டால், $\Delta \text{இடம்} = 10^{-13}$. அப்பொழுது, அதன் வேகத்தின் கணிப்பில் ஏற்படும் தடுமாற்றம் மிகப்பெரிய அளவாகப் பெறப்படுகிறது.

$$\Delta \text{வி} = \frac{6}{\Delta \text{இடம்}} = \frac{6}{10^{-13}} = 6 \times 10^{13} = 60000000000000$$

இந்த அளவு அதன் வேகத்தைக் கணிப்பதில் தடுமாற்றம் ஏற்பட்டு விடுகிறது. வேகக் கணிப்பில் ஏற்படும் தடுமாற்றத்தை மிகக்குறைவாக ஓர் எதிரானின் இயல்பான வேகம் அளவிற்கே எடுத்துக்கொண்டால்:

$$\Delta \text{வி} = 10^7; \Delta \text{இடம்} = \frac{6}{10^7}$$

அதாவது வேகத்தின் கணிப்புறுதி இன்மையை மேற்சொன்னவாறு குறைத்தால் அதன் இடக்குறியின் உறுதியின்மை $6 \div 10^{-7}$ என்றாகும். ஓர் எதிரான் எந்த இடத்தில் உள்ளது என்பதைக் கண்டுபிடிப்பதில் $6 \div 10^{-7}$ அளவு தடுமாற்றம் ஏற்படக்கூடும். இதை எதிரானின் ஆரத்துடன் ஒப்பிட்டால்:

$$\frac{6}{10^7} : 10^{-13} = \frac{6}{10^7 \times 10^{-13}} = \frac{6}{10^{-6}} = 6 \times 10^6 = 6000000$$

அதாவது அதன் வேகத்தின் உறுதியின்மையை அதன் சராசரி வேகத்தின் அளவு குறைத்தால், அதன் இருப்பிடத்தின் உறுதியின்மை, அதன் அளவை

விடப் பல லட்சம் மடங்கு அதிகமாக அமைகிறது. எனவே எதிரான் போன்ற சிற்றணுக்களைப் பொறுத்தவரை, ஹைஸன் 'பர்க் வகுத்த உறுதியின்மை விதி, கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டே ஆகவேண்டிய ஒரு மிகப்பெரிய தடைக்கல். அதைப் புறக்கணிக்க முடியாது.

எனவே, எதிரான் போன்ற சிற்றணுக்களை நாம் அளக்க முற்படும்போது ப்லங்க் நிலையெண்ணாகிய 'நி' அளவேனும் ஓர் உறுதியின்மையைச் சந்திக்க வேண்டியுள்ளது. இதற்குக் காரணம் அப்படிப்பட்ட துகளின் ஒரு தன்மையை நாம் அளக்க முற்படும்போது, அந்த முயற்சியினாலேயே அதன் இன்னொரு தன்மை பெரிய மாற்றத்திற்கு உள்ளாகிறது. ஒரு சிற்றணுவின் இருப்பிடத்தை அளக்கும் முயற்சி, அதன் வேகத்தை மிகுந்த தாக்கத்துக்கு உள்ளாக்குகிறது; அதன் வேகத்தை அளக்கும் முயற்சி, அதைப் பெரிதும் இடம் பெயரச் செய்து, அதன் இடக்குறியை உறுதியற்றதாக மாற்றுகிறது. இதற்குக் காரணம், அடிப்படையில், சிற்றணுக்கள், அன்றாட வாழ்வில் நாம் சந்திக்கும் பொருள்களைப் போன்றவை அல்ல. அவற்றின் பொருண்மை நிலையே சாதாரண பொருள்களின் பொருண்மை நிலையிலிருந்து மிகவும் வேறுபட்டது. சிற்றணுக்கள் ஒரு நோக்கில் துகள்களாகவும், இன்னொரு நோக்கில் அலைகளாகவும் அறியப்படும் இருநிலைத் தன்மை கொண்டவை என்பதைத்தான் த ப்ராக்லி முன்மொழிந்திருந்தார். அதைத்தான் டேவிஸன் - தாம்ஸன் சோதனைகள் உறுதி செய்தன.

துகளாகவும் அலையாகவும் ஓர் எதிரான் இருப்பதாக வைத்துக்கொண்டால், அதன் வேகம், த ப்ராக்லி வகுத்த சமன்பாட்டின்படி, அலைநீட்டம், எதிரானின் கனம் ஆகியவற்றின் பெருக்கல் தொகையால், ப்லங்க் நிலையெண்ணை வகுப்பதன் மூலம் கிடைக்கும் மதிப்புக்குச் சமம். இந்தச் சமன்பாட்டைக் கீழ்வருமாறு எழுதலாம்:

$$வி = \frac{நி}{அலை \times க}$$

எனவே வேகம் என்பது கனம், அலைநீட்டம் ஆகிய இரண்டை மட்டுமே பொறுத்து அமைகிறது. ஓர் அலையின் எந்தப் புள்ளியில் துகள் இருக்கிறது என்பது அதன் வேகத்தை எந்த விதத்திலும் பாதிப்பதில்லை. எனவே அலையின் வேகமும், அந்த அலையாகப் பரவும் துகளின் இருப்பிடமும் ஒன்றையொன்று பாதிப்பதேயில்லை. ஒன்று அளக்கப்படும்போது மற்றொன்று அளக்கப்படுவதில்லை. இதனால்தான் ஒரே நேரத்தில் இரண்டையும் அளப்பது இயலாமல் போகிறது.

இந்த உறுதியின்மைக்குக் காரணம் அளக்கும் கருவிகளின் குறைபாடுகளே என்று ஹைஸன் பர்க் நம்பினார். ஒளியைப் பாய்ச்சித்தான் ஒரு சிற்றணுவின் இருப்பிடத்தை அறிய முடியும். ஒளி பட்டதுமே ஒரு சிற்றணு மிகத்தொலைவுக்கு இடம்பெயர்ந்து விடுகிறது. இதைக் கொண்டே அந்த முடிவுக்கு வந்தார். ஆனால் மக்ஸ் பார்ன், டிரேக், நீல்ஸ் போர் ஆகியோர் ஒவ்வொருவரும், அவரவர் சிந்தனைக்கு ஏற்ப, மேற்சொன்ன உறுதியின்மைக்கான காரணங்களை விளக்க முற்பட்டனர்.

ஓர் அணுவுக்குள் எதிரான் இயக்கத்தை, ஷ்ருஷ்டிங்கர் வகுத்த அலைச்சமன் பாடு, எப்படி வெற்றிகரமாக விவரிக்க முடிகிறது என்பது பற்றிச் சிந்தித்துப் பேராசிரியர் மக்ஸ் பார்ன் ஒரு புதிய கொள்கையை முன்மொழிந்தார்⁷.

நடைமுறையில் சில நிகழ்வுகள் இயலக் கூடும் ; சில இயலாமல் போகக்கூடும். இயலக்கூடிய நிகழ்தன்மை ஆங்கிலத்தில் 'பாஸிபிலிடி' என்றும், இயலாத தன்மை 'இம்பாஸிபிலிடி' என்றும் குறிக்கப்படுகின்றன. இயலக்கூடிய ஒரு நிகழ்வு எப்பொழுதுமே நிகழ்ந்துவிடுவதில்லை. விசையைத் தட்டினால் விளக்கெரிய வேண்டும். இது இயலக்கூடிய ஒரு நிகழ்வு. அதனால் விசையைத் தட்டும் போதெல்லாம் விளக்கு எரிந்தே ஆகவேண்டும் என்ற முடிவுக்கு வர முடியாது. மின்தடை அல்லது விசைக் கோளாறு போன்ற காரணங்களால் விளக்கு எரியாமல் போய்விடலாம். இயலக்கூடிய ஒன்று மெய்யாகவே நிகழ்வதற்கான வாய்ப்புக் கூறு ஆங்கிலத்தில் 'ப்ராபிலிடி' எனப்படுகிறது. ஒரு நாணயத்தை மேலே சுழற்றி எறிந்தால் விழுவது பூவா தலையா என்று யாரும் உறுதியாகச் சொல்ல முடியாது. ஆனால், இரண்டுக்கும் சமவாய்ப்புக்கூறு உண்டு என்று கணிதம் சொல்கிறது. அதன் பொருள் பல நூறுமுறை நாணயம் மேலே எறியப்பட்டால் ஏறக்குறைய பாதி முறை பூவாகவும், பாதி முறை தலையாகவும் விழும் என்பதே.

வாய்ப்புக்கூறு கணிதத்தைப் பயன்படுத்தி மக்ஸ் பார்ன் தம் கொள்கையை விவரித்தார். ஷ்ருஷ்டிங்கரின் சமன் பாடுகள் சுட்டிக் காட்டிய அலைகள் 'வாய்ப்புக்கூறு அலைகள்'. அதாவது, ஓர் 'எதிரான்-அலை' என்பது அந்த எதிரான் எங்கெல்லாம் இருக்கக்கூடிய வாய்ப்புக்கூறு உண்டோ அப்படிப்பட்ட வாய்ப்புக்கூறு புள்ளிகளை இணைக்கும் கோடு என்பதாக அக்கொள்கையை ஒருவாறு புரிந்து கொள்ளலாம். அதாவது, அக்கொள்கையின்படி, ஓர் எதிரான் அதன் அலைக்குள் எங்கு வேண்டுமானாலும் இருக்க முடியும்; ஆனால் அது அந்த அலைக்கு வெளியே இருக்க முடியாது.

டிரேக் தம் பங்குக்கு எதிரானின் பலநிலை இயக்கம் என்ற ஒரு கொள்கையை வெளியிட்டிருந்தார். அதன்படி ஓர் எதிரான் ஒரே நேரத்தில் வேறுவேறு திசைகளில், வேறுவேறு வேகங்களில் விரையக்கூடும். எடுத்துக்காட்டாக வினாடிக்கு 10^{-7} செ.மீ. வேகத்தில் வடக்கு நோக்கியும், அதே நேரத்தில் வினாடிக்கு 10^{-8} செ.மீ. வேகத்தில் கிழக்கு நோக்கியும், ஒரே எதிரான் விரையக்கூடும். மரபுவழிக் கணிதத்தில் இந்த இயக்கம் வடகிழக்கு நோக்கிச் செல்லும் ஒரே இயக்கமாகக் கருதப்படும். ஆனால் டி ரேக் கொள்கையின்படி இவை தனித்தனி இயக்கங்களாக ஒரே நேரத்தில் நிகழக் கூடும். இதை விளங்கிக்கொள்வது கூடக் கடினம். ஒரு துகள் எப்படி ஒரே நேரத்தில் இருவேறு இடங்களில் இருக்க முடியும்? அப்படி நிகழவே முடியாது என்றுதான் சராசரி மனிதனுடைய சிந்தனை சொல்லும். ஆனால் எதிரான் போன்ற சிற்றணுக்களைப் பொறுத்தமட்டில் எது வேண்டுமானாலும் நிகழக்கூடும் என்பதை அறிவியல் சிந்தனை முதலில் தயக்கத்துடனும், பிறகு மலைப்புடனும் நம்பத் தொடங்கியிருந்தது.

இப்படித் துகளாகவும் அலையாகவும் ஒரே நேரத்தில் எதிரான் இயங்குவதை வைத்து நீல்ஸ் போர் ஒரு மெய்யியல் கோட்பாடே வகுத்தார். துகள் தன்மையும் அலைத்தன்மையும் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பட்டவையல்ல; அவை ஒத்து உடன் உறையக்கூடிய தன்மைகளே என்று அவர் விளக்கினார்.

மேற்கண்டவாறு எதிரான் பற்றிய பலவிதமான கருத்தீடுகளை ஒரே கருத்தோட்டத்தில் கொண்டுவந்த 'துளிநிலை இயக்க இயல்' என்ற முழுக்கொள்கையாக நீல்ஸ் போர் நிறுவினார்.

துளிநிலை இயக்கவியலையும், சார்புக் கொள்கையையும் ஒருங்கிணைக்கும் முயற்சியை, டி ரேக் 1928-ஆம் ஆண்டில் மேற்கொண்டார்⁸. அப்படிப் பட்ட ஒருங்கிணைப்பை, க்லையன் ன்பவரும் கார்டொன் என்பவரும் சேர்ந்து, 1926-ஆம் ஆண்டிலேயே செய்திருந்தனர்⁹. ஆனால் அவர்களுடைய கொள்கைகளும் சமன்பாடுகளும் சிற்றணுக்களின் தற்சுழற்சி இயக்கத்தைக் குறிக்கவில்லை. டி ரேக் வகுத்த சமன்பாடுகள் அப்படிப்பட்ட தற்சுழற்சி இயக்கத்தைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டிருந்தன. ஏற்கனவே, 1925-ஆம் ஆண்டில் ஊலன்பெக், கௌட்ஸ்மிட் என்ற இருவர் ஓர் ஆய்வுத் தாளில் எதிரான்களுக்குத் தற்சுழற்சி இயக்கம் இருக்கக் கூடும் என்பதைக் குறிப்பிட்டிருந்தனர்¹⁰. கதிரவனைச் சுற்றி வருவதோடு, புவிக்கோளம் எப்படித் தானே சுழன்றும் வருகிறதோ, அப்படியே, இடம்பெயரும் இயக்கத்தோடு, தற்சுழற்சி இயக்கமும் கொண்டவையாக, எதிரான்கள் உருவக்கி்கப்

பட்டன. ஓர் உவமைக்காகப் புவியின் தற்கழற்சி குறிப்பிடப்பட்டதே தவிர, புவியின் தற்கழற்சிக்கும், எதிரானின் தற்கழற்சிக்கும் மிகப்பெரிய வேறுபாடுகள் உணரப்பட்டன. பூமி 360 கோண் சுழன்றால் அது சுழலத் தொடங்கிய நிலைக்கே திரும்பியிருக்கும். ஆனால் டிரேக் வகுத்த சமன்பாடுகளின்படி ஓர் எதிரான் 360 கோண் தற்கழற்சி செய்தால் அது தொடக்க நிலைக்குத் திரும்புவதில்லை. இரண்டுமுறை 360 கோண் சுழன்ற பிறகே எதிரான் தன் தொடக்க நிலைக்குத் திரும்புவதாக டிரேக் வகுத்த சமன்பாடுகள் உணர்த்தின. மேலும் எதிரான்களின் தற்கழற்சி எத்திசைநோக்கிச் சுழன்றாலும் அவற்றின் சுழலச்சகள் 'மேல்', 'கீழ்' என இரண்டு திசைமுனைப்புகளைத் தவிர வேறு திசைமுனைப்புகளில் இருக்க முடியாது என்ற புதிரும் இச்சமன்பாடுகளிலிருந்து உணரப்பட்டது.

ஒரு சுழற்சியின் மதிப்பளவைத் தமிழில், 'சாய்மான விசை' என்று குறிக்கலாம். டிரேக் வகுத்த விதிகளின்படி ஒரு சிற்றணுவின் சுழற்சி அதன் சாய்மான விசைக் கணக்கின்படி $\frac{h}{4p}$. இயல்பியலில் $\frac{h}{2p}$ என்பது வசதிக்காக ஒரு நிலையெண்ணாக அடிக்கடிப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. $\frac{h}{2p}$ என்பதைத் தற்கழற்சி மதிப்பின் ஒரு மாத்திரையாகக் கொள்ளலாம். அப்படிக் கொள்ளுமிடத்தில் டிரேக் சமன்பாடுகளின்படி ஓர் எதிரானின் தற்கழற்சி அரை மாத்திரை அளவுடையது.

மரபு விதிகளின்படி மின்பொதிவு கொண்ட ஒரு துகள் சுழலும்போது ஒரு காந்தப் புலத்தை விளைவித்தே ஆகவேண்டும். எதிரான் துகளும், அப்படி ஒரு காந்தப் புலம் உடையதாக டிரேக் வகுத்த சமன்பாடுகள் காட்டின. ஏதோ ஒரு பாதையில் எதிரான் வலம்வரும் சுழற்சியால் ஒரு காந்தப் புலமும், அப்படி அது வலம்வரும் பொழுதே தற்கழற்சியில் ஈடுபடுவதால் மற்றொரு காந்தப் புலமும் உருவாக வேண்டும். அணுக்கருவை எதிரான் சுற்றிவரும் சுழற்சியால் ஏற்படும் காந்தப் புலத்தில், எதிரானே ஒரு சிறிய காந்தத் துணுக்கைப்போல் தற்கழற்சியோடு சுழன்று சுழன்று வலம் வருவதாக உருவகித்துக்கொள்ளலாம். அப்படி நிகழும்போது அதன் தற்கழற்சியின் திசை, காந்தப் புலத்தின் திசைக்கு இணைவாகவோ, மாறாகவோ இருக்கக்கூடும். ஏனென்றால் ஒரு காந்தப் புலத்தின் வடதுருவம் இன்னொரு காந்தப் புலத்தின் தென்துருவத்தையும், தென்துருவம் வடதுருவத்தையும் ஈர்க்குமல்லவா! ஓர் எதிரானின் தற்கழற்சி அச்சு, மேல் அல்லது கீழ் என இரண்டு முனைப்பு நிலைகள் கொள்ளக்கூடும் என்று முன்பே சொல்லப்பட்டது. இந்த இரண்டு முனைப்பு நிலைகளுக்கும் தேவைப்படும் ஆற்றல் அளவுகள் மிகச்சிறிய அளவில் வேறுபடுவதை டிரேக் விதிகள் உணர்த்தின. ஆற்றல் சற்றே அதிகம் தேவைப்படும்

முனைப்பு நிலையிலிருந்து மற்ற முனைப்பு நிலைக்கோர் எதிரான் மாறும்போது, ஆற்றல் வேறுபாட்டிற்கேற்ப மிகக்குறைந்த ஆற்றல் கொண்ட ஒளித்துகள் ஒன்றை வெளிப்படுத்தலாம். அதாவது, போர் கொள்கையின்படி, ஒரு வெளிச்சுற்றுப் பாதையிலிருந்து உள்சுற்றுப் பாதைக்கு ஓர் எதிரான் இடம்பெயரும்போது, அதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றலின் அளவு குறைவாவதால், தேவைப்படாத மிச்ச ஆற்றலை ஒளியாக வெளிப்படுத்துகிறது என்று சொல்லப்பட்டதே, அதுபோல், டிரேக் விதிகளின்படி, எதிரானின் தற்சுழற்சி காரணமாக அதன் சுழலச்சு ஒரு முனைப்பிலிருந்து இன்னொரு முனைப்பிற்கு மாறும்போது, அதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றலின் அளவு சற்றே குறைகிறது அல்லது கூடுகிறது. எனவே, சுற்றுப் பாதைகளில் எதிரான் தாவும்போது வெளிப்படும் கதிரடுக்கு, போர் விதிகளின்படி அமையாமல், மிகச்சிறிய அளவுகளில் ஆங்காங்கே வேறுபட்டதைச் சுழலச்சின் முனைப்பு-மாற்றம் விளக்கிவிடுகிறது. அதாவது, கதிரடுக்கில் 'இழைபிரிவு' நேர்வதை இக்கொள்கை மிகத் தெளிவாக விளக்குகிறது.

டிரேக்கின் பணியைப் பாராட்டி அவருக்கும், ஷ்ருஷ்டிங்கருக்கும் 1933-ஆம் ஆண்டு இயல்பியல் துறைக்கான நோபெல் பரிசு பகிர்ந்தளிக்கப்பட்டது.

துளிநிலை இயக்கவியலில் சார்புக் கொள்கையை டிரேக் பொருத்திப் பார்த்த போது பெறப்பட்ட சில தெளிவுகளை மேலே கண்டோம். ஆனால் அந்த முயற்சியிலிருந்து விளைந்த மிகமுக்கியமான ஒரு திருப்பத்தை நாம் அடுத்த அதிகாரத்தில் விரிவாகக் காண இருக்கிறோம். அதற்குமுன் இதே போன்ற முயற்சியை க்லையன், கார்டொன் ஆகிய இருவரும் மேற்கொண்டனர் என்று மேலே சொல்லப் பட்டதை நாம் மீண்டும் நினைவுபடுத்திக்கொள்ள வேண்டும். க்லையன்-கார்டொன் சமன்பாடுகள் சிற்றணுக்களின் தற்சுழற்சியைக் குறிக்கவில்லை என்ற குறைபாடு காரணமாகத்தான் டிரேக், அதே முயற்சியை வேறு விதத்தில் மேற்கொண்டு, தற்சுழற்சியைக் குறிக்கும் சமன்பாடுகளை நிறுவினார். ஆனால் தற்சுழற்சி இல்லாத சிற்றணுக்கள் பிறகு கண்டுபிடிக்கப்பட்டபோது, அவற்றுக்கு க்லையன்-கார்டொன் சமன்பாடுகள் மிகச்சரியாகப் பொருந்தின.

குறிப்புகள்:

1. *Zeitschr. f. Phys.*, 31, 1925, page 765.
2. *Zeitschr. f. Phys.*, 33, 1925, page 879.
3. *Zeitschr. f. Phys.*, 34, 1925, page 858.
4. *Zeitschr. f. Phys.*, 36, 1926, page 336.
5. *Ann Der Phys.*, 79, 1926, page 361.
6. *Zeitschr. f. Phys.*, 43, 1927, page 127.
7. *Zeitschr. f. Phys.*, 37, 1926, page 863 and *Zeitschr. f. Phys.*, 38, 1926, page 803.
8. *Proceedings of Royal Society*, A 117, 1928, page 210.
9. a) O. Klein, *Zeitschr. f. Phys.*, 37, 1926, page 895.
b) W. Gordon, *Zeitschr. f. Phys.*, 40, 1926, page 117.
10. *Physica* 5, 1925, page 266.

17. எதிரும் புதிரும்

துளிநிலை இயக்கவியலில் சார்புக் கொள்கையைப் பொருத்தி டிரேக் நிறுவிய சமன்பாடு கீழ்வருமாறு:-

$$ஆ = \sqrt{\langle க^2 \times ஒ^4 \rangle + \langle விசை^2 \times ஒ^2 \rangle}$$

இதில் 'க' என்பது எதிரானின் இயங்காநிலை கணம்; 'ஒ' என்பது ஒளியின் வேகம்; ஒ⁴ என்பது ஒளிவேகத்தின் நாற்பெருக்கம். அதாவது, ஒர் எதிரானின் ஆற்றல், மேற்கண்ட சமன்பாட்டின்படி, வலப்புறம் உள்ள மொத்த மதிப்பின் தற்பெருக்க வேருக்குச் சமம்.

$\sqrt{4} = 2$ என்பது உண்மையானால், $\sqrt{4} = -2$ என்பதும் உண்மையாகும். எந்த எண்ணுடைய தற்பெருக்க வேரின் மதிப்பும் உடன்பாட்டு அளவாகவோ, எதிர்மறை அளவாகவோ இருக்கலாம். இது ஒர் அடிப்படைக் கணிதவிதி. அப்படியென்றால் ஒர் எதிரானின் ஆற்றல் உடன்பாட்டு மதிப்பாகவோ, எதிர்மறை மதிப்பாகவோ இருக்கக் கூடும். மெய்ப்பொருளான ஒர் எதிரானின் ஆற்றல் எப்படி எதிர்மறை மதிப்புடையதாக இருக்கமுடியும் என்ற புதிர் அதிர்ச்சி அளித்தது. மேற்சொன்ன சமன்பாடு, அணுவுக்குள் சிறைப்படாமல், வெட்டவெளி என்ற வெற்றிடத்திலுள்ள எதிரானின் ஆற்றலைக் குறிப்பது. எதிர்மறை ஆற்றல் என்ற புதிர் பற்றிச் சிந்தித்த டிரேக் ஒரு புதிய விளக்கத்தை முன்மொழிந்தார். அந்த விளக்கத்தின்படி வெட்டவெளி என்பது வெற்றிடம் இல்லை. அது முழுக்க முழுக்க எதிரான்களால் நிரம்பி வழிகிறது. அப்படியென்றால் வெட்டவெளியில் உள்ள எதிரான்கள் ஏன் புலப்படுவதேயில்லை? அவை ஏன் எந்த மானிக்கும் அகப்படுவதில்லை? மனிதனுக்குள்ள ஐம்பொறிகளின் புலப்பாட்டுத் திறனுக்குட்படாத பொருள்களை, மானிகளின் உதவியுடன் மனிதன் அறிந்துகொள்கிறான். மானியுடன் அப்படிப்பட்ட ஒரு பொருள் ஏதேனும் ஒரு விதத்தில் தொடர்புகொள்ளும் இயக்கமே மனிதன் அப்பொருளை அறிந்து கொள்ள உதவுகிறது. புலப்பாட்டுக்கு உட்படாத ஒரு பொருள், ஒரு மானியின் குறுக்கீட்டால், ஏதேனும் ஒரு விதத்தில் தன் நிலையை மாற்றிக்கொள்வதை வைத்தே அப்படிப்பட்ட ஒரு பொருள் இருக்கவேண்டும் என்ற முடிவுக்கு மனிதன் வருகிறான். ஆனால் வெட்டவெளி முழுவதையும் எதிரான்கள் இடைவெளியின்றி நிரப்பியிருப்பதாகக் கொண்டால், எந்த மானியின் குறுக்கீட்டாலும், எந்த எதிரானும் இடம்பெயரவோ, நிலைபெயரவோ முடியாது. எனவே வெட்டவெளியை நிரப்பியிருக்கும் எதிரான்களை நாம் அறிய வாய்ப்பேயில்லை. இதுவே டிரேக் அளித்த விளக்கம்.

மேலே சொல்லப்பட்ட விளக்கத்திலிருந்து கணிதமுறையில் டிரேக் 1929, 1930 ஆண்டுகளில் வெளியிட்ட ஒரு துணிபு, மிகுந்த வியப்பை ஏற்படுத்தியது¹. இப்படியும் நடக்கக் கூடுமா என்று அறிவியல் உலகம் வியந்துகொண்டிருந்தபோது, மெய்யாகவே அப்படி நடந்தது. டிரேக் வெளியிட்ட துணிச்சலான துணிபு ஒரு தீர்வாக வெற்றி கண்டது. இப்பொழுது டிரேக் வெளியிட்ட துணிபை நோக்குவோம்.

மேலே வெட்டவெளி என்றும், அதில் நிறைந்திருக்கும் எதிரான்கள் என்றும் நாம் சொன்னவற்றை வேறு விதமாக மாற்றிப் புரிந்துகொள்வோம். ஓர் அணுவுக்குள் எதிரான்கள், அணுக்கருவிலிருந்து சற்றுத் தொலைவில்தான் இயங்குகின்றன. போர் துணிபின்படிப் பார்த்தால், அணுக்கருவுக்கு மிக அருகாமையிலுள்ள அணுமதிக்கப்பட்ட பாதைக்கும் அணுக்கருவுக்கும் சற்றேனும் இடைவெளி இருந்தே ஆகவேண்டும். அந்தக் கீழ்மட்டப் பாதைக்கும் கீழே, அல்லது உள்ளே ஏன் எதிரான்கள் போவதில்லை? பாதைகள் என்ற உருவகத்தைத் தவிர்த்துத் துளிநிலைக் கொள்கைக்கேற்ப மேற்கண்ட கேள்வியை மாற்றி அமைத்துக்கொள்ளலாம். அணுவுக்குள் எதிரான்கள் தங்கள் இயல்பான ஆற்றல் நிலைக்குக் கீழ்ப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளுக்கு ஏன் போவதில்லை?, இதற்கு டிரேக் தந்த பதில் மிகவும் எளிமையானது. அவை அப்படிப் போகாததற்குக் காரணம் அவற்றால் அப்படிப் போக முடிவதில்லை என்பதே. அவற்றைப் போகவிடாமல் தடுப்பது பெளலியின் இட ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கை. இயல்புநிலை ஆற்றலுக்குக் கீழே எதிரான்கள் இருக்கக்கூடிய ஆற்றல் நிலைகள் எல்லாம் ஏற்கனவே எதிரான்களால் நிரம்பியிருக்கின்றன. எனவே இயல்பு நிலையிலும், அதற்கு மேலும், அணுவிலிருக்கும் எதிரான் எதுவும் இயல்பு நிலைக்குக் கீழ்ப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளுக்குச் செல்ல முடிவதில்லை. அப்படிச் செல்ல இட ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கை ஒரு தடையாக அமைகிறது. இயல்பு நிலைக்குக் கீழ்ப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளை நிரப்பியிருக்கும் எதிரான்கள் ஏன் நம்முடைய பொறிப்புலப்பாட்டுக்கோ, கருவிப் புலப்பாட்டுக்கோ உட்படுவதில்லை? இதற்கு டிரேக் தந்த பதில், அவை புலப்பாட்டிற்கு அப்பாற்பட்டவை என்பதே. அரங்கம் நிரம்பிவிட்டதைக் குறிக்கும் பலகை மாட்டப்பட்ட திரையரங்கிற்கு வெளியிலிருந்து, அரங்கத்திற்குள் இருப்பவர்களைக் காண இயலாது. வெளியில் இருந்துகொண்டே எந்தச் சாதனத்தையோ கருவியையோ அரங்கத்திற்குள் செலுத்தி அரங்கத்திற்குள் இருப்பவர்களைப் பார்க்கவும் நமக்கு அனுமதி கிடையாது. சரி! அரங்கத்திற்குள்ளிருந்து ஒருவர் வெளிவருவதைப் பார்த்துவிட்டால் போதுமே! அப்போது அரங்கத்திற்குள் ஆட்கள் இருந்தனர் என்பதை ஒப்புக்கொள்ளமுடியும். அதாவது, இயல்பு நிலைக்குக் கீழ்ப்பட்ட ஆற்றல்

நிலைகளில் உள்ளதாகச் சொல்லப்படும் எதிரான், எப்பொழுதேனும் மேலுயர்ந்து, இயல்பு நிலைக்கோ, அதற்கும் மேம்பட்ட நிலைக்கோ வராதா என்ன? வரலாம். வரக்கூடும். ஆனால் அப்படி மேலே வர, அதற்குக் கூடுதல் ஆற்றல் தேவை. எவ்வளவு ஆற்றல் தேவை என்பதைக் கணிக்க முடியுமா? முடியும்.

ஓர் எதிரானின் இயங்காநிலை கனம் 'க' எனப்படும். இதன் மதிப்பு ஏற்கனவே கணிக்கப்பட்டிருந்தது. அந்த மதிப்பு, பூஜ்யம் எனப்படும் சுழியைக் காட்டிலும் சற்றே கூடிய உடன்பாட்டு மதிப்பு. இதைவிட ஓர் எதிரானின் கனம் குறைவாக இருக்கமுடியாது. குறைந்தால், அது 'எதிரான்' என்ற பொருட்தன்மையோடு இருக்க முடியாது. இந்த குறைந்தமட்ட கனமுடைய எதிரானின் குறைந்தமட்ட ஆற்றலின் மதிப்பு கஓ² என்ற மதிப்புக்குச் சமம் என்று சார்புக் கொள்கையின் சமன்பாடு நிறுவியிருந்தது. இதன்படி இயங்காத நிலையிலுள்ள எதிரானின் ஆற்றலுக்கும், சுழிக்கும் உள்ள இடைவெளியின் ஆற்றல் மதிப்பு கஓ²-க்குச் சமம். எனவே சுழிநிலைக்குக் கீழ்ப்பட்ட எதிர்மறை ஆற்றல் நிலையில் உள்ள ஓர் எதிரான், சுழியைக் கடந்து ஓர் இயங்காநிலை எதிரானாக இருக்கக்கூடிய புலப்பாட்டு உலகத்திற்கு உயர, அதற்கு, கஓ² அளவு ஆற்றலேனும் தேவைப்படுகிறது. அந்த நிலைக்கு அது உயர்ந்து வந்தால் மட்டும் போதாது. உயர்ந்து வந்த பிறகு, அது அந்த உயர்ந்த நிலையிலேயே 'எதிரான்' என்ற பொருட்தன்மையுடன் இருக்க வேண்டும். அப்படி இருக்க அதன் இயங்காநிலை ஆற்றலுக்குச் சமமான கஓ² ஆற்றல் அதற்குத் தேவை. எனவே எதிர்மறை நிலையிலிருந்து ஓர் எதிரான் இயல்பு நிலைக்கு உயர அளவு கஓ² ஆற்றலை அது செலவு செய்யவேண்டும். அப்படி இயல்பு நிலைக்கு உயர்ந்த பிறகும் அது ஓர் எதிரானாக இயல்புடன் இருக்க, அதன் சேமிப்புக் கணக்கில் கஓ² ஆற்றல் தேவைப்படும். ஆக, அது உயர ஒரு கஓ² உயர்ந்தபின் இருக்க ஒரு கஓ² என மொத்தம் 2கஓ² அளவு ஆற்றல் தேவைப்படும். 1930-ஆம் ஆண்டு இந்த அளவு ஆற்றல் கனவிலும் நினைத்துப் பார்க்க முடியாத அளவாக இருந்தது. ஓர் எதிரானைப் பொறுத்தமட்டில் 2கஓ² என்பது, பல லட்சம் எதிரான் வோல்ட் எனக் கணக்கிடப்பட்டிருந்தது.

இத்துணியின்படி, அந்த அளவு ஆற்றல் செலுத்தப்பட்டால் எதிர்மறை நிலையிலிருந்து எதிரான் ஒன்று, உடன்பாட்டு நிலைக்கு உயர்ந்து வரக்கூடும். அப்பொழுது, புலப்பாட்டு உலகில் திடீரென்று ஒரு புதிய எதிரான் முளைத்ததுபோல் தோன்றும். இந்த இடத்தில் டிரேக்கின் சிந்தனை மேலும் வேகமாகச் செயல்பட்டது. தக்க ஆற்றல் செலுத்தப்பட்டு, அதனால் எதிர்மறை நிலையிலிருந்து ஓர் எதிரான் உடன்பாட்டு நிலைக்கு உயர்ந்துவிட்டதாக வைத்துக்கொள்வோம். அப்பொழுது அது ஏற்கனவே நிரப்பியிருந்த எதிர்மறை ஆற்றல் நிலை காலியாகி இருக்க வேண்டுமே?

காலியாகிவிட்ட அந்த இடம், பொருட்தன்மை பெயர்த்தெடுக்கப்பட்ட ஒரு குழி போலாகிறது. அதுவரை எதிர்மறை ஆற்றல் நிலையாக இருந்த அந்த இடம், எதிரான் தன்னை விட்டு நீங்கியதும், உடன்பாட்டுநிலை ஆற்றல் உள்ளதாக மாறிவிடுகிறது. அப்படி மாறியதும் எதிரானுடைய மின்பொதிவுக்கு எதிரிடையான மின்பொதிவு கொண்டதாக அது தோன்றும். எதிரானுடைய மின்பொதிவு, எதிர்மின்பொதிவு; ஆகையால், எதிரான் விட்டுச் சென்ற குழி, நேர்மின்பொதிவு கொண்டதாகத் தோன்றும். அதாவது, குழி எனச் சொல்லப்பட்டது மெய்யாகவே ஒரு புதிய துகள்: மின்பொதிவு தவிர மற்ற எல்லா விதங்களிலும் எதிரான் போலவே இருக்கும் ஒரு துகள்; அதாவது, நேர்மின்பொதிவு கொண்ட ஓர் எதிரான் துகள். உண்மையிலேயே தலைசுற்ற வைக்கும் துணிபுதான். தக்க ஆற்றல் செலுத்தப் பட்டவுடன் ஒரே கணத்தில் இரண்டு துகள்கள் முளைக்கின்றன; ஒன்று, இயல்பான எதிரான்; மற்றொன்று, நேர்மின்பொதிவு கொண்ட எதிரான். செலுத்தப்பட்ட ஆற்றலின் அளவு $2k\phi^2$ என்றால், ஒவ்வொன்றும் $k\phi^2$ அளவு இயல்பாற்றல் அல்லது உறையாற்றல் கொண்ட இரண்டு துகள்கள் இரட்டைக் குழந்தைகள் போல் பிறந்து, ஆற்றல்-கனக் கூட்டு இழப்பின்மை விதியை நிறுவுவதாக இத்துணிபு அமைந்தது.

இது ஏதோ கணித மாயாஜாலம் என்று அறிவியல் உலகம் இத்துணிபைப் புறக்கணிக்க முற்பட்டபோது, இத்துணிபு சோதனை மூலம் நிறுவப்பட்டு அறிவியல் உலகை வியப்பில் ஆழ்த்தியது.

1932-ஆம் ஆண்டு செப்டம்பர் மாதம் 'ஸயன்ஸ்' என்ற அறிவியல் இதழின் 76-வது தொகுதியில் 238-ஆம் பக்கம் தொடங்கும் ஓர் ஆய்வுத்தாள் வெளியானது². அதன் ஆசிரியர், கார்ல் ஆன் 'டர்ஸன் என்பவர். அத்தாளில், அவர் விவரித்திருந்த சோதனையை நோக்குவோம். மிக வலிமை வாய்ந்த காந்தப் புலம் கொண்ட முகிற்கூடம் எனப்படும் ஒரு சோதனைச் சாதனத்தை அவர் கட்டுவித்தார். சில நாட்கள் கழித்து, அந்தச் சாதனத்துக்குள் சில புதிரான தடங்கள் ஏற்பட்டிருந்ததை அவர் புலத்தேர்வு செய்தார். அத்தடங்கள் ஏதோ ஒரு துகளின் வரவால் மட்டுமே ஏற்பட்டிருக்கும் என்ற முடிவுக்கு வந்தார். அத்தடங்கள் மேலிருந்து கீழ்நோக்கி வளர்ந்திருந்தால், அதை ஏற்படுத்திய துகள் நேர்மின்பொதிவு கொண்டதாகவும், அத்தடம் கீழிருந்து மேல்நோக்கி வளர்ந்திருந்தால் அத்துகள் எதிர்மின்பொதிவு கொண்டதாகவும் இருக்கவேண்டுமென அவர் கணித்தறிந்தார். அத்தடங்களின் வளர்திசையைக் கண்டறிய, அச்சாதனத்தின் நடுவில், குறுக்கு வாட்டத்தில், ஓர் ஈயத் தகட்டை வைத்துத் தடுத்து, மீண்டும் சோதனை நிகழ்த்தினார். சில நாட்கள் கழித்து, அதில் புதிதாக ஏற்பட்டிருந்த தடங்கள்,

மேலிருந்து கீழ்நோக்கி வளர்ந்திருந்ததை அவர் புலத்தேர்வு செய்தார். எனவே நேர்மின்பொதிவு கொண்ட துகள்களே அத்தடங்களை ஏற்படுத்தியிருக்கும் என்று முடிவு செய்தார்.

ஒரு துகள் புகைப்படத் தகட்டில் விளைவிக்கும் தடத்தின் அகலம், ஆழம், வளைவு இவற்றைக் கொண்டு அத்துகளின் கனத்தைச் சரியாகக் கணிக்கக்கூடிய விதிகள் ஏற்கனவே நிறுவப்பட்டிருந்தன. ஆன்'டர்ஸன் புலத்தேர்வு செய்த தடங்களின் தன்மைகளிலிருந்து கணித்துப் பார்த்ததில், அத்தடங்களை ஏற்படுத்திய துகளின் எடை ஒரு நேரானின் எடையை விட மிகமிகக் குறைவாக இருந்ததை அவர் உணர்ந்தார். அந்தக் காலகட்டத்தில் மூன்று சிற்றணுத் துகள்கள் மட்டுமே அறியப்பட்டிருந்தன. அவற்றுள் இரண்டு மட்டுமே மின்பொதிவு கொண்டவை. ஒன்று, எதிர்மின்பொதிவு கொண்ட எதிரான்; மற்றொன்று நேர்மின்பொதிவு கொண்ட நேரான். மூன்றாவதான ஒளித்துகள் மின்பொதிவற்றது. மின்பொதிவற்ற துகள், புகைப்படத் தகட்டில் தடம் எதுவும் விட்டுச் செல்வதில்லை. எனவே தம்முடைய சாதனத்திலிருந்த புகைப்படத் தகட்டில் தடம் பதித்த துகள் நேர்மின்பொதிவு உடையதாக அறியப்பட்டும், ஒரு நேரானை விட மிகமிகக் குறைந்த கனம் உடையதாக அது இருந்தது ஆன்'டர்ஸனுக்கு வியப்பளித்தது. மேலும் நுட்பமாகக் கணித்துப் பார்த்ததில் அத்துகளின் கனம் ஏறக்குறைய ஓர் எதிரானின் கனத்துக்குச் சமமாக இருந்ததை ஆன்'டர்ஸன் அறிந்துகொண்டார்.

எனவே கிட்டத்தட்ட எதிரான் எடைக்குச் சமமான கனம் கொண்ட ஒரு புதிய நேர்மின் துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதாக மேற்சொன்ன ஆய்வுத் தாளில் ஆன்'டர்ஸன் அறிவித்தார். அத்துகள் விளைவித்த தடங்களின் புகைப்படம் ஒன்று மேற்சொன்ன ஆய்வுத்தாள் வெளியானதற்கு முன்பே 1931-ஆம் ஆண்டு டிஸம்பர் மாதம் வெளியிடப்பட்டிருந்தது³. அந்த இதழின் ஆசிரியர் அப்புகைப்படத்தால் நிறுவப்பட்டிருந்த துகளுக்கு 'பாஸிட்ரான்' என்று பெயர் சூட்டியிருந்தார். முதலில் ஆன்'டர்ஸனுக்கு அந்தப் பெயரில் ஒப்புதல் இல்லை என்றாலும் பிறகு அவரும் அதை ஏற்றுக்கொண்டார்⁴. டிசுக் கற்பித்துக்கொண்டவாறே ஒரு புதிய துகள் கண்டறியப்பட்டது. டிசுக் துணிபு உறுதியாக நிறுவப்பட்டது.

ஆன்'டர்ஸன் சோதனையை ஒட்டி இன்னொரு சோதனை நிகழ்த்தப் பட்டது. அதை இணைந்து நிகழ்த்தியவர்கள், ப்லேக்கெட் என்பவரும், ஓக்கியாலினி என்பவரும். எண்மானியுடன் கூடிய முகில்கூடம் என்ற சாதனத்தை வைத்து அவர்கள் நிகழ்த்திய சோதனையில் மேற்சொன்ன புதிய துகளும், ஓர் எதிரானும் இணையாகத் தோன்றிய

நிகழ்வு புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டது. 1933-ஆம் ஆண்டு, இவர்களுடைய ஆய்வுத்தாள் வெளியானது⁵. இப்படிப்பட்ட நிகழ்வுகளிலிருந்து கணித ரீதியான ஒரு கொள்கையை இந்தியாவைச் சேர்ந்த ஹோமி ஹெ. பாபாவும், ஹைட்லெர் என்பவரும் 1937-ஆம் ஆண்டு வெளியிட்டனர்⁶. அதே நேரத்தில் ஆபன்ஹைம் என்பவரும் அதே போன்ற கொள்கையை வெளியிட்டிருந்தார்⁷. இவற்றால் டிரேக் கற்பித்துக்கொண்ட புதிய துகளும், ஆன்ட்ரஸ் கண்டுபிடித்த புதிய துகளும் ஒன்றே என்பது தெளிவானது.

டிரேக் துணிபின்படி ஓர் எதிரானும், இப்புதிய துகளும் இணைந்து எதிரும் புதிருமாகப் புதிர் போல் முளைப்பதால், இப்புதிய துகளைத் தமிழில் 'புதிரான்' என்றே அழைக்கலாமே!

அறிவியல் உலகில் புதிரான் என்பது எதிரானுடைய பகைத்துகளாகக் கருதப்பட்டது. ஓர் எதிரானும் புதிரானும் முளைக்கும்போதே, அவற்றின் வேறுபட்ட மின்பொதிவின் காரணமாக எதிரெதிர்த் திசைகளில் விரைவதாலும், ஒன்றுக்கொன்று மிகவும் நெருங்கும்போது ஒன்றையொன்று அழித்துக் கொண்டு இரு துகள்களும் மறைந்து ஒளியாக மாறிவிடுவதாலும் இவை பகைத்துகள்கள் என்று கருதப்பட்டன. எதிரான்-புதிரான் போலவே சிற்றணுத் துகள்களுக்கெல்லாம் பகைத்துகள்கள் இருக்கக்கூடும் என்று கருதப்பட்டது. எதிரான்-புதிரான் இரட்டைக் குழந்தைகளின் பிறப்பிலிருந்து மேலும் வியக்க வைத்த இன்னொரு துணிபை டிரேக் முன்மொழிந்தார். அதை அடுத்த அதிகாரத்தில் காண்போம்.

குறிப்புகள்:

1. *Proceedings of Royal Society*, A 126, 1929, page 360; *Nature*, 126, 1930, page 605 and also *Proceedings of Royal Society*, A 133, 1931, page 60.
2. '*Science*', September 1932 - Volume 76, page 238.
3. *Science News Letter*, 19.12.1931.
4. "*The Birth of Particle Physics*", ed. L. M. Brown and L. Hodderson, Cambridge University Press, 1983, page 131.
5. *Proceedings of Royal Society* 139, 1933, pages 699 and 727.
6. *Proceedings of Royal Society*, 159, 1937, 432 and 458.
7. *Physical Review* 51, 1937, pages 220 and 231.

18. நிழல் நிஜமாகிறது

ஒரு சமன்பாட்டில் எதிர்மறைக்குறி ஒன்று தோன்றக்கூடிய வாய்ப்பு, ஒரு புதிய துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதற்குக் காரணமாய் அமைந்த விந்தை வரலாற்றைச் சென்ற அதிகாரத்தில் கண்டோம். அந்தப் புதிய துகள், அதாவது புதிரான், இன்மையிலிருந்து திடீரென்று முளைப்பதுபோலத் தோன்றியதால் ஒரு புதிய கொள்கையே உருவானது. அந்தக் கொள்கைக்கான விதையை யார்டன் என்பவரும், மக்ஸ் பார்னும் 1925-ஆம் ஆண்டிலேயே¹ தூவியிருந்தாலும், 1927-ஆம் ஆண்டு, அதை ஒரு முழுமை பெற்ற கொள்கையாக வடிவமைத்துத் தந்தவர் டி ரேக்².

‘புலம்’ என்பது குறிப்பிட்ட எல்லைகளுக்கு உட்பட்ட ஓர் இடம்; அதுவும், இயற்கை சக்தியொன்றின் ஆளுமை எல்லைக்கு உட்பட்ட ஓரிடம். ஒரு காந்தத்தின் ஈர்ப்பாற்றல் எதுவரை செல்லுபடியாகிறது என்று காந்தத்தைச் சுற்றி ஒரு கோடு வரைந்தால், அக்கோட்டுக்கு உட்பட்ட இடமே அதன் புலம். அதை, ‘காந்தப் புலம்’ என்கிறோம். மின்புலம் என்பதையும், காந்தப் புலம் என்பதையும் ஒருங்கிணைத்து மேக்ஸ்வெல் மின்காந்தப் புலம் என்பதைச் சென்ற நூற்றாண்டில் நிறுவியிருந்தார். டி ரேக் ஒரு புதிய கொள்கையை நிறுவினார் என்று மேலே சொல்லப்பட்டதே, அக்கொள்கை, மெய்யாகவே ஒரு புலக்கொள்கை என்பதாக அமைந்தது.

1920-30 ஆண்டுகளில், இரண்டு புலங்கள் மட்டுமே அறிவியல் உலகத்துக்குத் தெரிந்திருந்தன. ஒன்று, மின்காந்தப் புலம்; மற்றொன்று, புவியீர்ப்புப் புலம். இவற்றுள் புவியீர்ப்புப் புலம் பற்றி விரிவான கொள்கையை ஏற்கனவெ ஐன்ஸ்டைன், பொதுச் சார்புக் கொள்கை வடிவில் நிறுவியிருந்தார். டி ரேக்கின் புதிய புலக்கொள்கை மின்காந்தப் புலம் பற்றியதாகவே இருந்தது. அக்கொள்கை மின்காந்தப் புலத்தின் இயக்க விதிகளை விவரிப்பதாக அமைந்தது. அதுவும், துளிநிலைக் கொள்கையின் அடிப்படையில் அது அமைந்தது.

ஒவ்வொரு துகளும் ஏதோ ஒரு புலத்தின் அதிர்வு நிலையே என்பது இத்துணிபின் அடிப்படை. ஒளித்துகள் என்பது மின்காந்தப் புலத்தின் ஓர் அதிர்வுநிலை. மின்காந்தப் புலம் எப்படி வேண்டுமானாலும் அதிர்வுறு முடியாது. ஒரு புலத்தின் அதிர்வென்பது, அப்புலத்தின் ஆற்றல் அதிகரிப்பதையே குறிக்கிறது. எந்த அதிர்வுமற்ற ஓர் இடத்தில் ஆற்றல் செலுத்தப்பட்டதுமே, அந்த இடத்தில் ஓர் அதிர்வு உண்டாகி, அவ்விடம் ஒரு புலமாகிறது. ஆற்றல் என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட அளவின் பெருக்கல் தொகையில் மட்டுமே செலுத்தப்படவோ, விடுக்கப்படவோ முடியும் என்பதைத்தானே ப்லங்க் நிறுவியிருந்தார்!

அக்குறிப்பிட்ட அளவுதானே 'நி' என்ற மிகச்சிறிய நிலையெண்! 1, 2, 3, 4.... போன்ற முழு எண்களால் 'நி' பெருக்கப்பட்டுக் கிடைக்கும் அளவுகளில்தானே ஆற்றல் செலுத்தப்படவோ, விடுக்கப்படவோ முடியும்!

மின்காந்தப் புலத்தின் ஓர் அதிர்வு நிலையே ஓர் ஒளித்துகள் என்பது போல், எதிரான்-புதிரான் புலத்தின் ஓர் அதிர்வு நிலையே ஓர் எதிரான் என்று டிரேக்கின் புலக்கொள்கை கூறுகிறது. இக்கொள்கையின்படித் துளிமை இருமுறை பயன்படுகிறது: புல அமைப்பை உருவாக்க ஒரு முறை; உருவாக்கப்பட்ட புலத்தில் இருந்து துகள் தன்மை கொண்ட அதிர்வு நிலைகளைப் பிரித்தெடுக்க ஒருமுறை. தமிழில் இதை 'இருகட்டத் துளிமை' அல்லது 'புலத்துளிமை' என்று புரிந்துகொள்ளலாம்.

வீணையின் ஒரு தந்தி மீட்டப்பட்டதும், அதன் அதிர்வுகளுக்கேற்ப அதை அடுத்திருக்கும் தந்தியும் அதிர்வதுண்டு. அவ்விரு தந்திகளையும் இணைக்கும் சிறிய மரப்பாலத்தின் ஊடே ஒரு தந்தியின் அதிர்வுகள் அடுத்த தந்திக்குப் பரவுகின்றன. ஒரு தந்திக்கு ஏற்ப அடுத்த தந்தியில் ஏற்படும் அதிர்வை 'எதிரதிர்வு' அல்லது 'பதிலதிர்வு' என்று குறிப்பிடலாம்.

ஒளித்துகட் புலம் என்ற தந்தியும், எதிரான்-புதிரான் புலம் என்ற தந்தியும், மின்காந்தப் பாலத்தால் தொடர்புற்று, பதிலதிர்வு என்ற நிகழ்வைப் புலப்படுத்துவதாகக் கொள்ளலாம். ஒளித்துகட் புலத்தில் ஏற்படும் ஓர் அதிர்வு, மின்காந்தப் பாலம் வழியே எதிர்-புதிர் புலத்துக்குத் தாவி, அப்புலத்தில் எதிரான், புதிரான் என இரட்டைக் குழந்தைகளை ஈன்றெடுப்பதாகத் தோன்றுகிறது. இரண்டு தந்திகளும் ஒன்றுக்கொன்று ஒவ்வும் வகையில் பண்நிலை, அதாவது, ஸ்ருதி, சேர்க்கப்பட்டிருந்தால்தான் பதிலதிர்வு நிகழக்கூடும். அடுத்தடுத்த இரண்டு தந்திகள் வேறுவேறு பண் நிலைகளில் அமைக்கப்பட்டிருந்தால் ஒரு தந்தியின் அதிர்வு, அடுத்த தந்தியில் பதிலதிர்வை ஏற்படுத்துவதில்லை. இரு தந்திகளுக்கும் இடையே பண்நிலை வேறுபாடு குறையக் குறையப் பதிலதிர்வு நிகழக் கூடிய வாய்ப்பு அதிகரிக்கிறது. மிகச் சரியாக இரு தந்திகளும் ஒரே பண் நிலையில் இருந்தால், அதாவது, இரு தந்திகளுக்கும் இடையே பண்நிலை வேறுபாட்டின் மதிப்பு, சுழியாக இருந்தால், பதிலதிர்வு கட்டாயம் ஏற்படும். ஆனால், இருதந்திகளுக்கும் இடையே பண்நிலை வேறுபாட்டின் மதிப்பு சுழியை விடச் சற்றே மிகுந்திருந்தால், அதாவது, இரு தந்திகளின் பண் நிலைகளும் ஏறக்குறையச் சமமாக இருந்தால், ஒரு தந்தியின் அதிர்வு அடுத்த தந்தியில் பதிலதிர்வு ஏற்படுத்த முயலும். அந்த முயற்சி முழுவெற்றி பெறாது; மிகமிகக் குறைந்த காலப்பொழுது, மெல்லிய பதிலதிர்வு மட்டுமே ஏற்படலாம். அதேபோல் ஒளித்துகட்

புலத்தில் ஏற்படும் ஓர் அதிர்வின் ஆற்றல் அளவு, எதிர்-புதிர் புலத்தில் ஓர் அதிர்வை ஏற்படுத்தத் தேவைப்படும் ஆற்றலளவைக் காட்டிலும் மிகச்சற்றே குறைந்திருந்தால், அந்த ஒளியதிர்வு எதிர்-புதிர் புலத்துக்குத் தாவலாமே தவிர, அதை எதிர்-புதிர் புலம் வரவேற்று ஆட்கொள்வதில்லை. அழைக்கப்படாத விருந்தாளி போல், எதிர்-புதிர் புலத்தில் அதிர் முயன்று, தோற்றுப்போய் அது திரும்பிவிடுகிறது. ஆனாலும், எதிர்-புதிர் புலத்தில் அது அதிர்வேற்படுத்த முயன்றபோது, எதிரான்-புதிரான் என்ற இரட்டைக் குழந்தைகள் பிறந்து, உடனே மறைந்தனபோல் ஒரு தோற்றம் ஏற்பட்டு மறையக் கூடும். இன்னும் சரியாகச் சொல்லப் போனால் இரட்டைக் குழந்தைகள் பிறந்து, உடனே செத்துப் போகின்றன என்பதாகக் கொள்ளலாம். அந்தப் பிறப்புக்கு உறுதுணையாக வரும் செவிலி, ஹைஸன் 'பர்க் வகுத்த உறுதியின்மை விதியே! எப்படி?

அதிர்வெண் என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்துக்குள் எத்தனை அதிர்வுகள் ஏற்படுகின்றன என்ற எண்ணிக்கை. ஒரே ஓர் அதிர்வு ஏற்படத் தேவைப்படும் நேரத்தை 'நே' என்று குறிக்கலாம். நேரமும் அதிர்வெண்ணும் ஒரே நேரக் கணக்கில் குறிக்கப் பட்டால்:

$$அ \times நே = 1$$

அதிர்வெண்ணின் மதிப்பு 20 என்று சொன்னால், ஒரு குறிப்பிட்ட நேர அளவில் 20 அதிர்வுகள் ஏற்படும் என்பதே பொருள். எடுத்துக்காட்டாக, நேரக் கணக்கை வினாடி அல்லது நொடி என்பதாகக் கொண்டு, ஒரு நொடியில் 20 முறை அதிரும் ஓரலையின் அதிர்வெண் 20 என்று சொல்லலாம். ஒரு நொடியில் 20 அதிர்வுகள் ஏற்படும் என்றால், ஒருமுறை அதிரத் தேவைப்படும் நேரத்தின் அளவு, 1/20 நொடி என்று சொல்லலாம். எந்த அலையின் அதிர்வெண்ணையும், அதே நேரக் கணக்கீட்டில் ஒரு முறை அது அதிரத் தேவைப்படும் நேர அளவையும் பெருக்கினால், விடை '1' என்பதையே மேற்கண்ட சமன்பாடு விளக்குகிறது.

$$அ = 20; நே = \frac{1}{20}; \text{ எனவே, } அ \times நே = 20 \times \frac{1}{20} = 1$$

$$அ \times நே = 1 \text{ என்றால்}$$

$$அ = \frac{1}{நே}$$

ஆனால், ப்லங்க் சமன்பாட்டின்படி:

$$ஆ = ந \times அ; \text{ ஆ} = ந \times \frac{1}{நே} = \frac{ந}{நே}; \text{ ஆ} \times நே = ந$$

உறுதியின்மைச் சமன்பாட்டில், இதைப் பொறுத்திப் பார்த்தால், இன்னொரு

சமன்பாடு கிடைக்கிறது. ஆற்றல் உறுதியின்மையின் அளவும், நேரக் கணிப்பின் உறுதியின்மையின் அளவும் பெருக்கப்பட்டால், அத்தொகை, 'நி'யை விடக் குறைவாக இருக்க முடியாது.

$$\Delta\text{ஆ} \times \Delta\text{நே} \approx \text{நி}$$

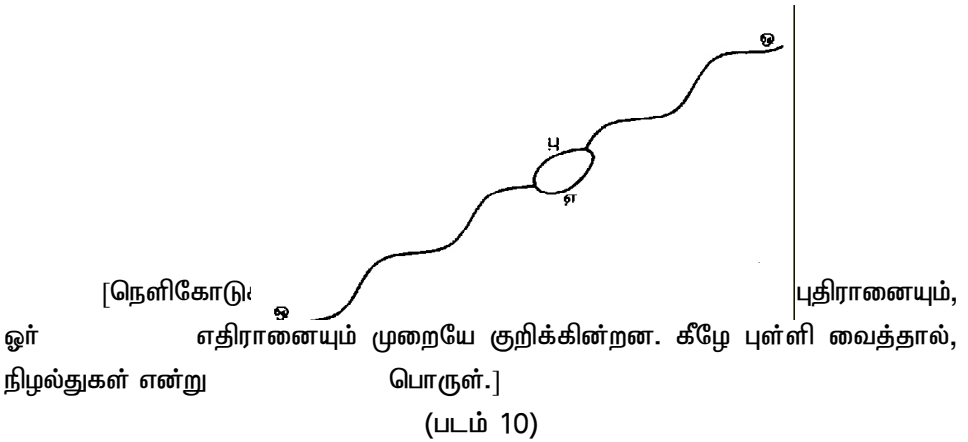
ஒரு துகளின் ஆற்றலை அளப்பது என்று சொன்னால் அதன் அதிர்வெண் அளக்கப்பட வேண்டும். மேலே சொன்னபடி ஒரு துகளின் அதிர்வெண் என்பது அத்துகள் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் எத்தனை முறை அதிர்கிறது என்ற எண்ணிக்கை. எனவே அதிர்வெண்ணை அளப்பது என்று சொன்னால், குறைந்தது ஓர் அதிர்வையாவது அளக்கவேண்டும். மொத்தத்தில் ஒரு துகளின் ஆற்றலை அளக்கத் தேவைப்படும் குறைந்தமட்ட நேரமும், அத்துகளின் ஓரதிர்வை அளக்கத் தேவைப்படும் குறைந்தமட்ட நேரமும் ஏறக்குறைய சமம். '≐' என்பதன் பொருள், ஏறக்குறைய சமம். எனவே மேற்சொன்ன சமன்பாட்டில் 'நே' என்பது ஒரு துகளின் ஆற்றலை அளக்கத் தேவைப்படும் குறைந்தமட்ட நேரம் என்றே கொள்ளப்படலாம். ஒரு துகளுடைய ஆற்றலைக் கணிப்பதில் ஏற்படும் உறுதியின்மையும், அந்த ஆற்றலை அளக்கத் தேவைப்படும் நேரத்தைக் கணிப்பதில் ஏற்படும் உறுதியின்மையும் பெருக்கப்பட்டால் கிடைக்கும் தொகை 'நி' அளவேனும் இருக்கவேண்டும் என்பதைத்தான் மேற்கண்ட சமன்பாடு குறிக்கிறது. அதை இப்படியும் எழுதலாம்:

$$\Delta\text{நே} \approx \frac{\text{நி}}{\Delta\text{ஆ}}$$

நி/ஆ என்ற மிகமிகக் குறைந்த மதிப்புடைய நேரத்தில் ஒரு துகளின் ஆற்றல் இன்னது என முடிவு செய்ய முடியாதபடி 'ஆ' வுக்குக் கீழ்ப்பட்ட எந்த மதிப்பையும் ஏற்கலாம். அவ்வளவு குறுகிய நேரத்துக்குள் அது எத்தகைய ஆற்றலை வேண்டுமானாலும் பெறலாமே தவிர, அப்படிக் கூடுதலாக அது பெற்ற ஆற்றலை, நி/ஆ காலக்கெடு முடியு முன்பே இழந்துவிட வேண்டும். அதாவது, எந்தத் துகளும், எவ்வளவு ஆற்றல் வேண்டுமானாலும் கடனாகப் பெறலாம்; ஆனால், பெற்ற கடனை ஒரு குறிப்பிட்ட காலக்கெடுவுக்குள் திருப்பித் தந்தே ஆகவேண்டும். அந்தக் காலக்கெடுவின் மதிப்பு 'நி' என்ற மிகமிகச் சிறிய எண்ணை விடச் சிறியது. அந்தக் காலத்தின் அளவே நி/ஆ. கடனாகப் பெறும் ஆற்றல் அதிகரிக்க, அதிகரிக்கக் கடன் திருப்பித்தரப்பட வேண்டிய காலக்கெடு குறுகிக்கொண்டெ வரும். அதாவது நி/ஆ என்ற மிகக்குறுகிய காலத்துக்குக் கடனாகப் பெரிய ஆற்றலை ஒரு துகள் பெற்றால், அக்காலக் கெடுவுக்குள் கடனைத் திருப்பிச் செலுத்தவேண்டும். இன்னொரு விதமாக சொல்லப் போனால் நி/ஆ என்று

மிகக் குறுகிய நேரத்துக்குள் ஒரு துகள் ஆற்றல் இழப்பின்மை விதியை மீறலாம்; ஆனால் காலக்கெடு முடிவதற்குள் நிலைமையைச் சீர் செய்துகொண்டு அந்த விதி மீறப்படாததுபோல் அது நடிக்க வேண்டும்.

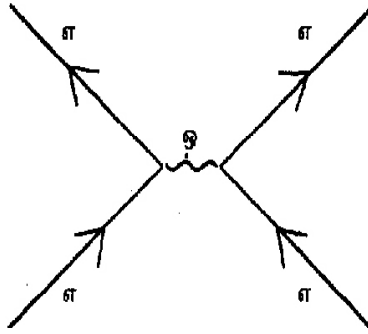
மேற்சொன்ன விளக்கத்தின்படி ஒளித்துகள் புலத்திலிருந்து, எதிர்-புதிர் புலத்துக்குத் தாவும் ஓர் அதிர்வானது எதிரான், புதிரான் என்ற இரட்டைத் துகள்களாய் மாறும் அளவுக்கு ஆற்றல் அற்றதாயினும், n_1/a என்ற மிகச் சிறிய நொடிப் பொழுதுக்குள் ஆற்றல் இழப்பின்மை விதியை மீறிக் கூடுதல் ஆற்றல் பெற்று, எதிரான்-புதிரான் என இரட்டைத் துகள்களாகத் தோன்றியதிர்ந்து, அக்காலக்கெடு முடியுமுன் தன் வேடத்தைக் கலைத்துவிட்டு, மீண்டும் தன் இயல்பான ஆற்றலுடன் ஒளித்துகள் புலத்துக்கே திரும்பி வந்து ஒரு நிரபராதிபோல் நடிக்கிறது என்று டி லீக் வகுத்த கொள்கை கூறுகிறது. அப்படி, அந்த நொடிப் பொழுதுக்குள் தோன்றி மறைந்த எதிரானும், புதிரானும் 'நிழல்துகள்கள்' எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. மேலே சொன்ன விளக்கத்தைக் கீழே தரப்பட்டுள்ள வரைபடம் எளிதில் விளங்கவைக்கும்.



இதன் பொருள்: அதிர்ந்து வரும் ஓர் ஒளித்துகள் திடீரென்று மறைய, அந்த இடத்தில், ஓர் எதிரானும், ஒரு புதிரானும் திடீரென்று முளைத்துத் தோன்றி, உடனே மறைந்து, மீண்டும் ஓர் ஒளித்துகள் தோன்றி விரைகிறது.

மேற்சொன்ன விளக்கத்திலிருந்து இன்னொரு துணிபு பெறப்பட்டது.

இனி, எதிரான், புதிரான் என்று சொல்வதுபோல், ஒளித்துகள் என்பதை 'ஒளிரான்' என்று அழைக்கலாமே! ஒரு மிகச்சிறிய காலக் கெடுவுக்குள் ஓர் ஒளிரான் துகள், எதிரான்-புதிரான் என்ற நிழல்துகள்களாய்த் தோன்றி மீண்டும் ஒளிரான் ஆகும் நிகழ்வு திரும்பத் திரும்ப நடக்கக்கூடும். எனவே ஓரளவுக்குமேல் ஆற்றல் கொண்ட ஒளிரான் ஒவ்வொன்றும் தன் வாழ்வின் பெரும் பகுதியை எதிரான்-புதிரான் நிழல்துகள்களாகவே கழிக்க நேரிடுகிறது. இதுவே அத்துணிபின் சாரம். இதை இன்னொரு விதமாகவும் நினைத்துப் பார்க்கலாம். ஒவ்வொரு ஒளிராணைச் சுற்றியும், கணம்தோறும் தோன்றி மறையும் எதிரான்-புதிரான் நிழல்துகள்கள் மேகம்போல் படர்ந்திருப்பதாக உருவகம் செய்துகொள்ளலாம். இதேபோல் மின்பொதிவு கொண்ட துகள்களைச் சுற்றி நிழலொளிரான்கள் மேகம் போல் படர்ந்திருக்க வாய்ப்பிருக்கிறது. இதை விளக்க இன்னொரு படம் வரையலாம்.



ஓர் எதிரானிலிருந்து ஒரு நிழலொளிரான் வெளிப்படுகிறது. இதனால் எதிரான் சற்று பின்னடைவு கொண்டு, திசைவிலகிச் செல்கிறது. அது விலகிவிட்டபடியால், அதிலிருந்து வெளிப்பட்ட நிழலொளிரான், தன் காலக்கெடு முடிவதற்குள் அதைப் பற்றிக்கொண்டு அதற்குள் கலந்துவிட முடிவதில்லை. இதே நேரத்தில் அந்த நிழலொளிரான் தன் அருகே வரக்கூடிய மற்றொரு எதிராணைச் சந்திக்க நேரலாம். அப்பொழுது அது அந்த மற்றொரு எதிரானால் உட்கொள்ளப்படும். நிழலொளிராணை உட்கொண்டதால் அந்த எதிரான் பின்னடைவுக்குள்ளாகித் திசைத்திரும்பம் பெற்று விரைகிறது. இப்படியாக இரண்டு எதிரான்களுக்கிடையே ஒரு நிழலொளிரான் துகள் பரிமாறப்படுகிறது. இதனால் ஒன்றையொன்று தவிர்த்து, விலகிச் செல்வதுபோல் தோன்றுகிறது. ஒரே மின்பொதிவு கொண்ட துகள்கள் ஏன் ஒன்றையொன்று தவிர்த்து, விலகிச் செல்கின்றன என்பதை முதன்முதலாக இத்துணிபுதான் விளக்கியது.

நிழல்துகள்கள் என்பவை வெறும் கற்பனைத் துகள்கள் அல்ல. அவை மெய்யாகவே தோன்றும் துகள்கள். மிகமிகக் குறைந்த காலமே அவை இருப்பதால்

அவற்றை நிழல்துகள்கள் என்று சொல்கிறோம்.

நிழல்துகள்களின் மெய்மையை நிறுவும் நிகழ்வுகள் பல. ‘ஆற்றல் திரிபு’ என்ற நிகழ்வு ஓர் எடுத்துக்காட்டு. அணுக்களுக்குள் எதிரான்கள் குறிப்பிட்ட சில ஆற்றல் நிலைகளில் மட்டுமே இயங்குகின்றன என்பது உறுதி செய்யப்பட்டும், இக்கொள்கையின்படி வகுக்கப்பட்ட கணிதச் சமன்பாடுகள் குறிக்கும் நிலைகளிலிருந்து, அந்த ஆற்றல் நிலைகள் மிகச்சிறிய அளவில் வேறுபட்டிருப்பதைக் கதிரடுக்குகள் உணர்த்தின. அதுவும், நீரியம் அணுவைப் பொறுத்தவரை ஆற்றல் திரிபு தெளிவாக உணரப்பட்டது. நிழல்துகள் துணிபு, ஆற்றல் திரிபு என்ற நிகழ்வை மிகச்சரியாக விளக்கியது. ஓர் எதிரான் ஒவ்வொரு முறை ஒரு நிழலொளிராணை வெளிப்படுத்தும்போதும், அந்த எதிரானுடைய பாதையில் சிறிய திசைத்திருப்பம் ஏற்படுகிறது. நிழல்துகள் ஒரு நொடிக்குள் எதிரானில் மீண்டும் இணைந்துவிடும்போது எதிரான் தன் இயல்புப் பாதைக்குத் திரும்பிவிடுகிறது. ஒவ்வொரு நொடியும் இப்படி நடப்பதால், எதிரானின் பாதை நெளிவு சுளிவுகளோடு அமைகிறது, கீழே காட்டப்பட்டுள்ளதைப் போல:



(படம் 12)

மேற்சொன்னவாறு அதன் பாதையமைந்தால் நொடிக்கு நொடி அதற்கும் கருவுக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு அதிகரித்துக் குறையும்: அதாவது, அதன் ஆற்றல் அதிகரித்துக் குறையும். எனவேதான் ஆற்றல் திரிபைக் கதிரடுக்குகள் காட்டுகின்றன.

மேலும், நிழல்துகட் சூழலால், ஓர் எதிரானுடைய காந்த விசையில் மிக நுட்பமான மாற்றம் ஏற்படும். இந்த மாற்றம் 0.1159652 என அமைய வேண்டும் என்று கணித முறையில் கணிக்கப்பட்டது. இப்படிப்பட்ட மாற்றம் சோதனைகளில் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டபோது, மேற்சொன்ன அளவிலேயே இருந்தது. இதுவும் நிழல்துகள்களின் மெய்மையை உறுதி செய்தது.

சில நேரங்களில் எதிரான்-புதிரான் பகைத்துகள்கள் மிக நெருக்கத்தில் சந்தித்துக் கொள்ள நேரிடலாம். அப்போது அவை இரண்டும் உடனே மறைந்துவிடுவதால், அவற்றைச் சுற்றிப் படர்ந்திருக்கக்கூடிய நிழலொளிரான்களை

உட்கொள்ள எதுவும் இல்லாமையால், அந்த நிழலொளிரான்கள், இயற்கையின் கட்டாயத்தினால் மெய் ஒளிரான்களாகவே விரைகின்றன. அதனால் எதிரான்-புதிரான் மறைவில், ஒளிரான்களால் ஆன மகரக் கதிர்கள் புலப்படுகின்றன. பகைத் துகள் கள் சந்தித்துக் கொண்டால், அவை ஒன்றையொன்று அழித்துக்கொண்டு, ஒளியாக மாறிவிடும் நிகழ்வை இத்துணிபு விளக்குகிறது. இதை நிழல் நிஜமாகும் விந்தை என்று கூறலாமோ?

ஆற்றல் கனமாகவும், கனம் ஆற்றலாகவும் மாறக்கூடிய, அல்லது, மாற்றப்படக்கூடிய வாய்ப்பைத் தனிச்சார்புக் கொள்கை காட்டியது. வேறு விதமாகச் சொல்லப் போனால், பொருண்மையற்ற ஆற்றலாகிய மின்காந்த அதிர்வு, கனமுள்ள பொருளாகவும், கனமுள்ள பொருள் வெறும் ஆற்றலாகவும் மாற, அல்லது மாற்றப்படக்கூடிய வாய்ப்பை அந்தக் கொள்கை காட்டியது. மிகவும் குறைந்த கால அளவுக்குள் வெறுமை அல்லது இன்மையிலிருந்து ஆற்றல் தோன்றி மறைந்துவிடக்கூடிய வாய்ப்பை ஹைஸன் பர்க் வகுத்த உறுதியின்மைச் சமன்பாடு உணர்த்தியது. இவ்விரண்டையும் மிகச்சரியாக இணைத்து ஒரு புலக்கொள்கையை டி ரீக் உருவாக்கியபோது, மின்காந்தக் களம், எதிரான்-புதிரான் களம் என்ற இரண்டு புலங்கள் பற்றிய கோட்பாடுகளும் ஒரே இயக்கவிதியின் கீழ்க் கொண்டு வரப்பட்டன. இதுவே கிட்டத்தட்ட இருபதாண்டுகளுக்குப் பிறகு, கணித முறைமை செப்பனிடப்பட்ட 'துளிநிலை மின்காந்த இயக்கவியல்' (சுருக்கமாகத் 'துமியியல்') என்ற முழுக் கொள்கையாக நிறுவப்பட்ட தகவலை நாம் பிறகு எதிர்கொள்ள இருக்கிறோம். இவ்வாறாக, டி ரீக் வடிவமைத்துத் தந்து, பிறகு விரிவு செய்யப்பட்ட துமியியல் இந்த நூற்றாண்டின் மிக நேர்த்தியான இயல்பியல் கொள்கைகளில் ஒன்று என்பதில் கருத்து வேறுபாட்டுக்கே இடமில்லை.

குறிப்புகள்:

1. *Zeitschr. f. Phys.*, 34, 1925, page 858.
2. *Proceedings of Royal Society*, A 114, 1927, pages 243 and 710.

19. சீரும் சிறப்பும்

அணு பற்றிய ஆராய்ச்சி, 1920-30 ஆகிய பத்தாண்டுகளில் பெரும்பாலும் அணுக்கருவுக்கு வெளியே உள்ள எதிரான்களைப் பற்றிய ஆராய்ச்சியாகவே அமைந்து விட்டது. 1911-ஆம் ஆண்டிலேயே அணுக்கருவின் இருப்பை ரதர்ஃபர்ட் கண்டுபிடித்து நிறுவியிருந்தும், 1932-ஆம் ஆண்டு வரை அணுக்கரு பற்றிய ஆய்வில் குறிப்பிடத்தக்க வெற்றி கிட்டவில்லை. அணுக்கரு பற்றிய ஆய்வு ஒரு புதிய முனைப்புடன் வளர்ச்சிபெறக் காரணமாயிருந்த நிகழ்ச்சி, அணுக்கருவுக்குள் நேரான மட்டுமன்றி வேறொரு புதிய அடிப்படைத் துகள் உண்டு என்று 1932-ல் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதே. அந்தக் கண்டுபிடிப்பு, அதிக ஆரவாரமும் பரபரப்பும் இன்றி நிகழ்ந்தது.

1920-ஆம் ஆண்டிலேயே அணுக்கருவுக்குள் மின்சீர்மையுடைய துகள்கள் இருந்தாகவேண்டும் என்ற கருத்தை ரதர்ஃபர்ட் குறிப்பிட்டிருந்தும், அப்படிப்பட்ட துகள்கள் நிறுவப்பட மேலும் பன்னிரண்டு ஆண்டுகள் ஆயின. மின்சீர்மை கொண்ட அந்தப் புதிய துகளைச் 'சீரான்' என்று அழைக்கலாம்.

1920-லிருந்தே சீரான் இருப்பை நிறுவுவதற் காக ரதர்ஃபர்ட் தம் மாணவர் ஜேம்ஸ் சேட்விக் என்பவருடன் இணைந்து பல சோதனைகளில் ஈடுபட்டார். எதிலும் வெற்றி கிட்டவில்லை. இந்த நிலையில், 1930-ஆம் ஆண்டு, ஜூன் மாதம், வால்டெர் போத்ஹ் என்பவரும், ஹெர்ஃர்ட் பெக்கர் என்பவரும் இணைந்து வெளியிட்ட ஓர் ஆய்வுத் தாளில், ஓர் அறிவியல் நிகழ்வைக் குறிப்பிட்டிருந்தனர்¹. 'பொலோனியம்' என்ற அடிப்பொருளின் கதிர்வீச்சிலிருந்து புறப்பட்ட அகரத் துகள்கள், 'பெரிலியம்' என்ற அடிப்பொருளைத் தாக்கிய போது, பெரிலியத்திலிருந்து புதுவகையான கதிர்வீச்சு வெளிப்பட்டது என்று அவர்கள் எழுதியிருந்தனர். அக்கதிர்கள் மிகவும் கனமானவையாக இருந்தனவாம். அவற்றின் கனத்தை வைத்து அவை பெரிலியம் அணுக்கருவிலிருந்தே வெளிப்பட்டிருக்க வேண்டும் என்ற சரியான முடிவுக்கு அவர்கள் வந்திருந்தனர். ஆனால் அக்கதிர்கள் மின்காந்தக் களத்தைச் சேர்ந்த மகரக் கதிர்கள் என்ற தவறான கருத்தை அவர்கள் வெளியிட்டிருந்தனர். அவை மகரக் கதிர்களாக இருக்க வாய்ப்பில்லை என்று பிறகு உணரப் பட்டது. அப்பொழுது, 1932-ஆம் ஆண்டு, ஜனவரி மாதம் 28-ஆம் நாளன்று, ஃப்ரெஞ்சு அறிவியல் இதழ் ஒன்றில், ஓர் ஆய்வுத் தாள் வெளியானது². அந்த ஆய்வுத் தாளின் இணையாசிரியர்கள், ஜூன் க்யூரி அம்மையாரும், அவர் கணவர் ஜோலியோ என்பவரும். ஜூன் க்யூரி என்பவர் மேரி க்யூரியின் மகள் என்பது இங்கே குறிப்பிடத்தக்கது. அந்த ஆய்வுத் தாளில் அவர்கள் ஒரு நிகழ்வைக் குறிப்பிட்டிருந்தனர். பெரிலியத்திலிருந்து அகரத் துகள்களால் வெளியேற்றப்பட்ட

புதுக்கதிர்கள், பேரஃபின் என்ற பொருளிலிருந்து நேரான்களை அகற்றி வெளிப்படுத்தின என்று அவர்கள் எழுதியிருந்தனர். இவ்வாறு அணுகக்கருவிலிருந்து நேரான்களை அகற்றி வெளிப்படுத்த, அக்கதிர்கள், ஐந்து கோடி எதிரான் வோல்ட்டுக்குக் குறையாத அளவு ஆற்றல் உடையவையாக இருந்திருக்க வேண்டும் என்று அவர்கள் கருதினர். ஆனால் அந்த அளவு ஆற்றலுடைய கதிர்கள் இருக்க முடியாது என்ற தவறான ஒரு முன்முடிவோடு அவர்கள் இந்நிகழ்வுக்கு வேறு காரணங்களைத் தேடும் வீண்முயற்சியில் ஈடுபட்டனர்.

அந்த ஆய்வுத்தாள் வெளியாகிச் சரியாக இருபது நாட்களுக்குள், மேற்சொன்ன நிகழ்விலிருந்து, ஜேம்ஸ் ஷேவிக் சீரான் இருப்பைக் கண்டுபிடித்து நிறுவினார். 1932, பிப்ரவரி 17-ஆம் நாளன்று, அவர் வெளியிட்ட ஆய்வுத் தாளில் 'சீரான்' என்ற புதியவகைத் துகள் பற்றித் தெளிவாக அறிவித்திருந்தார்³. அகரத் துகள்களின் தாக்குதலால் பெரிலியத்திலிருந்து புறப்பட்ட கதிர்கள் ஒரு புதுவகையான துகள்களால் ஆனவை என்று அவர் நிறுவினார். அத்துகள்கள் மின்சீர்மை உடையவை என்பதையும், அவை ஒவ்வொன்றும் கிட்டத்தட்ட நேரான் கனத்துக்குச் சமமான கனம் உடையவை என்பதையும் நிறுவினார். அக்கதிர்கள் 'நீரியம்' என்ற வளிமத்தால் நிரப்பப்பட்ட கலத்தினூடும், 'வேரியம்'* என்ற வளிமத்தால் நிரப்பப்பட்ட கலத்தினூடும் செலுத்தப்பட்டபோது ஏற்பட்ட பின்னடைவு விரைவுகளை அளந்து, ஒப்புநோக்கி, அவர் மேற்சொன்ன முடிவுக்கு வந்தார்.

அவர் அளந்த பின்னடைவு விரைவுகளில் இருந்து, புதிய துகளின் கனம், நேரான் துகளின் கனம்போல், 1.15 பங்கு இருந்ததாக நிறுவப்பட்டது.

புதிய துகள்கள் மகரக் கதிர்வகையைச் சேர்ந்த ஒளிரான்களாக இருந்திருக்குமேயானால் அவற்றின் ஆற்றல் 1.4 கோடி எதிரான் வோல்ட்டுக்கு மேல் இருந்திருக்க முடியாது என்பதையும் கணித முறைப்படி ஷேவிக் நிறுவிக் காட்டினார். எனவே ஐந்து கோடி வோல்ட் அளவு ஆற்றல் கொண்டிருந்த அக்கதிர்கள் ஒளிரான்களின் அணிவகுப்பாக இருக்க முடியாது என்று அவர் சுட்டிக் காட்டினார்.

மின்சீர்மை உடையதாகவும், கிட்டத்தட்ட நேரான் கனத்துக்குச் சமமான கனமுடையதாகவும் 1932-ஆம் ஆண்டு புலத்தேர்வு செய்யப்பட்ட புதிய துகள்,

* ஆங்கிலத்தில் 'நைட்ரஜன்' எனப்படும் வளிமம். தாவரவியலில் பெரும்பங்காற்றும் தன்மையால், தமிழில் 'வேரியம்' எனக் குறிக்கப்படுவது பொருத்தம்.

பன்னிரண்டு ஆண்டுகளுக்கு முன்பே ரதர்'ஃபர்டால் எதிர்பார்க்கப்பட்ட சீரான் துகளே என்பது தெளிவாகியது.

அணுக்கருவின் அமைப்பைப் பற்றி நிலவிய பல சிக்கல்களைத் தீர்க்கச் சீரான் கண்டுபிடிப்பு மிகவும் உதவியது. அவற்றை நோக்குமுன், 'உகரக் கதிர்வீச்சு' என்ற நிகழ்வு அணுக்கரு ஆய்வில் ஒரு பெரிய புதிராக இருந்ததை நாம் நோக்கலாம்.

உகரக் கதிர்வீச்சு இயக்கத்தில் அப்படி என்ன புதிர்? உகரக் கதிர்வீச்சு நிகழ்ந்த பிறகு எஞ்சியிருக்கும் அடிப்பொருளின் ஆற்றலளவுடன், விடுபட்ட கதிர்களின் ஆற்றலளவைக் கூட்டினால், அந்தக் கூட்டுத்தொகை, கதிர்வீச்சுக்கு முன்பிருந்த மூல அடிப்பொருளின் ஆற்றலளவை விடச் சற்றே குறைந்திருந்தது. இதிலிருந்து ஆற்றல் இழப்பின்மை விதியையே பலர் சந்தேகப்படத் தொடங்கினர். இவர்களுள் நீல்ஸ் போரும் இருந்தார் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. பெளலி மட்டும் எதிரணியில் இருந்தார். உகரக் கதிர்வீச்சில், அக்கதிர்களைத் தவிரவும், புலப்பாட்டுக்கு உட்படாத வேறொரு புதியவகைத் துகள்கள் வெளிப்படக்கூடும் என்ற துணிபை பெளலி முன்மொழிந்தார். அத்தகைய புதிய துகள்களும் அணுக்கருவிலிருந்தே வெளிப்பட வேண்டும். ஆகையால் அணுக்கருவுக்குள் நேரான்கள், எதிரான்கள் தவிரவும் வேறுவகைத் துகள்கள் இருக்கவேண்டும் என்ற தம் துணிபை, 04.12.1930 தேதியிட்ட ஒரு கடிதத்தில் விவரித்திருந்தார்⁴. அப்படிப்பட்ட புதியவகைத் துகள் மின்சீர்மை கொண்டதாகவும், அரை மாத்திரை தற்கழற்சி கொண்டதாகவும், இடஒதுக்கீட்டுக் கொள்கைக்கு உட்பட்டதாகவும், ஒளிரான்களின் விரைவைக் காட்டிலும் குறைந்த விரைவு கொண்டதாகவும், ஏறக்குறைய ஓர் எதிரான் எடைக்குச் சமமான எடை கொண்டதாகவும், இருக்கவேண்டும் என்று அவர் அக்கடிதத்தில் விவரித்திருந்தார். இப்படிப்பட்ட துகள்கள் உண்டு என்பதை 1932-ஆம் ஆண்டில் என்ரிக் கோ 'ஃபர்மி என்பவர் நிறுவினார். புதிய துகளுக்கு 'நியூட்ரினோ' என்று 'ஃபர்மி பெயர் சூட்டினார். இத்துகள் களைச் சிறிய சீரான்கள் என்று புரிந்துகொண்டு, அவற்றைச் 'சிற்பான்கள்' என்று அழைக்கலாம்.

சேட் விக் சீரான் துகளைக் கண்டுபிடிக்கும் வரை அணுக்கருவில் நேரான்களும், எதிரான்களுமே உண்டு என்ற கருத்தே நிலவியது. அணுக்கருவுக்கு வெளியே இருக்கும் எதிரான்கள் போலவே அணுக்கருவுக்கு உள்ளேயும் எதிரான்கள் உண்டு என்று நம்பப்பட்டதற்கு முக்கியமான காரணங்கள் இரண்டு. ஒன்று, உகரக் கதிர்வீச்சில் அணுக்கருவுக்குள் இருந்து எதிரான்கள் வெளிப்படுகின்றன. இரண்டு,

அணுக்கருவின் மிகமிகக் குறுகிய இடத்துக்குள் ஒரே மாதிரியான மின்பொதிவு கொண்ட பல நேரான்கள் நெருங்கியிருக்க வேண்டுமானால், அவற்றுக்கு இடையிடையே எதிரான்கள் இருக்கவேண்டும். இவ்விரண்டும் காரணங்களாலும், அணுக்கருவுக்குள் எதிரான்கள் இருக்கவேண்டும் என்ற நம்பிக்கை நிலவியது.

1932-ல் சீரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகும் கூடக் கிட்டத்தட்ட ஓராண்டுக் காலத்துக்கு மேல் இந்த நம்பிக்கை நிலவியது. சீரான் என்பதே நேரான்-எதிரான் இணைந்து அமைந்த கூட்டுத் துகள் என்ற கருத்தைக் கூடச் சில முன்னணி அறிஞர்கள் கொண்டிருந்தனர். பௌலி, ஹைஸன் 'பர்க் ஆகியோர் கூட அக்கருத்தை ஆதரித்தனர்.

1932, ஆகஸ்ட் மாதம், ஓர் ஆய்வுத் தாளில் இவானியன்கா என்ற ரஷ்ய அறிஞர் கீழ்வருமாறு எழுதியிருந்தார்⁵:

(உகரக் கதிர்வீச்சில்) எதிரான் வெளிப்பாடு, ஒரு புதுத்துகளின் பிறப்பைப் போன்றது.

ஆனால், அணுக்கரு நேரான்-சீரான் கூட்டால் மட்டுமே ஆனது என்பதையும், அதில் எதிரானுக்கு இடமில்லை என்பதையும் 1933-ல் 'ஃபர்மியே தெளிவாக்கினார்⁶. உகரக் கதிர்வீச்சில் சீரான்கள் மறைந்து, உடனடியாக அந்த இடத்திலேயே எதிரான்களும், சிற்றான்களும் தோன்றுகின்றன என்பதை ஒரு கொள்கையாக அவர் விரித்துரைத்தார். எதிரான்களும், சிற்றான்களும் உருவாக்கப்படக் கூடியவை என்றும், ஒரு சீரான், நேரானாக மாறும்போது, ஓர் எதிரானும் ஒரு சிற்றானும் உதிக்கின்றன என்றும், ஒரு நேரான், சீரானாக மாறும்போது, ஓர் எதிரானும் ஒரு சிற்றானும் மறைந்து போகின்றன என்றும் அவர் கொள்கை விளக்கியது. டி ரீக் வெளியிட்ட புலக்கொள்கையில் ஒளிரான்களும், எதிரான்களும் தோன்றி மறைவதாகச் சொல்லப்பட்ட கருத்தைப் போலவே அக்கொள்கை அமைந்தது.

'ஃபர்மி விவரித்த கொள்கையின்படி ஒரு சிற்றான் மின்சீர்மை கொண்டது; இயங்கா நிலையில் கனமற்றது; ஊடுருவிச் செல்லும் ஆற்றல் மிகுந்தது; இந்தப் புவிக் கோளத்தையே தங்கு தடையின்றி ஊடுருவிச் செல்லக்கூடியது. அதன் மிக வலிமையான ஊடுருவும் ஆற்றல் காரணமாகவே அதைப் புலப்பாட்டுக்கு உள்ளாக்குவது மிகவும் கடினமாகிறது. 'ஃபர்மி தம் கொள்கையை வெளியிட்டு 22 ஆண்டுகளுக்குப் பிறகே சிற்றான் புலப்பாட்டுக்குச் சிக்கியது.

ஏற்கனவே ஓர் அதிகாரத்தில், 1919-ஆம் ஆண்டு, ரதர்ஃபர்ட் நிகழ்த்திய சோதனைகளில், அணுக்கருவின் வெகு அருகாமையில் ஒரு புதிய சக்திப்புலம் உணரப்பட்டதாகச் சொல்லப்பட்டது. அதை ஒரு புதிய சக்திப்புலம் என்ற முடிவுக்கு வர ரதர்ஃபர்ட் தயங்கினார் என்பதையும், ஆனால் அவருடைய மாணவர்கள் சேர்விக், பைலர் ஆகியோர் அப்படிப்பட்ட சோதனைகளைத் தொடர்ந்து நிகழ்த்தி, அது ஒரு புதிய சக்திப்புலமே என்ற துணிபை 1921-ஆம் ஆண்டு வெளியிட்டனர் என்பதையும் கண்டோம். அப்படிப்பட்ட புதிய சக்தி, ஓர் அடிப்படை சக்தியாக, 1934-ஆம் ஆண்டில்தான் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது. அதற்குக் காரணமாக அமைந்தது நாம் மேலே குறிப்பிட்ட 'ஃபர்மியின் துணிபுதான். புவியீர்ப்பாற்றல், மின்காந்த சக்தி என இயற்கையின் இரண்டு அடிப்படை சக்திகள் ஏற்கனவே நிறுவப்பட்டுவிட்டன. ரதர்ஃபர்ட், சேர்விக், பைலர் ஆகியோர் சோதனைகளில் உணரப்பட்ட மூன்றாவது சக்தியும் அப்படிப்பட்ட ஓர் அடிப்படையான இயற்கை சக்தி. அதை அணுக்கரு சக்தி எனப் புரிந்துகொண்டு, அணுவின் மையத்தில் அது உணரப்படுவதால், ஒலிநயம் கருதி, 'மையசக்தி' என்று அழைக்கலாம். 'ஃபர்மி வெளியிட்ட கொள்கையின்படி மேலே சொல்லப்பட்ட மூன்று அடிப்படை சக்திகளையும் தவிர நான்காவதாக இன்னுமோர் அடிப்படை சக்தி இருக்கவேண்டும் என்று உணரப்பட்டது. அந்தக் கருத்தை 1933-ஆம் ஆண்டு டிஸம்பர் மாத இறுதியில் ஒரு தங்கு விடுதி அறையில் எனரிக்கோ 'ஃபர்மியே முதன்முதலாகத் தங்களிடம் விவரித்தார் என்று அவருடைய மாணவர்கள் தெரிவித்துள்ளனர்⁷.

இப்பொழுது 'ஃபர்மியின் கொள்கையை நோக்குவோம். அது உகரக் கதிர்வீச்சியக்கத்தைப் பற்றிய கொள்கை. அந்த இயக்கத்தில் ஒரு சீரான் துகள் சிதைவுறுவதாகவும், அச்சிதைவில் ஒரு நேரானும், ஓர் எதிரானும், ஒரு சிற்றானும் உதிப்பதாகவும், அப்படி உதித்த நேரான், மையசக்தியின் ஈர்ப்பால் கருவுக்குள் சிறைப்பட நேர்வதாகவும், மையசக்திக்கு உட்படாத எதிரானும் சிற்றானும் கருவை நீங்கி, அணுவிலிருந்து வெளிப்படுவதாகவும், அக்கொள்கை விவரிக்கிறது. வெளிப்படும் சிற்றான்கள் புலப்பாட்டுக்கு உட்படாதவை. எனவே எதிரான் மட்டுமே இவ்வியக்கத்தில் வெளிப்படுவதாகப் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டது. அப்படி வெளிப்படும் எதிரானே உகரத் துகள். சீரான், நேரான், எதிரான், சிற்றான் ஆகியவற்றின் முதல் எழுத்துகளால் அவற்றைக் குறிக்கலாம்.

சீ → நே + எ + சி

மேற்கண்டவாறு எழுதும் முறை ஓர் இயக்கத்தை விவரிக்கிறது. அம்புக் குறியின் இடப்பக்கமுள்ள துகள் அல்லது துகள்கள், ஒரு குறிப்பிட்ட இயக்கத்தில், அக்குறியின் வலப்பக்கமுள்ள துகள்களாக மாறுகின்றன என்பதை இந்தக் குறியீட்டுமுறை விளக்குவதால், இதை 'இயக்கக் குறியீடு' என்று அழைக்கலாம்.

புதிரான் கண்டுபிடிப்புக்கு டிரேக் முன்மொழிந்த ஒரு கொள்கை வழி வகுத்ததையும், புதிரான் என்பது எதிரானின் பகைத்துகள் என்ற கருத்தீட்டையும், எல்லாத் துகள்களுக்குமே இப்படிப்பட்ட பகைத்துகள்கள் இருக்கக்கூடும் என்பதையும் முன்பே கண்டோம். மேலே 'ஃபர்மி வெளியிட்ட இயக்கக் குறியீட்டில் ஒரு சிறிய திருத்தம் பிறகு செய்யப்பட்டது. உகரக் கதிர்வீச்சியக்கத்தில் வெளிப்படும் சிற்றானைப் பகைத்துகளாகக் கொள்வது மேலும் வசதியாக இருந்ததாகக் கருதப்பட்டது. எனவே அதைப் பகைச்சிற்றான் எனக் கொள்ளலாம். பகைச்சிற்றான் என்பதை 'சி' என்று குறிக்கலாம். இத்திருத்தத்துடன் மேற்சொன்ன குறியீட்டைக் கீழ்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\bar{c} \rightarrow \bar{ne} + e + \bar{c}$$

இதே நிகழ்வை வேறு விதமாகவும் நினைத்துப் பார்க்கலாம். டிரேக் வகுத்த பகைத்துகள் கொள்கையின்படி ஒரு துகளை உட்கொள்வதும், அத்துகளின் பகைத்துகளை வெளிப்படுத்துவதும் ஒன்றுக்கொன்று வேறுபாடற்ற, சமமான நிகழ்வுகளே. இதன்படி, மேற்சொன்ன நிகழ்வை நாம் வேறு விதமாகவும் குறியீடு செய்யலாம்:

$$\bar{c} + c \rightarrow \bar{ne} + e$$

சீரான் சிதைவுக்குக் காரணமான அடிப்படை சக்தி வலிமை குன்றிய மிக மெல்லிய சக்தி என்பது தெளிவாகியது. இது, மின்காந்த சக்தியை விடப் பல மடங்கு குறைந்த வலிமையுடையது.

புலக்கொள்கையின்படி, ஓர் இயக்கம் என்பது, ஒரு புலத்தின் அதிர்வுகள் மற்றொரு புலத்தில் அதிர்வுகளை ஏற்படுத்துவதே. ஒரு புலத்தின் அதிர்வுகள் வேறொரு புலத்திற்குச் சென்று அங்கே அதிர்வை ஏற்படுத்தப் பாலமாக அமைவதே, ஓர் அடிப்படை சக்தி. வீணையில் ஒரு தந்தியின் அதிர்வுகள், அடுத்த தந்திக்கு, ஒரு சிறிய மரப்பாலம் வழியாகப் பரவுகின்றன. ஒளிரான் புலத்தில் ஏற்படும் அதிர்வுகள், மின்காந்தப் பாலம் வழியே, எதிரான்-புதிரான் புலத்தை அடைந்து, பரவுகின்றன.

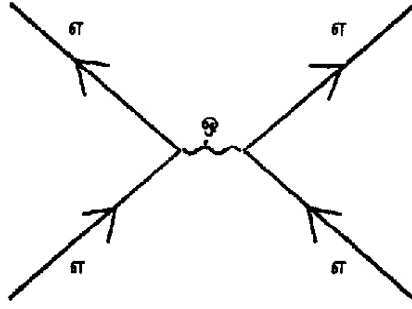
இரண்டு புலங்களுக்கிடையில் அதிர்வுகள் பரவி, ஓர் இயக்கம் நிகழ்வதற்கான வாய்ப்புக்கூறு, அவ்விரு புலங்களையும் பிணைக்கும் பாலத்தின் சக்தியைப் பொறுத்ததே. அந்தச் சக்தியைக் கணித்து, ஓர் எண்ணாக, இயல்பியல் அறிஞர்கள் குறிக்கின்றனர். அப்படிக் கணிக்கப்பட்ட எண்ணை, ஒரு சக்தியின் 'புணர்வெண்' என்று சொல்லலாம். மின்காந்த சக்தியின் புணர்வெண், $\frac{1}{37}$ என்று கணிக்கப்பட்டிருந்தது. சீரான் சிதைவுக்குக் காரணமான அடிப்படை சக்தியின் புணர்வெண்ணை 'ஃபர்மி கணித்துப் பார்த்தபோது அதன் மதிப்பு 10^{13} மடங்கு மின்காந்த சக்தியின் புணர்வெண்ணை விடக் குறைந்த மதிப்புடையதாக உணரப்பட்டது. எனவே வலிமை குன்றிய இந்தச் சக்தியை 'மெலிய சக்தி' என்று புரிந்து கொள்ளலாம்.

மைய சக்தி, மெலிய சக்தி ஆகிய இரண்டு அடிப்படை சக்திகளையும், சக்திகளாக மட்டும் குறிப்பிடாமல், துகள் களுக்கிடையே நிகழும் இயக்கங்களாகவும் அவற்றைக் கருதும் வழக்கம் வசதியாக அமைந்தது. வலிமையான மைய சக்தியின் காரணமாக நேரான்களுக்கும், சீரான்களுக்குமிடையே மையக் கருவுக்குள் நிகழும் இயக்கங்கள், வலிமையான தொடர்பியக்கங்கள் எனக் கணிக்கப்பட்டன. இவற்றை, 'வல்லியக்கங்கள்' எனக் குறிப்பிடலாம். இவற்றுக்குக் காரணமான மைய சக்தியை வல்லியக்க சக்தி எனப் புரிந்துகொண்டு, அதை 'வல்லாற்றல்' என்று அழைக்கலாம். சீரான், சிற்றான், நேரான், எதிரான் ஆகியவற்றிடையே, 'ஃபர்மி விவரித்தவாறு நிகழும் தொடர்பியக்கங்களை மெல்லியக்கங்கள் எனக்கொண்டு, அவற்றுக்குக் காரணமான மெல்லியக்க சக்தியை 'மெல்லாற்றல்' என்று அழைக்கலாம். மீண்டும், சீரான் சிதைவை நோக்குவோம்:

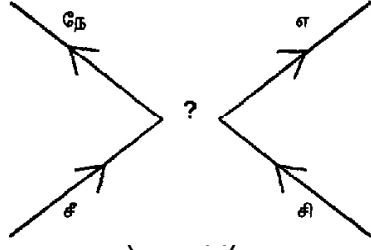
$$சீ + சி \rightarrow நே + எ$$

அதாவது, ஒரு சீரானும், ஒரு சிற்றானும், ஒரு மிகக்குறுகிய எல்லைக்குள் சந்தித்துக்கொள்ள நேர்ந்தால், அவை இரண்டும் மறைந்து, அதே இடத்தில் ஒரு நேரானும், ஓர் எதிரானும் உதித்துப் பிரிந்து செல்வதாக மேற்கண்ட இயக்கக் குறியீட்டைப் புரிந்துகொள்ளலாம். இந்தத் தொடர்பியக்கத்தை, டி லீக் வகுத்த கொள்கையைப் பின்பற்றியே, 'ஃபர்மி விரிவு செய்தார்.

இரண்டு எதிரான்கள் ஒரு குறுகிய எல்லைக்குள் சந்தித்துக்கொள்ள நேர்ந்தால், அவற்றைச் சூழ்ந்திருக்கும் நிழலொளிரான்களைப் பரிமாற்றம் செய்து கொள்வதன் மூலம், அவை ஒன்றைவிட்டு ஒன்று விலகித் தெறித்துப் பிரிந்து சென்று விடுவதாக வ டி லீக்கின் துணிபு கூறியதை மீண்டும் நினைவு கூறலாம்:



இரண்டு மின்சார ஓட்டங்கள் அருகருகே நெருங்கி வந்து பிரிந்து விடுவதாகவும் மேற்கண்ட நிகழ்வைக் கருதலாம். இதைப் பின்பற்றி, 'ஃபர்மியும் ஒரு சீரான்-நேரான் மின்சார ஓட்டமும், ஓர் எதிரான்-பகைச் சிற்றான் மின்சார ஓட்டமும், ஒன்றையொன்று நெருங்கிப் பிரிவதாக, உகரக் கதிர்வீச்சு நிகழ்வை விளக்கினார்.



மின்சாரம் என்பது, எதிரான்-ஒளிரான் இடையே ஏற்படும் தொடர்பின் விளைவே. ஆகையால், மேலே சீரான்-நேரான் மின்சாரம் எனப்பட்டதும், எதிரான்-பகைச்சிற்றான் மின்சாரம் எனப்பட்டதும் சொற்பிழைகளே. மின்சாரம் போன்ற ஒரு வகையான ஓட்டம் என்றே அச்சொற்றொடர்களுக்குப் பொருள் அமையும். இதைத் தெளிவுபடுத்த இப்படிப்பட்ட ஓட்டங்களைச் 'சார ஓட்டங்கள்' என்று மட்டுமே குறிக்கலாம். ஒளிரான்-எதிரானிடையே விளையும் சாரத்தை 'மின்சாரம்' என்றும், சீரான்-நேரான், எதிரான்-பகைச்சிற்றான் ஆகியவற்றிடையே விளைவதாக, 'ஃபர்மி விவரித்த சாரத்தை 'மென்சாரம்' என்றும் கொள்ளலாம். மென்சார ஓட்டங்கள் சந்தித்துக்கொள்ளும் குறுகிய இடத்துக்குள் என்ன நேர்கிறது என்பது பற்றி எதுவும் சொல்லாமலேயே, 'ஃபர்மி தம் கொள்கையை வடிவமைத்தார். இதனால்தான், மேலேயுள்ள முதல் படத்தில் மின்சார ஓட்டங்கள் சந்தித்துக் கொள்ளுமிடத்தில் நிழலொளிரான்கள் பரிமாறிக்கொள்ளப்படுகின்றன என்று காட்டப்பட்டிருந்தும்,

இரண்டாவது படத்தில், மென்சார ஓட்டங்கள் சந்தித்துக் கொள்ளுமிடத்தில் எதுவும் காட்டப் படாமல் ஒரு கேள்விக்குறி மட்டும் போடப்பட்டுள்ளது.

தம்முடைய ஆய்வுத் தாளில், 'ஃபர்மி, ஒரு வாதத்தை வெளியிட்டிருந்தார். உகரக் கதிர்வீச்சுக்குப் பிறகு அணுக்கருவிலுள்ள சீரான்கள், நேரான்கள் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தற்சுழற்சி, கதிர்வீச்சுக்கு முன்பிருந்த மதிப்புக்குச் சமமாகவே இருக்கவேண்டும் என்பதுதான் அந்த வாதம். ஆனால், 1936-ஆம் ஆண்டு ஜார்ஜ் கேமெள என்பவரும், எட் 'வர்ட் டெல்லர்' என்பவரும், இதை மறுத்து, மேற்சொன்ன கூட்டுத் தற்சுழற்சி 'ஒன்று' என்ற எண்ணளவு, சில நேரங்களில், வேறுபடக் கூடுமென்று கணித முறையில் நிறுவினார்கள்⁸. சம-தற்சுழற்சியை நிறுவும் உகரக் கதிர்வீச்சியக்கங்களை 'ஃபர்மி மாற்றங்கள்' என்றும், அப்படியல்லாதவற்றை 'கேமெள-டெல்லர் மாற்றங்கள்' என்றும் குறிக்கலாம்.

'ஃபர்மியின் மெல்லியக்கக் கோட்பாடு ஒரு முக்கியமான விதிக்குட்பட்டது. மின் காந்த சக்தியைப்போல் மெல்லியக்கம் இரண்டு துகள்களுக்கிடையில் மட்டும் நிகழ்வதில்லை. மேலே படத்தில் காட்டப்பட்டதுபோல், நான்கு துகள்கள் மெல்லியக்கத்தில் ஈடுபடுகின்றன. இதிலிருந்து ஒரு விதியே முன்மொழியப் பட்டது. அதாவது, மெல்லியக்கம் என்பது, எப்பொழுதும், நான்கு துகள்களுக்கிடையே நிகழக்கூடிய ஒரு தொடர்பியக்கம் என வரையறை செய்யப்பட்டது. அந்த நான்கு துகள்களும் ஒரு குறிப்பிட்ட வகைத் துகள்களாகவே இருக்கவேண்டும் என்றும் அந்த விதி சொல்கிறது. அந்தக் குறிப்பிட்ட வகை என்ன என்று பார்க்க நாம் சில செய்திகளைத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

துகள்கள் பொதுவாகவே, தற்சுழற்சி அடிப்படையில், இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கப்பட்டன. 0, 1, 2,.....போன்ற எதேனும் ஒரு முழு எண் அளவு தற்சுழற்சி கொண்ட துகள்கள் ஒருவகை; $\frac{3}{4}, \frac{1}{2}$ போன்ற எதேனும் ஒரு குறையெண் அளவு தற்சுழற்சி கொண்ட துகள்கள் மற்றொரு வகை. முழு எண் தற்சுழற்சி கொண்ட துகள்கள் பற்றிச் சில கணித விதிகள் வகுத்திருந்த இந்திய இயல்பியல் வல்லுநர், ஸத்யேந்த்ரநாத் போஸ் என்பவரைச் சிறப்பிக்கும் வகையில், அவ்வகைத் துகள்கள் 'போஸான்கள்' என்றே ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படுகின்றன. ஒளிரானும், புவியீர்ப்பாற்றலின் சக்திக்குக் காரணம் என்று கருதப்படும் துகளும் போஸான்கள். எதிரான், நேரான், சீரான் போன்ற குறையெண் தற்சுழற்சி கொண்ட துகள்களோ, அவ்வகைத் துகள்கள் பற்றிக் கணித விதிகள் நிறுவிய 'ஃபர்மியைச் சிறப்பிக்கும் வகையில் 'ஃபர்மியான்கள்' என்றே அழைக்கப் படுகின்றன. அந்த அறிஞர்கள்

இருவரையும் நினைவுகூரத்தக்க வகையில் தமிழிலும் அப்பெயர்களையே ஏற்றுக்கொள்ளலாம்.

மெல்லியக்கம் என்பது நான்கு துகள்களுக்கிடையில் நிகழக்கூடிய தொடர்பியக்கம் என்று மேலே சொல்லப்பட்டது. அந்த நான்கு துகள்களும் 'ஃபர்மியான்களாகவே இருக்க வேண்டுமென்று கருதப்பட்டபடியால், மெல்லியக்கத்தின் விதி 'நான்கு 'ஃபர்மியான் விதி' எனப்படுகிறது. 1933-ஆம் ஆண்டு மொத்தம் நான்கு 'ஃபர்மியான்கள் மட்டுமே அறிவியல் உலகத்துக்குத் தெரிந்திருந்தன. 1946-ஆம் ஆண்டுக்குப் பிறகே மேலும் பல 'ஃபர்மியான்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

'ஃபர்மி வகுத்த கொள்கை உகரச் சிதைவுக்கு மட்டுமன்றிப் பிறகு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட வேறு சில துகட்சிதைவுகளுக்கும் காரணமாயிருந்தது. அந்தச் சிதைவுகளுக்கெல்லாம் கூட நான்கு 'ஃபர்மியான் விதி பொருந்தியது. இவ்வாறு மிகவும் பொதுப்படையான ஒரு விதியை நிறுவியதன் மூலம் அறிவியல் வளர்ச்சிக்கு 'ஃபர்மியின் கொள்கை மிகவும் உதவியது.

குறிப்புகள்:

1. *Nature* 18, 1930, page 705.
2. *Comptes Rendus*, 194, 1932, page 273.
3. *Nature*, 129, 1932, page 312 and also *Proceedings of Royal Society*, A 136, 1932, page 735.
4. *Letter to a physicists' gathering at Tabingen*, reprinted in "W. Pauli, Collected Scientific papers", ed. R. Kronig and V. Weisskopf, Volume 2, Inter-science, New York, 1964, page 1313.
5. *Comptes Rendus* 195, 1932, page 439.
6. *Ricerca Scientifica*, No. 4, December, 1933, page 491.
7. F. Rasetti, E. Amaldi and E. Segre: "*Enrica Fermi, Physicist*", University of Chicago Press, Chicago, 1970, page 72.
8. *Physical Review* 49, No.12, 1936, page 895.

20. கதவு திறந்தது

1932-ஆம் ஆண்டு சீரான் துகளைச் சேட்விக் கண்டுபிடித்தார். பின்னர் 1934-ஆம் ஆண்டு என்ரிக் கோ ஃபர்மி சிற்றான் துணிபை நிறுவியதோடு, உகரக் கதிர்வீச்சியக்கம் பற்றிய முழுமையான ஒரு கொள்கையை வகுத்துத் தந்தார். இவற்றால் அணுக்கருவின் உள்ளமைப்பைப் பற்றியும், உள்ளியக்கங்களைப் பற்றியும், மேலும் தெளிவு பிறந்தது.

நேரான்கள், நேர்மின் பொதிவு கொண்டவை. எனவே, அவை ஒன்றையொன்று தவிர்க்க முயலும். அப்படி, ஒன்றையொன்று தவிர்க்க முயன்றாலும், பல நேரான்கள், ஒரு மிகச்சிறிய அணுக்கருவுக்குள் நிலையாகக் கூடி வாழ்கின்றன. இது எப்படி நடக்கக்கூடும்? நேரான்கள் ஒன்றையொன்று தவிர்க்க முயல்வது மின்காந்த சக்தியால். ஆனால். மின்காந்த சக்தியைக் காட்டிலும் பன்மடங்கு சக்தி வாய்ந்தது மைய சக்தி அல்லது வல்லாற்றல். வல்லாற்றலின் ஈர்ப்பு சக்தி அணுக்கருவின் அளவையான மிகச்சிறிய பரப்புக்குள் மட்டுமே உணரப்படுகிறது. எனவே அணுக்கருவுக்குள், மின்காந்த சக்தியால், நேரான்களுக்கிடையே ஏற்படும் தவிர்ப்பு முனைப்பை, மைய சக்தியின் ஈர்ப்பு முனைப்பு வென்றுவிடுகிறது. ஆனால் மின்பொதிவு கொண்ட துகள்கள் ஓரளவுக்கு மேல் நெருக்கத்திலும் இருக்க முடியாது. ஆற்றல் வாய்ந்த மைய சக்தியின் ஈர்ப்பினால் நேரான்களெல்லாம் ஒன்றிலொன்றாக நசுங்கி அமுங்கிவிடக்கூடிய ஆபத்தையும் தடுத்தாக வேண்டும். நேரான்களிடையே, மின்பொதிவு இல்லாத சீரான்கள் இருப்பதாகக் கொண்டால் அணுக்கருவின் அமைப்பு, சிதைவுறாத நிலைப்பாட்டுடன் திகழ முடியும். ஓர் அணுக்கருவுக்குள் இருக்கும் துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க அதிகரிக்க, மாறுபட்ட சக்திகளுக்கிடையே போராட்டம் வலுப்பெற்று, அணுக்கருவின் கட்டுக்கோப்புக்கே ஆபத்து நேரிடுகிறது. இதனால்தான் இயற்கையில் சுமார் நூறு அடிப்பொருள்கள் மட்டுமே உள்ளன. இவற்றைவிடக் கூடுதல் கனம் கொண்ட அடிப்பொருள்களின் அணுக்கருக்கள், இருநூறுக்கு மேற்பட்ட துகள்கள் கொண்டவையாக இருக்கவேண்டும். அப்படிப்பட்ட அணுக்கருக்கள் கட்டுக்கோப்பின்றி விரைவில் சிதைவறும். அப்படிச் சிதையும் பொருள்களே கதிரியக்கம் நிகழ்த்தும் பொருள்கள். எனவே, ஓர் அணுக்கரு தானாகச் சிதைந்து கொண்டிருப்பதற்கான அறிகுறியே, 'கதிரியக்கம்' என்ற நிகழ்வு. அறிகுறியை வைத்துப் பார்த்தால், இந்த நிகழ்வுக்குக் 'கதிரியக்கம்' என்ற பெயர் பொருந்துகிறது; காரணத்தை வைத்துப் பார்த்தால், 'தற்சிதைவு' என்ற பெயர் மேலும் பொருத்தமாகிறது. பெரும்பாலான பொருள்களின் தற்சிதைவில் அகரத்துகள்களே வெளிப்படுகின்றன. ஓர் அகரத் துகள் என்பது இரண்டு நேரான்களும்,

இரண்டு சீரான்களும் கொண்டது. இதுவே, 'ஹீலியம்' என்ற அடிப்பொருளின் அணுக்கரு. [இக்கருவே 'அகரத்துகள்' என்பதால், ஹீலியம் என்ற வளிம அடிப்பொருளை 'அகலியம்' என்றே தமிழில் குறிப்பிடலாம்]. யுரேனியத்திலிருந்து வெளிப்படும் அகரத் துகள்கள் குறிப்பிட்ட ஒரே ஆற்றலுடன் வெளிப்பட்டு விரைகின்றன. இந்நூற்றாண்டுத் தொடக்கத்திலேயே ரதர் 'ஃபர்ட்' செய்த சோதனைகளில் இந்த உண்மை நிறுவப்பட்டிருந்தது. அதே ஆற்றலுடனும், அதிக ஆற்றலுடனும், அகரத் துகள்கள், யுரேனியத்தை நோக்கிச் செலுத்தப்பட்டபோது, அகரத் துகள் ஒன்று கூட யுரேனியத்துக்குள் ஊடுருவ முடியவில்லை. இது வியப்பளித்தது. ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் கொண்ட அகரத் துகள் யுரேனியம் கருவுக்குள் ஊடுருவி நுழைய இயலாதபோது, அதைவிடக் குறைந்த ஆற்றல் கொண்ட அகரத் துகள் எப்படி யுரேனியம் கருவிலிருந்து விடுபட்டு வெளிப்படக்கூடும்? ஆனால் அப்படி வெளிப்படுகிறதே!

வல்லாற்றலின் ஈர்ப்பிலிருந்து விடுபட அணுக்கருவிலிருக்கும் ஓர் அகரத் துகளுக்கு மிக அதிக அளவு ஆற்றல் தேவைப்படும். அந்த அளவு ஆற்றலை அது எப்படிப் பெற முடியும்? ஏற்கனவே, துமியியல் பற்றிய விளக்கத்தில் நி/ஆ என்ற மிகக் குறைந்த கால அளவுக்குள், 'ஆ' என்ற மதிப்புக்கு உட்பட்ட அளவு ஆற்றலை ஒரு துகள் கடனாகப் பெற்று, அந்தக் காலக் கெடுவுக்குள் திருப்பித் தந்துவிடலாம் என்று கண்டோம். இது, உறுதியின்மைச் சமன்பாட்டின் அடிப்படையில் நிறுவப்பட்டது. யுரேனியக் கருவின் வல்லாற்றலுடைய பிடியில் இருந்து விடுபட, ஓர் அகரத் துகளுக்கு, 'ஆ' அளவு ஆற்றல் தேவை என்று வைத்துக்கொண்டால், நி/ஆ என்ற காலக்கெடு வரை, அத்துகள், இந்த அளவு ஆற்றலைக் கடனாகப் பெற்று வைத்திருக்க முடியும். அந்த நேரத்துக்குள் அத்துகள் வல்லாற்றலின் எல்லையைக் கடந்து சென்றுவிட மின்காந்தத் தவிர்ப்பு சக்தி எப்பொழுதேனும் உதவக்கூடும். வல்லாற்றலின் எல்லையை இவ்வாறு அத்துகள் கடந்த பிறகு, அது வாங்கிய கடனைத் திருப்பிக் கொடுக்கவேண்டிய கட்டாயத்தில் இருந்தும் விடுதலை பெறுகிறது. இந்த நிகழ்வுக்கு ஆங்கிலத்தில் சூட்டப்பட்ட பெயர் 'டனலிங் இஃபெக்ட்'. கருவைச் சுற்றியுள்ள சுவரை, அகரத் துகள், குடைந்துகொண்டு வெளிவந்து விடுவதாக இப்பெயர் விளக்குகிறது. அப்பெயர் இந்த நிகழ்வை அப்படியே விளக்காததால் அது பொருத்தமாக இல்லை என்பது இந்நூலாசிரியன் கருத்து. தமிழில் இதற்கு வேறு பெயர் சூட்டலாம். ஒரு நாட்டில் வங்கிக் கடன் பெற்றுக்கொண்டு, அதைத் திருப்பிச் செலுத்தாமல் நாடுவிட்டு நாடு ஓடிவிடும் ஒரு மோசடிப் பேர்வழியைப் போலல்லவா அகரத் துகள்கள் நடந்துகொள்கின்றன. இந்த மோசடிக்குத் துளிநிலைக் கொள்கை துணைபோகிறது. இந்தத் துளிநிலை

மோசடியைச் சுருக்கமாகத் 'துளிமோசடி' என்று ஏன் அழைக்கக் கூடாது? வாய்ப்புக்கூறு கணிதம் என்பதைப் பயன்படுத்தித் துளிமோசடி மூலம் ஒரு குறிப்பிட்ட கருவிலிருந்து ஓர் அகரத் துகள் விடுபடுவதற்கான வாய்ப்புக்கூறு கணிக்கப்பட முடியும். இதன்படி தோரியம் கருவிலிருந்து ஓர் அகரத் துகள் வெளிப்பட அதற்கு நாற்பது லட்சம் எதிரான் வோல்ட் ஆற்றல் தேவை என்பதும், அந்த அளவு ஆற்றல் பெற்று, ஓர் அகரத் துகள், தோரியம் கருவை விட்டுச் சுமார் ஆயிரத்து நானூறு கோடி ஆண்டுகளுக்கொரு முறை வெளிப்படக்கூடிய வாய்ப்புக்கூறு உள்ளதென்பதும் கணிக்கப்பட்டுள்ளன. தற்சிதைவுப் பொருள்களின் ஆயுட் காலங்கள் இவ்வாறே கணிக்கப்படுகின்றன. அப்படிக் கணிக்கப்படும்போது, 'அரை ஆயுட்காலம்' என்பதே கணிக்கப்படுகிறது. தற்சிதைவு மேற்கொள்ளும் அணுக்களின் அரையாயுட்காலம் என்ற கணிப்பு முறையை, 1900-ஆம் ஆண்டிலேயே, ரதர்ஃபர்ட் வகுத்திருந்தார்¹. அகரக் கதிர்வீச்சு மூலம், ஒரு கரு, தானே சிதைவுற, ஐம்பது நூற்றுப்பங்கு (50 சதவிகிதம்) வாய்ப்புள்ள காலத்தின் அளவே அக்கருவின் அரையாயுட்காலம் எனப்படுகிறது. அதாவது, ஒரு பொருளின் அரையாயுட்காலத்துக்குள் அப்பொருளிலுள்ள மொத்த அணுக்களில், சுமார் பாதியளவு அணுக்கள் தற்சிதைவு கொண்டிருக்கக்கூடும் என்று கொள்ளலாம். யுரேனியத்தின் அரையாயுட்காலம் நானூற்றி ஐம்பது கோடி ஆண்டுகள் என்று கணிக்கப்பட்டுள்ளது. அதாவது, 450 கோடி ஆண்டுகளுக்கு முன், புவியிலிருந்த யுரேனியத்தில், பாதியளவு சிதைந்து, வேறு அடிப்பொருள்களாகத் திரிபடைந்திருக்கும். அது போக, இப்போதுள்ள அளவில், ஒரு பாதி, இன்னும் நானூற்றி ஐம்பது கோடி ஆண்டுகளில் அவ்வாறு சிதைவுறக் கூடும். இதுதான் அரையாயுட்காலத்தின் விளக்கம்.

அரையாயுட்காலம் ஏன்? அது எப்படி அமைகிறது? இந்தக் கேள்விகளுக்கு விடைகள் ஃபர்மி வகுத்த கொள்கைக்குப் பிறகே பெறப்பட்டன. அதேபோல், அடிப்பொருள்-படிப்பொருள் வேறுபாட்டுக்குக் காரணம், அணுக்கருவிலுள்ள சீரான்களுடைய எண்ணிக்கையின் வேறுபாடே என்ற உண்மை, சீரான்கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகே தெளிவாகியது. ஒரே அளவு எண்ணிக்கையில் நேரான்களும், வேறு வேறு எண்ணிக்கையில் சீரான்களும் கொண்ட அணுக்கருக்கள் ஒரே அடிப்பொருளின் பல்வேறு படிப்பொருள்கள் என்ற தெளிவு பிறந்தது. எடுத்துக்காட்டாக, எட்டு நேரான்கள் கொண்ட கருக்களெல்லாம், ஆக்ஸிஜன் என்றும், ப்ராண வாயு என்றும் சொல்லப்படும் 'உயிரியம்' என்ற வளிமத்தின் அணுக்கருக்களே. அவையனைத்தும் வேதியியல் குணங்களில் சற்றும மாறுபடாதவை. ஆனால், அவற்றுள் சில, எட்டுச் சீரான்கள் கொண்டிருக்கலாம்; சில ஏழு அல்லது ஒன்பது சீரான்கள் கொண்டிருக்கலாம். இவையெல்லாம்

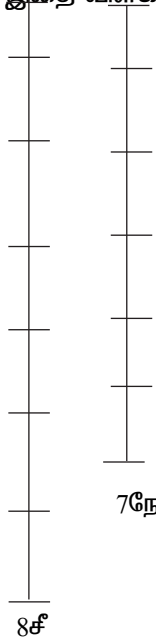
‘உயிரியம்’ என்ற அடிப்பொருளின் படிப்பொருள்களே.

1932-34 ஆண்டுகளில் பொலோனியத்தின் தற்சிதைவில் வெளிப்பட்ட அகரத் துகள்களைக் கொண்டு ஜோலியோவுடன், ஐரீன் க்யூரி தொடர்ந்து பல சோதனைகள் நடத்தியபோது, தக்க ஆற்றல் கொண்ட அகரத் துகள்கள் மூலம் நிலையான சில அடிப்பொருள்களிலிருந்து தற்சிதைவு கொள்ளும் படிப்பொருள்களைச் செயற்கை முறையில் சோதனைக் கூடத்தில் அவர்கள் உருவாக்கிக் காட்டினார்கள்². இதற்காக அவர்களுக்கு 1935-ஆம் ஆண்டு வேதியியலுக்கான நோபெல் பரிசு பகிர்ந்தளிக்கப்பட்டது.

மிகவும் கனமான கருக்களே அகரச் சிதைவை மேற்கொள்கின்றன. கனம் குறைந்த கருக்கள் உகரச் சிதைவை மேற்கொள்கின்றன. அது பற்றி விரிவாக நாம் பிறகு நோக்க இருக்கின்றோம். ஆனால் உகரச் சிதைவில் காணாமற் போனதாகக் கருதப்பட்ட ஆற்றல் புலப்பாட்டுக்கு உட்படாத சிற்றான்களாகவே மிகவிரைந்து சென்றுவிடும் மர்மம், ‘ஃபர்மி வகுத்த கொள்கையிலிருந்து தெளிவாகியது. அதேபோல், அந்தக் கொள்கையிலிருந்துதான், கதிரியக்கத்தின் காரணம் தற்சிதைவே என்பது தெளிவாகியது.

அணுக்கருவைச் சுற்றி எதிரான்கள் வெவ்வேறு ஆற்றல் நிலைகளில் உள்ளன என்று சொல்லப் படுவதுபோல், அணுக்கருவுக்குள்ளும் ஆற்றல் நிலைகள் உண்டு என்று துணிபு செய்யப்பட்டது. இத்துணிபு, சோதனை மூலமும் நிறுவப்பட்டது. இந்தப் படிவங்கள் முன்மொழியப்பட்டதெல்லாம், பிற்பாடு, 1948-49 ஆண்டுகளில்³. ஆனால், சீரான் கண்டுபிடிப்பு எப்படி இவ்வாறாக அணுக்கருவியல் தெளிவுபெற உதவியது என்பதைக் காட்டவே, காலத்தால் பிறகு நடந்த நிகழ்ச்சிகள் இங்கே குறிப்பிடப்படுகின்றன. அணுக்கருவுக்குள் நேரான்களும், சீரான்களும் அடுக்கடுக்காகப் பல ஆற்றல் நிலைகளில் இருக்கின்றன என்று வைத்துக்கொள்ளலாம். பௌலியின் இட ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கையின்படி, ஒரே ஆற்றல் நிலையில் ஒருவகைத் துகள் ஒன்றுக்கு மேல் இருக்க முடியாது. சீரானு நேரானும் வேறு வேறு துகள்கள். ஒரே ஆற்றல் நிலையில் ஒரு சீரானும் ஒரு நேரானும் சேர்ந்து வசிக்கலாம். ஆனால் ஒரே நிலையில் இரண்டு சீரான்களோ, இரண்டு நேரான்களோ ஒண்டுக் குடித்தனம் செய்ய முடியாது. இப்படிப்பட்ட அணுக்கருப் படிவத்தில் இன்னொரு துணிபையும் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும். இயல்பான நிலையில், ஒரு சீராணைக் காட்டிலும் ஒரு நேரானுக்கு அதிக ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. இதற்குக் காரணம், சீரான்களுக்கிடையே, மின்காந்தத் தவிர்ப்பு சக்தி கிடையாது என்பதே. ஆனால் அப்படிப்பட்ட

தவிர்ப்பு சக்தி கொண்ட நேரான்களை ஈர்த்து, விலகாமல் கட்டிக் காக்க, மைய சக்திக்குக் கூடுதல் ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. ஓர் அணுக்கருவுக்குள் நேரான்கள் ஓரடுக்காகவும், சீரான்கள் ஓரடுக்காகவும் அமைந்திருப்பதாக நாம் கற்பித்துக்கொண்டால், நேரான் அடுக்கின் கீழ்மட்டம், சீரான் அடுக்கின் கீழ்மட்டத்தைக் காட்டிலும் சற்று மேல் நிலையில் தொடங்கும். கீழ்த்தள நேரான், கீழ்த்தளச் சீராணைக் காட்டிலும் மேலே இருப்பதன் காரணம், இயல்பு நிலையில், சீராணைக் காட்டிலும் நேரானுக்கு மேற்சொன்னவாறு அதிக ஆற்றல் தேவைப்படுவதே. கீழ்வரும் படம் இதை விளக்க உதவும்.



(படம் 15)

ஏழு நேரான்களும், எட்டுச் சீரான்களும் கொண்ட கருவில், முதற் சீரான், முதல் நேராணை விடச் சற்று குறைந்தமட்ட ஆற்றல் நிலையில் இருப்பதையும், நேரான், சீரான் அடுக்குகளின் மேல்மட்டங்கள் சம மட்டத்தில் இருப்பதையும், மேற்கண்ட படம் விளக்குகிறது. நேரான் அடுக்கு சீரான் அடுக்கு, ஆகிய இரண்டு அடுக்குகளின் உச்சத் தளங்களும், ஓரளவு சம மட்டத்தில் அமையப் பெற்ற அணுக்கருக்கள், சிதைவுறாமல் நிலையாக இருக்க முடியும் என்று இப்படிவத்தின்படித் துணிபு செய்யப்பட்டது. மேற்கண்ட படத்தில் காட்டப்பட்ட கருப்படிவம், வேரியத்தின் ஒரு நிலையான படிப்பொருளைக் குறிக்கிறது. இதே கருவில், எட்டுச் சீரான்களுக்கு பதில் பத்துச் சீரான்கள் இருக்குமேயானால், அடுக்குகளின் உச்சத் தளங்கள் சம மட்டத்தில் இருக்காது. சீரான் அடுக்கின்

உச்சத் தளம், நேரான் அடுக்கின் உச்சத் தளத்தை விட உயர்ந்த நிலையில் இருக்கும். அதாவது, அக்கருவின் உச்சத்தளச் சீரான், அதன் உச்சத்தள நேரானைக் காட்டிலும் அதிக ஆற்றல் கொண்டிருக்கும். அதனால், அக்கரு ஒரு பரபரப்பு நிலையில் இருக்கக் கூடும். அப்பொழுது அதிக ஆற்றல் கொண்ட உச்சத்தளச் சீரான், பரபரப்புக்குக் காரணமான தன் கூடுதல் ஆற்றலை வெளிப்படுத்தித் தானே ஒரு நேரானாக மாறி, நேரான் அடுக்குக்குத் தாவி, அந்த அடுக்கில் மேலுமொரு மேல்தளம் கட்டிக்கொண்டு குடியிருக்கக்கூடும். அப்பொழுது, அக்கருவில், எட்டு நேரான்களும் ஒன்பது சீரான்களும் இருக்கும். இரண்டு அடுக்குகளும் சம மட்டத்தில் அமையும். அக்கரு நிலையான அமைப்பில் பரபரப்பின்றி வாழும். '8நே; 9சீ' என்ற அமைப்பு உயிரியத்தின் நிலையான படிப்பொருள் ஒன்றைக் குறிக்கிறது. இப்படி ஒரு சீரான் நேரானாகும்போது, அதன் முந்தைய பரபரப்புக்குக் காரணமாய் இருந்த கூடுதல் ஆற்றல், ஓர் எதிரானாகவும், ஒரு பகைச்சிற்றானாகவும் மாறி வெளிப்பட்டு விடும். இந்த நிகழ்வே, உகரச் சிதைவு. இதில் வெளிப்படும் எதிரான், பகைச்சிற்றான் ஆகியவற்றுள் எதிரான் மட்டுமே புலப்பாட்டுக்கு உட்படும். ஒரு பொருளின் பல லட்சம் கருக்கள் ஒரே நேரத்தில் இவ்வாறு சிதைந்து, திரியும்போது, அவற்றிலிருந்து வெளிப்பட்டு விரையும் எதிரான்களின் அணிவகுப்புகளே உகரக் கதிர்களாகப் புலப்படுகின்றன.

ஃபர்மியின் கொள்கை மேற்சொன்னவாறு உகரக் கதிர்வீச்சு இயக்கத்தை முற்றிலும் விளக்கியது.

ஃபர்மியின் கொள்கையில் இருந்து, 1949-ஆம் ஆண்டில் கற்பித்துக் கொள்ளப்பட்ட கருப்படிவத்தை 'அடுக்குப் படிவம்' என்றழைக்கலாம். அந்தப் படிவம் அன்றி வேறு வகைக் கருப்படிவங்களும் முன்மொழியப்பட்டிருந்தன. 1928-ஆம் ஆண்டு, அதாவது, சீரான் கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு முன்பே, ஜார்ஜ் கேமெள முன்மொழிந்திருந்த 'நீர்த்துளிப் படிவம்', சீரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகே போராலும், பிறகு 1935-ஆம் ஆண்டு, வேறு இருவராலும் சீர்செய்யப்பட்டது⁴. 1950-ஆம் ஆண்டு, இவ்விரு படிவங்களும் இணைக்கப்பட்ட ஒரு கூட்டுப் படிவம் முன்மொழியப்பட்டது.

சீரான் கண்டுபிடிப்பு இன்னொரு விதத்தில் அணுக்கருவியல் தெளிவுபட உதவியது. அப்படி ஏற்பட்ட தெளிவினால், ஐன்ஷ்டைன் அறிவித்திருந்த ஆ = கஒ² என்ற சமன்பாட்டைச் சோதனை மூலம் நிறுவ முடிந்தது.

1906-ஆம் ஆண்டிலேயே ஆ = கஒ² என்ற சமன்பாட்டைச் சோதனை

மூலம் நிறுவக்கூடிய வழிபற்றி, ப்லங்க், ஓர் ஆய்வுத் தாளில் குறிப்பிட்டிருந்தார்⁵. சில உள்ளடக்கங்களை ஈர்த்துப் பிணைத்து வைத்திருக்கும் ஒரு கட்டுக்கோப்பின் கனம், இந்தச் சமன்பாட்டின்படி, அந்த உள்ளடக்கங்களின் தனித்தனி கனங்களின் கூட்டுத் தொகையைக் காட்டிலும் குறைவாக இருக்கவேண்டுமென்பதை, அத்தாளில், ப்லங்க் சுட்டிக் காட்டியிருந்தார். ஆனால் ஓர் அணுக்கருவின் உள்ளடக்கங்கள் என்னென்ன என்று அந்தக் காலகட்டத்தில் அறியப்படவில்லை. சீரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகே அணுக்கருவின் உள்ளடக்கங்கள் நேரானும், சீரானும் என்ற தெளிவு பிறந்தது. அதற்குப் பிறகே ப்லங்க் சொன்ன வழியில் மேற்சொன்ன சமன்பாடு சோதிக்கப்பட்டு, உறுதியாக நிறுவப்பட்டது.

இரண்டு துகள்களின் தனித்தனி கனங்களின் கூட்டுத் தொகையைக் காட்டிலும், அவை மிகநெருங்கிக் கூடியிருக்கும்போது அவற்றின் மொத்த கனம் ஏன் குறைவாக இருக்கவேண்டும்? ஓர் எதிரானின் எடை ஐந்து லட்சத்துப் பதினோராயிரம் எதிரான் வோல்ட். ஒரு நேரானின் எடை தொண்ணூற்று மூன்று கோடியே எண்பத்திரண்டு லட்சத்து எண்பதாயிரம் எதிரான் வோல்ட். ஒரு சீரானின் எடை தொண்ணூற்று மூன்று கோடியே தொண்ணூற்று ஐந்து லட்சத்து எழுபதாயிரம் எதிரான் வோல்ட். வசதிக்காகப் பத்து லட்சம் எதிரான் வோல்ட் என்பதை 1மி. என்று நாம் வைத்துக்கொள்ளலாம். இதன்படி எதிரான், நேரான், சீரான் எடைகள் முறையே, 0.511 மி., 938.28 மி., 939.57 மி., என்றாகும். எட்டு நேரான்களும், எட்டுச் சீரான்களும், எட்டு எதிரான்களுமுடைய உயிரியம் அணுவின் மொத்த எடை மேற்சொன்ன கணக்கின்படி கீழ்வருமாறு இருக்கவேண்டும்:

$$(0.511 \times 8) + (938.28 \times 8) + (939.57 \times 8) = 15026.88 \text{ மி.}$$

ஆனால் ஓர் உயிரியம் அணுவின் எடை 15026.88 மி. என்றில்லாமல், 14895 மி. என்று மட்டுமே இருந்தது ஒரு புதிராகத் தோன்றியது. அதாவது, சுமார் 131 மி. எடை குறைவாகக் காணப்பட்டது. உயிரியம் அணுக்கருவில் இருந்து அதன் மைய சக்தியின் ஈர்ப்பாற்றலை முறியடித்து ஒரு சீரானையோ அல்லது ஒரு நேரானையோ வெளியே கொண்டுவரச் சுமார் 8 மி. ஆற்றல் தேவைப்படுவதாகக் கணிக்கப்பட்டிருந்தது. உயிரியம் அணுக்கருவிலுள்ள எட்டுச் சீரான்களையும், எட்டு நேரான்களையும் கருவை விட்டு வெளியே கொண்டுவர சுமார் 128 மி. ஆற்றல் தேவைப்படும். இந்த அளவை, உயிரியம் கருவின் 'பிணைப்பாற்றல்' எனக் கொள்ளலாம். இதன் மதிப்பு, ஓர் அணுக்கருவின் எடைக்குக் கிட்டத்தட்ட ஒரு நூற்றுப்பங்கு என்று அமைகிறது. இந்த ஒரு நூற்றுப்பங்கு அளவுக்கு, ஓர்

அணுக்கருவின் எடை, அதன் உள்ளடக்கங்களான நேரான், சீரான் ஆகியவற்றின் தனித்தனி எடைகளின் கூட்டுத் தொகையை விடக் குறைவாக அமைகிறது. இவ்வாறு ஆற்றலும் கனமும் ஒன்றோடொன்று தொடர்புறுவதால் ஆ = கஓ² என்ற சமன்பாடு நிறுவப்படுகிறது. எட்டு நேரான்களையும், எட்டுச் சீரான்களையும் ஒன்றாகக் கொண்டு ஓர் உயிரியம் கருவை உருவாக்க முடிந்தால், 8 நே, 8 சி ஆகியவற்றின் மொத்த எடையில் ஒரு நூற்றுப்பங்கு எடைக்குச் சமமான அளவு ஆற்றல் ஒளியாக வெளிப்படக்கூடும். இப்படி வெளிப்படக்கூடிய அந்த ஆற்றல் எங்கிருந்து வந்திருக்க முடியும்? கருவுக்குள் பிணைக்கப்பட்டதும் அக்கருவின் நேரான், சீரான்களின் எடை ஒரு நூற்றுப்பங்கு அளவு குறைந்து விடுகிறதே! அப்படி குறைந்துவிட்ட கனம்தான், ஆற்றலாக மாறி வெளிப்படுகிறது. அதே அளவு ஆற்றல் செலுத்தப்பட்டால்தான் கருவிலிருந்து நேரான்களையும், சீரான்களையும் பிரித்து வெளியே கொண்டுவர முடியும். இவ்வாறாக ஆ = கஓ² தெளிவாகிறது. 1932-ஆம் ஆண்டு, ஜூன் மாதம், கார்க்ராஃப்ட் என்பவரும், வால்டன் என்பவரும் இணைந்து வெளியிட்ட ஓர் ஆய்வுத் தாளில், செயற்கையாக விரைவுந்து அல்லது வேக முடுக்கம் செய்யப்பட்ட துகள்கள் மூலம், அணுக்கரு மாற்றத்தை விளைவித்து, அந்த விளைவிலிருந்து, ஆ = கஓ² என்று மிகத் துல்லியமாகவும், உறுதியாகவும் நிறுவினார்கள்⁶.

உயிரியம் கரு மட்டுமன்றி அதிக எடை கொண்ட யுரேனியம் போன்ற அணுக்கருக்களின் பிணைப்பாற்றல் கணிக்கப்பட்டபோது அவற்றுக்கெல்லாம் கூடக் கருவின் மொத்த எடையில் கிட்டத்தட்ட ஒரு நூற்றுப்பங்கு அளவுப் பிணைப்பாற்றல் இருப்பது தெரிந்தது. எனவே அதிக உள்ளடக்கங்கள் உள்ள கருக்கள் ஆனாலும், குறைந்த உள்ளடக்கங்கள் உள்ள கருக்கள் ஆனாலும், உள்ளடக்கங்களின் எடைக்கும், பிணைப்பாற்றலுக்கும் இடையே ஆன பங்குத் தொடர்பின் மதிப்பு சம அளவே என்பது தெளிவாகியது. ஒரு கருவின் உள்ளடக்கங்கள், நேரான்களும் சீரான்களும். இவ்விரண்டையும் 'கருவான்கள்' எனப் பொதுவில் அழைக்கலாம். எனவே, அதிக எண்ணிக்கையில் கருவான்கள் உள்ள கருக்கள், அளவில் பெரிதாக இருக்குமேயன்றி, ஓரளவுக்கு மேல் கருவான்கள் நெருக்கப்படுவதில்லை. கருவுக்குள் எதிரான்களைச் செலுத்தினால், நேரான்களின் மின்பொதிவால், எதிரான்கள், தாக்கத்துக்கு உள்ளாவதாலும், மின்பொதிவற்ற சீரான்களால் அவை தாக்கத்துக்கு உள்ளாகாததாலும், கருவுக்குள் நேரான்கள் எப்படிப் பரவியுள்ளன என்பதைக் கருவுக்குள் செலுத்தப்பட்ட எதிரான்களின் திசைத்திருப்பங்கள் நூட்பமாகக் காட்டும். இப்படி நோக்கியபோது, கருவின் அளவும், கருவான்களின் எண்ணிக்கையும் நேர்ப்பங்குத் தொடர்புடையவையாக அமைந்திருக்கும் உண்மை தெளிவாகியது.

இவ்வாறாகச் சீரான், சிற்றான் கண்டுபிடிப்புகளாலும், ‘ஃபர்மி வகுத்த கொள்கையாலும் அணுக்கரு பற்றிய அறிவு விரிவடைந்தது. அணுக்கருவியல் வளர்ச்சியை மூன்று நிலைகளாகப் பகுத்து, ஓர் ஆசிரியர் வெளியிட்டுள்ள கருத்து குறிப்பிடத்தக்கது⁷. இக்கருத்தின்படி முதல் நிலையை அணுக்கருவே இல்லாத அணுவியல் எனலாம். அந்த நிலையில் கதிரியக்கம் பற்றிய ஆய்வே முக்கியமாக விளங்கியது. அடுத்த நிலையில், அணுக்கரு கண்டுபிடிக்கப்பட்டு கருவுக்கும் அதன் வெளியேயுள்ள எதிரான்களுக்கும் இடைப்பட்ட தொடர்பு ஆராயப்பட்டது. அதற்கடுத்த நிலையில் அணுக்கருவின் உள்ளடக்கங்கள் ஆய்வுக்கு உட்படுத்தப்பட்டன.

குறிப்புகள்:

1. E. Rutherford, *Philosophical Magazine* 49, 1900, page 1.
2. *Comptes Rendus*, 198, 1934, page 254 and 559.
3. a) M. G. Mayer: *Physical Review* 74, 1948, page 235.
b) M. G. Mayer: *Physical Review* 75, 1949, page 1969.
c) Haxel and two others, *Physical Review* 75, 1949, page 1766.
4. See p.258, “Q is for Quantum” by John Gribbin, Phoenix paperback, London, 1999.
5. *Berh. Deutsch. Phys. Ges.*, Volume 1906, page 136.
6. *Proceedings of Royal Society* A 137, 1932, page 229.
7. “*Inward Bound*”, Abraham Pais, Clarendon Press, Oxford, 1986, page 297.

21. நிழற் பந்தாட்டம்

1933 - 34 ஆண்டுகளில், ஃபர்மி தம் கொள்கையை வெளியிட்ட அதே கால கட்டத்தில், ஜப்பானில் ஓர் இளம் அறிஞர், அணுக்கருவியல் ஆய்வில் தீவிரமாக ஈடுபட்டிருந்தார். அவர் பெயர் இதேகி உகாவா. அப்பொழுது அவருக்கு 26 வயது. 1933 - ஆம் ஆண்டு, அணுக்கருவியல் பற்றி அவர் சில ஆய்வுத் தாள்கள் எழுதியும், அவற்றை அவர் வெளியிடவில்லை என்ற செய்தி பிறகு தெரியவந்தது. அந்த ஆய்வுத் தாள்கள் எழுதியபோது அணுக்கருவுக்குள் எதிரான்கள் இருப்பதாக ஹைஸன் ஃபர்க் வெளியிட்டிருந்த படிவமே சரி என்று நினைத்து அவர் குழம்பிப் போயிருந்தார். அதனால் அப்பொழுது எழுதிய தாள்களை அவர் துணிந்து வெளியிடவில்லை. அந்தக் குழப்பத்திலிருந்து மெல்ல விடுபட்ட பிறகு, ஒரு புதிய கொள்கையைச் சிந்தனையில் உருவாக்கினார். அதை 01.11.1934- தேதியிட்ட ஓர் ஆய்வுத் தாளாக எழுதி ஜப்பான் அறிவியற் கழகம் ஒன்றுக்கு அனுப்பி வைத்தார். அக்கழகத்தின் இதழில், 1935-ஆம் ஆண்டு, அந்தத் தாள் வெளியானது¹. நேரான்களுக்கும், சீரான்களுக்கும் இடையே நடைபெறும் ஒருவகையான துகள் பரிமாற்றமே, அணுக்கருவுக்குள், நேரான்களையும் சீரான்களையும் ஈர்த்துக் கட்டுக்கோப்பில் வைத்திருக்கும் ஆற்றலுக்குக் காரணம் என்று அத்தாளில் அவர் குறிப்பிட்டிருந்தார். அப்படிப் பரிமாறிக் கொள்ளப்படும் துகள்கள் எதிரான்களே என்றெண்ணி அதற்குமுன் குழம்பியிருந்த அவருடைய கண்களை ஃபர்மியின் கொள்கைதான் திறந்துவிட்டது. இவ்வாறு, உகாவாவே தம்முடைய சுயசரிதை நூலில் குறிப்பிட்டுள்ளார்².

அணுக்கருவாற்றல் எனப்படும் மைய சக்திக்குக் காரணமான துகளை, ஏற்கனவே தமக்குத் தெரிந்திருந்த துகள்களில் தேடாமல், மைய சக்தியின் குணங்களை ஆராய்ந்து, அந்தசக்திக்குக் காரணமான துகளின் குணங்களை அவர் வரையறுக்க முற்பட்டார்.

மிகமிகக் குறைந்த தொலைவுகளில் மட்டுமே மைய சக்தி இயங்குவதால், அந்தத் தொலைவும், அந்தசக்திக்குக் காரணமான துகளின் கனமும், ஒன்றுக்கொன்று எதிர்ப்பங்குத் தொடர்புடையவையாக இருக்கவேண்டுமென்று சிந்தித்தார். இந்தச் சிந்தனைக்கேற்பச் சமன்பாடுகள் வகுத்து, மைய சக்திக்குக் காரணமான துகளின் கனம் ஏறக்குறைய 200 எதிரான் எடை என்று அவர் கணித்தார்.

உறுதியின்மைக் கொள்கையின்படி, நி/ஆ என்ற மிகக் குறைந்த கால அளவுக்குள், 'ஆ' அளவு ஆற்றல் திடீரென்று தோன்றி மறைந்துவிடலாம். மைய சக்திக்குக் காரணமான துகள் அவ்வாறு தோன்றி மறையவேண்டுமென்று உகாவா சிந்தித்தார். மைய சக்தி, ஒரு மிகக் குறுகிய தொலைவுவரை மட்டுமே உணரப்படுவதால், இத்துகள், மிகக் குறுகிய நேரத்தில், அத்தொலைவுக்கு மேல் செல்லாததாக இருக்கவேண்டும். நி/ஆ என்ற காலத்துக்குள் அத்தொலைவு மட்டுமே செல்லக்கூடிய துகளாக அது இருக்கவேண்டும். ஒளிரான் போல் கனமற்றதாக அத்துகள் இருக்குமேயானால் (இங்கே 'கனம்' என்பது இயங்கா நிலை எடை), மிகக் குறுகிய கால அளவில் கூட மேற்சொன்ன தொலைவைக் காட்டிலும் நீண்ட தொலைவுக்கு அது சென்றுவிடக்கூடும். அந்தக் குறுகிய காலத்துக்குள், ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவுக்கு மேல் அது செல்ல இயலாமல் இருக்கவேண்டுமானால், இயங்கா நிலையில், அதற்குச் சற்றேனும் கனம் இருக்கவேண்டும். இயங்கா நிலையில் கனமுடைய ஒரு துகளின் ஆற்றல் ஐன்ஷ்டைன் வகுத்த சார்புக் கொள்கைச் சமன்பாட்டின்படி, $ஆ = கஆ^2$. எனவே, $நி/ஆ = நி/கஆ^2$. 'ஓ' என்பது ஒளியின் வேகம். ஒளியை விட வேகமாக எதுவும் செல்ல இயலாது என்பதே சார்புக் கொள்கை. உகாவா கற்பித்துக்கொண்ட துகள் ஒளியின் வேகத்தில் செல்வதாகவே வைத்துக் கொண்டாலும், அந்த வேகத்தில் கூட அது மைய சக்தியின் எல்லைக்கோட்டைத் தாண்டிச் சென்றுவிடக் கூடாது. வேகம் X காலம் = தொலைவு. உகாவா துகள், ஒளியின் வேகத்தில் செல்வதாக வைத்துக்கொண்டால், $நி/கஆ^2$ என்ற கால அளவுக்குள் அது செல்லக்கூடிய தொலைவு: $ஓ X நி/கஆ^2 = நி/கஆ$; 'நி' என்பதும், 'ஓ' என்பதும் மாறா அளவைகள்; 'க' என்பது இயங்கா நிலையில், உகாவா துகளின் கனம். இதைச் சற்றே பெரிய அளவாகக் கொண்டால் $நி/கஆ$ -வின் மதிப்பு குறையக்கூடும். $நி/கஆ$ -வின் மதிப்பு மைய சக்தியின் எல்லைக்கு உட்பட்டிருக்க வேண்டுமானால், 'க' -வின் மதிப்பு 200 முதல் 300 எதிரான் எடை என்று உகாவா கணித்தார்.

இவ்வளவு கனமான ஓர் ஆற்றல் பொட்டலத்தை உருவாக்கக்கூடிய அளவு அதிக ஆற்றல் விண்வெளிக் கதிர்வீச்சில் மட்டுமே கிடைக்க வாய்ப்பிருந்ததாக, உகாவா தம்முடைய ஆய்வுத் தாளில் குறிப்பிட்டிருந்தார்.

எப்படி ஒளித்துகள் பரிமாற்றத்தால், மின்காந்தப் புலம் விளக்கப்பட்டதோ, அப்படியே, மைய சக்தியின் புலத்தைப் புதிய துகளின் பரிமாற்றத்தால் உகாவா விவரித்தார். நேரான்களும், சீரான்களும் அப்படிப்பட்ட புதிய துகள்களைப் பரிமாற்றம்

செய்துகொண்டே இருப்பதால்தான் மையப் புலம் உருவாகிறது என்று உகாவா துணிபு செய்தார். அத்துகள் ஒவ்வொன்றின் மின்பொதிவும் ஓர் எதிரானின் மின்பொதிவுக்குச் சமமான மதிப்புடையதாகக் கருதப்பட்டது. அப்பொதிவு நேர்மின் பொதிவாகவோ, எதிர்மின் பொதிவாகவோ இருக்கலாம் என்று சொல்லப்பட்டது. இத்துணிபின்படி, உகாவா கண்டுபிடித்த துகள், அதாவது, யு-துகள், எப்படிப் பரிமாறப்படுகிறது? ஒரு நேரான், ஒரு யு-துகளை வெளிப்படுத்திச் சீரானாகிறது. அந்த யு-துகளை, அருகிலுள்ள ஒரு சீரான் உட்கொண்டு, நேரானாகிறது. அப்படியே ஒரு சீரான் ஒரு யு-துகளை வெளிப்படுத்தி நேரானாகிறது. ஒரு நேரான் அதை உட்கொண்டு சீரானாகிறது. நேரானைச் சீரானாகவும், சீரானை நேரானாகவும் மாற்றக்கூடிய துகள் மின்பொதிவு கொண்டதாகத்தானே இருக்கவேண்டும்? நேரானிலிருந்து வெளியாகிச் சீரானில் கலந்து, அச்சீரானை நேரானாக மாற்றும் யு-துகள் நேர்மின்பொதிவு கொண்டதாக இருக்கவேண்டும். நேரானைச் சீரானாக மாற்றும் துகள் எதிர்மின்பொதிவு கொண்டதாக இருக்கவேண்டும். அதேபோல் இரண்டு நேரான்களுக்கிடையேயும், இரண்டு சீரான்களுக்கிடையேயும் பரிமாற்றமாகும் துகள்கள் மின்பொதிவு அற்றவையாக, அதாவது, மின்சீர்மை கொண்டவையாக இருக்கவேண்டும். எனவே நேர்-யு, எதிர்-யு, சீர்-யு என மூன்று வகை யு-துகள்கள் இருக்கவேண்டும்.

மேற்சொன்ன முறைப்பாட்டில், வெளிப்பட்டு மறையும் யு-துகள்கள் நிழல்துகள்களே. உறுதியின்மை விதியால் வகுக்கப்பட்ட காலக் கெடுவுக்குள் அவை தோன்றி மறைந்தாக வேண்டும். அக்காலக் கெடுவுக்குள் ஒரு யு-துகளின் குறிப்பிட்ட அருகாமையில் வேறு துகள் நெருங்கவில்லையென்றால், அது எந்தக் கருவானில் இருந்து வெளிப்பட்டதோ, அந்தக் கருவானுக்குள்ளேயே சென்று மறைந்தாக வேண்டும்.

எனவே நேரான், சீரான் ஆகிய இருவகைத் துகள்களைச் சுற்றியும், நிழல் யு-துகள்கள் மேகமண்டலம் போல் சூழ்ந்திருக்கும். ஒரு சீரானைச் சுற்றியுள்ள நிழல் மண்டலத்தில் எதிர்-யு-துகள்களும், நேர்-யு-துகள்களும் சம அளவு இருக்கும். ஒரு நேரானைச் சுற்றியுள்ள நிழல் மண்டலத்தில் நேர்-யு-துகள்களே அதிகமிருக்கும். ஒரு நேரானின் நிழல் மண்டலமும், ஒரு சீரானின் நிழல் மண்டலமும் மிக நெருங்கி வரும் போது ஒரு மண்டலத்திலிருந்து மற்றொன்றுக்கு ஒரு நேர்-யு அல்லது எதிர்-யு-துகள் தாவுவதால் ஒரு நேரான் சீரானாகவோ அல்லது ஒரு சீரான் நேரானாகவோ மாற்றமடைகிறது. மேற்சொன்னவாறு நடைபெறும் நிழற்பந்தாட்டத்தால் மையப் புலம் விளைகிறது. இதுவே உகாவாவின் துணிபு.

மேற்சொன்ன மண்டலங்களுக்குள் ஒரு சிற்றான் நுழைந்தால் என்ன நேரும்? சிற்றான் மைய சக்திக்கு ஆட்படாதது. எனவே எவ்விதத் தாக்கமும், தடையும் இன்றி அந்த மண்டலங்களை அது ஊடுருவிக் கடந்து சென்றுவிடும். எதிரானும் ஒளிரானும் மைய சக்திக்கு ஆட்படாதவை. ஆனால் அவை மின்சக்திக்கு உட்பட்டவை. எனவே அப்படியொரு மண்டலத்துக்குள் ஓர் எதிரான் அல்லது ஒளிரான் நுழைந்தால், அது, அந்த மண்டலத்தின் மின்பொதிவுக்கேற்பத் தாக்கமுற்றுச் சிதறும். தக்க சோதனைகள் மூலம் சீரானின் நிழல்துகள் மண்டலத்துக்குள் செலுத்தப்படும் எதிரான்களின் சிதறல்கள் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டுள்ளன.

1933-ஆம் ஆண்டிலேயே ஓட்டோ ஷ்டேர்ன் என்பவர் சில சோதனைகளில் சீரான் ஒரு சிறிய காந்தத்தைப் போல் விளைவுகள் ஏற்படுத்தியதைப் புலத்தேர்வு செய்து அறிவித்திருந்தார்³. சீரானின் தற்சுழற்சி மட்டுமே காந்தப் புலத்தை ஏற்படுத்த முடியாது. அதற்கு மின்பொதிவின் துணையும் தேவை. மின்புலத்தில் சுழலும் ஒரு பொருள் காந்தப் புலத்தை ஏற்படுத்தும் என்பது சென்ற நூற்றாண்டிலேயே கண்டறியப்பட்ட உண்மை. உகாவா செய்த துணிபின்படி மின்சீர்மை கொண்ட சீராணைச் சுற்றியும் மின்பொதிவு கொண்ட யு-துகள் மண்டலம் உள்ளபடியால், அந்த மின்மண்டலத்திடையே சீரான் சுழலும்போது, அதனால் காந்தப் புலம் உருவாகும் என்பது தெளிவானது. 1943-ஆம் ஆண்டு ஷ்டேர்னுக்கு நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

நிழல் துகள்களாகவே தோன்றி மறையும் யு-துகள்கள், போதுமான அளவு ஆற்றல் செலுத்தப்பட்டால், தங்கள் குறுகிய ஆயுட்காலத்துக்குள் மைய சக்தியின் ஆளுமை எல்லையைக் கடந்து செல்லக்கூடிய விரைவு பெற்று, அதைக் கடந்து மெய்த்துகள்களாகப் பதவி உயர்வு பெறக் கூடும். அந்த அளவு ஆற்றல் அளிக்கக்கூடிய செயற்கைப் பொறிகள், 1933-ஆம் ஆண்டு கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. அதனால்தான் அத்தகைய ஆற்றல் விண்வெளிக் கதிர்களில் கிடைக்கக்கூடும் என்று உகாவா குறிப்பிட்டிருந்தார். 1936-37 ஆண்டுகளில் கார்ல் ஆன்டர்ஸனும், அவருடைய இணைபணியாளர் செத் நெடர்மெயரும் அமெரிக்காவில் உள்ள டேஸடினா என்ற இடத்தில் விண்வெளிக் கதிர்வீச்சு ஆய்வு நடத்திக் கொண்டிருந்தபோது, உகாவா முன்மொழிந்த துகள்கள் போன்ற துகள்களைப் புலத்தேர்வு செய்து அறிவித்தனர்⁴. அவர்களுடைய அறிவிப்பை அவர்கள் எழுதியவாறே நோக்குவோம்:

ஒரு குறிப்பிட்ட கனம் மட்டுமே உடைய துகள்களாக இல்லாவிட்டாலும், ஓர் எதிரானைவிட அதிகமான கனமுடையவையாகவும், ஆனால் நேராணைக் காட்டிலும்

கனம் குறைந்தவையாகவும், அதே நேரம் ஓர் எதிரானின் மின்பொதிவுக்குச் சமமான மின்பொதிவு கொண்டவையாகவும் அமைந்த துகள்கள் உள்ளன.

இந்தப் புதியவகைத் துகளுக்கு அதைக் கண்டுபிடித்த ஆன்'டர்ஸனும், நெடர்மெயரும், 'மெஸோடான்' எனப் பெயரிட்டிருந்ததாகவும், அவர்களுடைய பேராசிரியர் மில்லிக்கன் அதை 'மெஸோட்ரான்' எனத் திருத்தியமைத்ததாகவும் ஆன்'டர்ஸனே எழுதியுள்ளார்⁵. ஆனாலும் முதலில் இத்துகள் 'டேர்யான்', 'உகாவா துகள்', 'எக்ஸ் துகள்' எனப் பல பெயர்களில் அழைக்கப்பட்டது. இறுதியில் 'மெஸான்' என்ற பெயரே அதற்கு நிலைத்துவிட்டது.

ஆன்'டர்ஸன் கண்டுபிடித்த துகள், உகாவா முன்மொழிந்த துகள் இல்லை என விரைவில் உணரப்பட்டது. உகாவா முன்மொழிந்த துகள், வலிமையான மைய சக்திக்குக் காரணமான துகள். ஆனால் விண்வெளிக் கதிரில் புலப்பட்ட துகளோ மைய சக்தியைப் புறக்கணித்து, மின்காந்த சக்தி மூலம் மட்டுமே பொருள்களுடன் தொடர்புறுதல் தெளிவாகியது. தாம் நிகழ்த்திய சோதனைகளில் சுமார் 1215 செ. மீ. மொத்த அளவு கார்பனும், சுமார் 663 செ.மீ. மொத்த அளவு ஈயமும் கொண்ட 2437 தகடுகளை விண்வெளிக் கதிர்கள் ஊடுருவிச் சென்றும், எந்த அணுக்கருவிலும் எவ்வித எதிரியக்கமும் புலப்படவில்லை என்று ஆன்'டர்ஸனே எழுதியுள்ளார். விண்வெளியில் இருந்து வந்த கதிர்களில் புலப்பட்டதால், விண்ணில் இருந்து உதிர்ந்தாற் போன்ற அத்துகளை 'உதிரான்' என்றழைக்கலாமே!

உதிரான்கள், உகாவா முன்மொழிந்த துகள்கள் இல்லையென்றால், உகாவா துகள்கள் எங்கே? இக்கேள்விக்கு விடை கிடைக்க மேலும் பன்னிரண்டு ஆண்டுகள் இயல்பியல் காத்திருக்க வேண்டியிருந்தது. 1946-ஆம் ஆண்டில்தான் உகாவா துகளின் இருப்பு சோதனை மூலம் நிறுவப்பட்டது⁶. அப்படி நிறுவியவர்கள் ஸெஸில் ஃப்ரீங்க் பவல் என்பவரும், அவருடைய இணைப்பணியாளர்களும். ப்ரிஸ்டல் பல்கலைக் கழகத்தைச் சேர்ந்த இவர்கள் 'ப்ரிஸ்டல் குழு' என்றே குறிப்பிடப்பட்டனர். ஒரு மலையுச்சியில் திறவு செய்யப்பட்ட புகைப்படத் தகடுகளில் மின்பொதிவு கொண்ட துகள்களால் விளைந்த தடங்களை இவர்கள் புலத்தேர்வு செய்தனர். அத்தடங்களில் இருந்து அத்துகள் ஒவ்வொன்றும் சுமார் 200 எதிரான் எடை உள்ளதாகக் கணிக்கப் பட்டது. மேலும், அத்துகள் விரைந்து மறைந்துவிடக் கூடியதாகத் தெரிந்தது. அதன் மறைவில் விளையும் துகள்களில், ஏறக்குறைய அதற்குச் சமமான கனம் கொண்ட உதிரானும் ஒன்று என்பது தெளிவாகியது.

அப்படித் தோன்றி மறைந்த துகளே உகாவா துகள் என்பதும் தெளிவாகியது. அது மைய சக்திக்கான அடிப்படைத் துகள். எனவே அதை 'மையான்' என்றே அழைக்கலாமே!

மையான் சிதைவில், ஒரு சிற்றானும், ஓர் எதிரானும் விளையும் என்ற உகாவாவின் எதிர்பார்ப்பு தவறென்று நிறுவப்பட்டது. மையான் சிதைவில் உதிரான் விளைந்தது புலனாயிற்று. ஆனாலும் மையான் துகள் கண்டுபிடிப்பு உகாவாவின் மைய சக்தித் துணிபை உறுதியாக நிறுவியது. உகாவாவுக்கு 1949-ஆம் ஆண்டும், பவலுக்கு 1950-ஆம் ஆண்டும், நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

குறிப்புகள்:

1. *Proceedings of Phys. Math. Soc. Japan*, 17, 1935, page 48.
2. *Tabibito*, Ukawa, [Transln. L. Brown & R. Yoshida], World Scientific, Singapore, 1979.
3. R. Frisch and Otto Stern, *Zeitschr. f. Phys.*, 85, 1933, page 4.
4. *Physical Review*, 51, 1937, page 884-886.
5. "The Birth of Particle Physics" ed. L. M. Brown and L. Hodderson, Cambridge University Press, 1983, Page 148.
6. *Nature* 159, 1947, page 694.

22. கணிதமும் கமண்டலமும்

இதுவரை நாம் கண்ட இயல்பியல் வரலாற்றில் நமக்கு வியப்பும் திகைப்பும் தரக்கூடிய ஒரு புதுமை திரும்பத் திரும்ப நான்கு முறை நிகழ்ந்ததை இங்கே குறிப்பிட வேண்டும். சாதாரணமாக அறிவியல் என்பது புலன் நுகர்ச்சியை மட்டும் அடிப்படையாகக் கொண்டு அமைவதாகப் பொதுவான ஒரு கருத்து நிலவுகிறது. ஆனால், இந்த நூற்றாண்டின் அறிவியல் வரலாறோ இந்தக் கருத்து தவறென்றே உணர்த்துகிறது. அதுவும் இந்த வரலாற்றில் மேற்சொன்னவாறு திரும்பத் திரும்ப நிகழ்ந்த ஒரு புதுமை, இக்கருத்து மிகவும் தவறானது என்று தெளிவாகக் காட்டுகிறது. அந்தப் புதுமை என்னவென்றால், ஒரு புதிய துகள் புலத்தேர்வு செய்யப்படுவதற்கு முன்பே, அப்படி ஒரு துகள் இருந்தாகவேண்டும் என்ற துணிபு முன்மொழியப்படுவதே. அப்படி முன்மொழியப்பட்ட பிறகு, பல ஆண்டுகள் கழித்து அந்தத் துகள் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டுக் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு நடந்தது ஒரு முறையில்லை, நான்கு முறை. இப்படி நிறுவப்பட்ட துகள் ஒன்றில்லை, நான்கு. எதிர்மறை ஆற்றல் நிலையில் இருந்து புலப்பாட்டுலகிற்கு ஓர் எதிரான் உயர்ந்ததும், அது இருந்த இடம் ஒரு குழிபோலத் தோன்றும் புதிய துகளே என்று டிரேக் 1927-ஆம் ஆண்டில் சிந்தனை முறையில் வெளியிட்ட கருத்து, 1931-ஆம் ஆண்டு அப்படியொரு துகள் ஆன்ட்ரஸ்னால புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டபோது நிறுவப்பட்டது. அதுவே புதிரான் என்று மேலே கண்டோம். அதேபோல், 1920-ஆம் ஆண்டே அணுக்கருவுக்குள் மின்சீர்மை கொண்ட புதிய துகள்கள் இருக்கவேண்டும் என்று சிந்தனை முறையில் ரதர்ஃபர்ட் தெரிவித்த கருத்து, 1932-ஆம் ஆண்டு சீரான் துகளைச் சேட்விக் கண்டுபிடித்தபோது நிறுவப்பட்டது. 1930-ஆம் ஆண்டு உகரக் கதிர்வீச்சியக்கத்தில் எதிரானுடன் சேர்ந்து வேறொரு புதிய மின்சீர்மை கொண்ட துகளும் வெளிப்படுவதாகப் பெளலி முன்மொழிந்ததையொட்டி, 1933-ல், ஃபர்மி, சிற்றான் கொள்கையை விரிவு செய்திருந்தும் கூட, அத்துகள் மெய்யாகவே புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டது 1956-ஆம் ஆண்டில்தான் என்பதை நாம் பிறகு காண இருக்கிறோம். அதே போல், 1934-ஆம் ஆண்டு, உகாவா முன்மொழிந்த மையான் துகள், ஆன்ட்ரஸ்னால கண்டுபிடிக்கப்பட்டதுபோல் முதலில் தோன்றியிருந்தும், அது தவறென்றாகி, 1946-ஆம் ஆண்டில்தான் ப்ரிஸ்டல் குழுவினரால் முதன்முதலில் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டது. ஐந்து புலன்களையும் கட்டியாளும் மனிதச் சிந்தனையின் மேம்பாட்டை இந்த நிகழ்ச்சிகள் விளக்குகின்றன. புலன் சாராத சிந்தனை வழியில் கோட்பாடுகளை நிறுவும் கணிதமும், அளவையியல் என்ற துறையும் அறிவியலின் வளர்ச்சிக்குப் பெரிதும் உதவிக் கொண்டிருக்கின்றன என்பதையே இப்படிப்பட்ட நிகழ்ச்சிகள் உறுதி செய்கின்றன.

ஓர் அறிவியல் கொள்கை சரியா, தவறா என்று முடிவு செய்ய எளிமையான வழி, அக்கொள்கையின்படியே மெய்நிகழ்வுகள் அமைகின்றனவா என்று சோதித்துப் பார்ப்பதே. இந்த முறையில் டி ரீக் வகுத்த கொள்கை மிகப்பெரிய வெற்றி பெற்றது. அதன் கூற்றுகளை மெய்நிகழ்வுகள் நிறுவின. இருந்தாலும், அந்தக் கொள்கையில் சிந்தனைவழிச் சிக்கல்கள் சில தீர்க்கப்படாமலேயே இருந்தன. 1947 வரை, ஏறக்குறைய 16 ஆண்டுகள், இந்தச் சிக்கல்களால் அறிவியல் உலகம் பெரும் குழப்பத்திற்கு ஆளாகியிருந்தது. இந்தச் சிக்கல்களுக்கெல்லாம் அடிப்படைக் காரணம் அக்கொள்கையின்படிச் செய்யப்பட்ட சில கணிப்புகள் வரம்பின்மையை நோக்கி வளர்பவையாக அமைந்தன என்பதே.

ஒன்று, இரண்டு, மூன்று, நூறு, பத்தாயிரம், லட்சம், கோடி, பல்லாயிரம்கோடி என ஓர் அளவின் மதிப்பு மிகச்சிறிதாக இருந்தாலும், அல்லது, மிகப்பெரிதாக இருந்தாலும் அதைப் புரிந்துகொண்டு, அளவிட்டு, அதற்குத் தக்க சொற்குறியீடு ஒன்றும் தந்து, மனித சிந்தனை அதைத் தன் ஆளுமைக்கு உட்படுத்துகிறது. ஆனால் இன்ன அளவு எனக் கணிக்க முடியாத ஒரு மதிப்பை எப்படித்தான் புரிந்துகொள்வது? பாஞ்சாலியின் துகில்போல முடிவில்லாமல் வளர்ந்துகொண்டே செல்லும் மதிப்புகளே வரம்பின்மைகள் என்று கணிதத்தில் குறிக்கப்படுகின்றன. வரம்பின்மையாகிய ஒரு மதிப்பு கணிக்கப்பட முடியாதது; புலத் தேர்வுக்கும் உட்படுத்தப்பட முடியாதது. ஒரு வளைப் பார்த்து, 'நீ புலத் தேர்வு செய்' என்று சொன்னால் அவன் என்ன செய்ய முடியும்? 'நான் எதைப் புலத்தேர்வு செய்யவேண்டும்?' என்றுதான் அவன் கேட்க முடியும். 'உலகத்தைப் புலத்தேர்வு செய்' என்று சொன்னால் கூட அவனால் எதுவும் செய்ய இயலாது. இந்த உலகில் தினந்தோறும் நடக்கும் எண்ணற்ற நிகழ்ச்சிகளில், அல்லது நிகழ்வுகளில், ஒன்றை மட்டும் வரையறுத்து அதைக் கணிப்பதே புலத்தேர்வு எனப்படும். எனவே வரம்பின்மையான மதிப்புகள் அறிவியலின் எல்லைக் கோடுகளுக்கு அப்பாற்பட்டவை. இப்படிப்பட்ட வரம்பின்மைகள் விளைந்தன என்பதால் துமியியல் கொள்கையை அப்படியே ஏற்க அறிவியல் உலகம் தயங்கியது. மேலே சொன்னவாறு நடைமுறைச் சோதனைகளில் அக்கொள்கையின் பெரும்பாலான கூற்றுகள் நிறுவப் பட்டிருந்தும், அதன் கணிப்புகளில் விளைந்த வரம்பின்மைகளால் அக்கொள்கையைப் பற்றிய ஐயம் நீடித்தது. அக்கொள்கையில் அப்படி என்ன வரம்பின்மைகள் தோன்றுகின்றன? முதல் வரம்பின்மை, ஒரு துகளின் தன்னாற்றல் கணிப்பில் விளைவது. ஒரு படகு, தன் விரைவால், தான் ஏற்படுத்தும் அலைகளால், தானே தள்ளாடுவது போல், ஓர் எதிரான், தான் விளைவிக்கும் மின்காந்தப் புலத்தால், தானே தாக்கத்துக்கு உள்ளாகிறது. அன்றாடம் நாம் சந்திக்கும் பொருள்களில் மின்புலம் அல்லது காந்தப் புலம் போன்ற ஏதேனும் ஒரு புலத்தை விளைவிக்கும்

பொருள்களின் மொத்தப் புல-ஆற்றல், மரபு அறிவியல் முறையில் எளிதில் கணிக்கப்படலாம். ஓர் உருளை விளைவிக்கும் மின்புலத்தின் மொத்த ஆற்றல் என்பது, அப்புலத்தின் ஒவ்வொரு புள்ளியின் ஆற்றலும் கணிக்கப்பட்டு, அவற்றைக் கூட்டுவதால் கிடைக்கும் தொகை. இதைக் கணிக்க, மரபு அறிவியல் முறையில் உள்ள ஒரு குறள்நெறி கீழ்வருமாறு:

$$\text{ஆ} = \frac{\text{மி}^2}{\text{ர}}$$

[‘ஆ’ என்பது மொத்த அல்லது

முழுஆற்றல்;

‘மி’ என்பது மின்பொதிவு; ‘ர’ என்பது

உருளையின் ஆரம்.]

ஓர் எதிரானின் ஆரம் இன்னது என்பதாகத் தாம்ஸனும், லோரென்ஜ்* என்பவரும் கணித்திருந்தாலும், அக்கணிப்புகள் தவறென்பதும், ஓர் எதிரான் என்பது ஒரு புள்ளித் துகளாகையால் அதற்கு ஆரம், விட்டம் என்பதெல்லாம் கிடையாது என்பதும் பிறகு நிறுவப் பட்டன. ஓர் எதிரானுடைய ஆரத்தின் அளவைச் சுழி எனக் கொண்டு மேற்சொன்ன குறள் நெறியை ஆராய்ந்தால், $\text{மி}^2/\text{ர} = \text{மி}^2/0$ என்றாகும். எதைச் சுழியால் வகுத்தாலும், விளைமதிப்பு வரம்பின்மையே என்பது நிறுவப்பட்ட கணித விதி. எனவே எதிரான் விளைவிக்கும் புலத்தின் மொத்த ஆற்றல் வரம்பின்மையாக வளர்ந்து வியனுருக் கொண்டு நிற்கிறது. இது முதற்சிக்கல்.

அடுத்த சிக்கலுக்குக் காரணம் எதிரானின் மின்காந்த எடை. நீர் நிறைந்த ஒரு தொட்டிக்குள் கையை அழுக்கி வீசினால், கையின் கனம் அதிகரித்துவிட்டது போல ஓர் உணர்வு ஏற்படுகிறது. அதைப் போலவே, தான் விளைவிக்கும் புலத்தினூடு விரையும் எதிரானின் கனம் அதிகரிக்கிறது. புலத்தின் மொத்த ஆற்றலோ வரம்பின்மை. எனவே எதிரானின் புல-கனமும் இன்னொரு வரம்பின்மையாக வளர்ந்து அச்சுறுத்துகிறது. இது இரண்டாவது சிக்கல்.

பௌலி, ஹைஸன்‘பர்க் ஆகிய இருவரும், இந்த வரம்பின்மைகளோடு போராடித் தோற்றனர். 1930-ஆம் ஆண்டு, ரா‘பர்ட் ஆபன்ஹை‘மர் என்ற அமெரிக்க அறிவியல் வல்லுநர் ஓர் ஆய்வுத் தாளில் இன்னொரு சிக்கலைச் சுட்டிக் காட்டியிருந்தார்! டி ரீக் முன் மொழிந்த கொள்கையின்படி எண்ணற்ற நிழலொளிரான்கள் நீரிய அணுவிலுள்ள எதிரானைச் சூழ்ந்திருக்கும். இதனால் அது வெளிப்படுத்தும் கதிருக்கில் வரம்பற்ற இடப்பெயர்ச்சி ஏற்பட வேண்டியிருக்கும். இது மூன்றாவது சிக்கல்.

1933-ஆம் ஆண்டு, ஏப்ரல் மாதம் நடைபெற்ற ஏழாவது சால்வே மாநாட்டில், டி ரேக், மேற்சொன்ன சிக்கல்களைத் தீர்க்க, இன்னொரு சிக்கலான வழியை விவரித்தார்². துமியியலின்படி, ஓர் எதிராணைச் சுற்றி நிழலொளிரான்களும், அந்த நிழலொளிரான்கள் விளைவிக்கும் நிழலெதிரான்களும், நிழற் புதிரான்களும் எப்பொழுதும் இருக்கும். இந்நிகழ்வுக்கு அளிக்கப்பட்டுள்ள ஆங்கிலப் பெயரின் தமிழாக்கம், 'வெற்றிடத் துருவ முனைப்பாக்கல்' என அமைய வேண்டும். அந்த ஆங்கிலப் பெயர் அவ்வளவு பொருத்தமாகத் தோன்றவில்லை. இந்நிகழ்வை நாம் 'முரண் சூழல்' என்றே அழைக்கலாம். இப்படிப்பட்ட சூழல் கொண்ட மெய்-எதிரான், தன்னோடு மாறுபட்ட மின்பொதிவு கொண்ட நிழற்புதிரான்களைத் தன்பால் ஈர்த்துக்கொள்ளும்; தன்னோடு ஒத்த மின்பொதிவு கொண்ட நிழலெதிரான்களைத் தவிர்த்து ஒதுக்கும். தொடர்ந்து நிகழும் இத்தொடர்பியக்கத்தால், மெய்யெதிரானின் வெகு அருகில், எப்பொழுதும், எண்ணற்ற நிழற்புதிரான்கள் சூழ்ந்திருக்கும். எனவே சோதனையாளர்கள் ஒரு மெய்யெதிரானுடைய மின்பொதிவை அளக்கும்போது, அவர்கள் அளப்பதென்னவோ, நிழற்புதிரான்களால் ஆன நேர்மின் பொதிவுச் சட்டையை அணிந்துகொண்டிருக்கும் எதிரானின் மின்பொதிவையே. எதிரானின் வரம்பற்ற தன்னாற்றலால் அதன் மெய்யான எதிர்மின் பொதிவு வரம்பற்றிருக்கும். அதேபோல், அதைச் சுற்றி உள்ள வரம்பற்ற நிழற்புதிரான்களின் நேர்மின் பொதிவும் வரம்பற்றிருக்கும். இவ்விரண்டு வரம்பின்மைகளையும் ஒன்றிலிருந்து ஒன்றைக் கழித்தால் வரும் நிகர எதிர்மின் பொதிவே ஒரு மெய்யான எதிரானின் மின்பொதிவாக அளக்கப்படுகிறது.

ஒரு வரம்பின்மையில் இருந்து இன்னொரு வரம்பின்மையைக் கழிப்பதா? அது எங்ஙனம் இயலும்? இத்தீர்வு ஏற்படையதாகத் தோன்றவில்லை. ஆனாலும் பெளலி கேட்டுக் கொண்டதற்கு இணங்க, விக்டர் வைஸ்கப்ஃப் என்பவர் முரண்சூழலைக் கணிக்கும் முயற்சியில் ஈடுபட்டார். இந்த முறையின்படியும் எதிரானின் தன்னாற்றல் வரம்பின்மையை நோக்கியே செல்வதை அவர் உணர்த்தினார்³. குழப்பம் தீரவில்லை.

வில்லிஸ் லேம்ப் என்பவரும், ரா'பர்ட் ரெதர்'ஃபர்ட் என்பவரும் இணைந்து 1946-ஆம் ஆண்டு ஒரு சோதனையில் ஈடுபட்டனர். நீரியம் அணுவுக்குள் எதிரான் சுழலக் கூடிய, குறிப்பிட்ட இரண்டு ஆற்றல் நிலைகளுக்கு இடையே உள்ள ஆற்றல் தொலைவை அளப்பதே அச்சோதனையின் நோக்கம். அச்சோதனையின் விளைவு ஓர் அதிர்ச்சியை ஏற்படுத்தியது. அந்நிலைகளில் ஒன்று எங்கிருக்க வேண்டும் என்று கணிக்கப் பட்டிருந்ததோ, அங்கே அது இல்லாமல் சற்றுத் தள்ளியிருந்தது. இதுவே அதிர்ச்சியளித்தது. 1947-ஆம் ஆண்டு ஷெல்டர் தீவில் நடைபெற்ற இயல்பியல்

மாநாட்டில், ஷேம்ப், இந்த விளைவு பற்றி அறிவித்தார்⁴. எதிரானுடைய தன்னாற்றல் சரியாகக் கணிக்கப்படாததே ஆற்றல்நிலை தவறாகக் கணிக்கப்பட்டதற்குக் காரணம் என்றுணரப்பட்டது. மேற்சொன்ன நிகழ்வை, 'ஷேம்ப் இடப்பெயர்ச்சி' என்றே அழைக்கலாம். அந்த மாநாடு முடிந்த ஐந்து நாட்களுக்குள், ஹன்ஸ் பேத்'ஹு என்பவர், ஷேம்ப் இடப்பெயர்ச்சியை மிகச் சரியாகக் கணிக்கும் கணித முறையொன்றை வகுத்தார்⁵. எந்த அணுவுக்குள்ளும் கட்டுப்படாத ஓர் எதிரானின் தன்னாற்றலுக்கும், நீரியம் அணுவுக்கு உட்பட்ட ஓர் எதிரானின் தன்னாற்றலுக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாட்டிலிருந்து அவர் இதைக் கணித்திருந்தார்.

ஷெல்டர் தீவு மாநாட்டில் பங்கேற்ற பல அறிஞர்களில், ஜூலியஸ் ஷ்வீங்கர் என்பவரும் ஒருவர். ஷேம்ப் இடப்பெயர்ச்சியைவிட, வேறொரு நிகழ்வுதான் இவரை அதிக அதிர்ச்சிக்கு உள்ளாக்கியது. தற்சுழற்சியாலும், சுழலியக்கத்தாலும் ஒரு சிறிய காந்தமாகவே இயங்கும் எதிரானின் காந்த விசை, கணிக்கப்பட்டவாறு இல்லாமல் சற்று மாறியிருந்ததாக நஃபே, நெல்ஸன் என்ற இருவர் அறிவித்திருந்தனர்⁶. அதுவே, ஷ்வீங்கருக்குப் பேரதிர்ச்சி அளித்தது. சார்புக் கொள்கையைக் கருத்திற் கொள்ளாமலேயே ஷேம்ப் இடப்பெயர்ச்சியைக் கணித்துவிடலாம். பேத்'ஹு அப்படித்தான் செய்து காட்டியிருந்தார். ஆனால் எதிரானின் காந்தவிசை சார்புக் கொள்கை, துளிக்கொள்கை ஆகியவற்றின் இணைப்பிலன்றோ பெறப்பட்டது! எனவே சார்புக் கொள்கையைப் புறக்கணித்துவிட்டு எதிரானின் காந்தவிசை பற்றிய குழப்பத்துக்குத் தெளிவு காண முடியாது. இதுவே ஷ்வீங்கருக்கு அதிர்ச்சி தந்தது. இந்த அதிர்ச்சியால் தூண்டப் பெற்ற அவர் சிந்தனையில் ஒரு புதிய கணித முறைப்பாடு மலர்ந்தது⁷. வரம்பின்மைகளை ஒன்றிலிருந்து ஒன்றாகக் கழித்துக்கொண்டே வந்து, வரம்புக்குட்பட்ட ஒரு மதிப்பைப் பெறுவதே அந்த முறையின் சாரம். இந்தக் கணிதமுறை வரம்பின்மைகளை அகற்றி, ஒரு கணிப்பை இயல்பாக்குவதால், 'இயல்பாக்கல்' என்றே இக்கருத்துச் சூழலில் அதை அழைக்கலாம். இந்த முறையால் துளிநிலை மின்காந்த இயக்கவியல் அல்லது துமியியல் எனப்படும் முழுமையான கொள்கையின் அறிவியற் தகுதி மீட்கப்பட்டது. அந்த வகையில் இதை ஓர் அறிவியற் புரட்சி என்றே கொள்ளலாம். இந்தக் கணித முறைப்பாட்டை விளங்கிக் கொள்ள உயர்கணிதப் பயிற்சி தேவை. எனவே இந்நூலில் அவ்விளக்கம் தவிர்க்கப் படுகிறது. ஆனாலும், 'இயல்பாக்கல்' என்ற முறையின் சாரத்தை மட்டும் ஒருவாறு புரிந்து கொள்ள முயற்சி செய்யலாம். எந்த எண்ணை அதே எண்ணால் வகுத்தாலும் விடை 1 என்பது கணிதத்தின் அடிப்படை விதி. ஆனால், வரம்பின்மையை வரம்பின்மையால் வகுத்தால் விடை '1' என்று சொல்லிவிட முடியாது. வரம்பின்மை என்பது ஓர் எண் இல்லை. 1, 2, 3, 4, 5,...என்று எல்லா முழு எண்களையும் கூட்டினால் கிடைக்கக்கூடிய கூட்டுத்

தொகையின் மதிப்பு வரம்பின்மை. இந்த வரிசையில் உள்ள ஒவ்வொரு எண்ணையும் இரட்டிக்கப்பாக்கி (இரண்டால் பெருக்கி), அதன் பிறகு, கூட்டினால் கிடைக்கும் கூட்டுத் தொகையின் மதிப்பும் வரம்பின்மையே. 1, 2, 3, 4... என்ற கூட்டுத் தொகையை வரம்பின்மை 'உ' என்றும், $(1 \times 2) + (2 \times 2) + (3 \times 2) + (4 \times 2) \dots$ என்ற கூட்டுத் தொகையை வரம்பின்மை 'ஊ' என்றும் வைத்துக்கொள்வோம்.

$$\text{ஊ} - \text{உ} = ?$$

விடை 'உ' என்று சொல்லமுடியுமா? 'ஊ' என்பது உ - வில் உள்ள எண்கள் எல்லாம் இரட்டிக்கப்பட்ட எண்களின் கூட்டுத் தொகையானது. எனவே 'உ' - வை விட 'ஊ' இரண்டு மடங்குதானே? இல்லை. 'உ' என்பது 1, 2, 3, 4... என்றிருக்க, 'ஊ' - வோ 2, 4, 6, 8.... என்றிருக்குமே; 'ஊ' -வில் 1, 3, 5, 7 போன்ற எண்கள் இல்லையே. 'உ' -வில் அந்த எண்களோடு, 2, 4, 6, 8 போன்ற எண்களும் உண்டே. ஆகவே 'உ' என்பதுதானே 'ஊ' -வைவிட அதிகம்? இது ஒரு மாயாஜாலம் போல இல்லை! இதுதான் இயல்பாக்கல் முறையில், ஒரு வரம்பின்மையில் இருந்து இன்னொரு வரம்பின்மையைக் கழிக்கப் பயன்படுகிறது. இதற்கு மேல் இயல்பாக்கல் முறை இந்த நூலில் விளக்கப்பட முடியாது. 1948-ல், ஷ்வீங்கர் அறிவித்த இயல்பாக்கல் முறைப்பாட்டைப் போலவே உதவக்கூடிய முறைப்பாட்டை 1943-ஆம் ஆண்டிலேயே டோமனாக என்ற ஜப்பானிய அறிவியல் வல்லுநர் அறிவித்திருந்தார். அது ஜப்பானிய மொழியில், ஒரு ஜப்பானிய அறிவியலிதழில் வெளிவந்ததால் மேற்கத்திய அறிவியல் சிந்தனையை எட்டவில்லை. அதுவே பிறகு ஆங்கிலத்தில் 1946-ஆம் ஆண்டு ஓர் ஆங்கில இதழில் வெளியானது⁸. அதுகூட இரண்டு ஆண்டுகளுக்குப் பிறகே உலகின் மற்ற பகுதிகளில் உள்ள அறிவியற் சிந்தனையாளர்களை எட்டியது. டோமனாக, ஷ்வீங்கர் ஆகியோர் வகுத்த முறைப்பாடுகள் பற்றி அறியாமலேயே ஃபைன்மென் என்பவரும் கிட்டத்தட்ட அதே போன்ற ஒரு முறைப்பாட்டை 1949-ஆம் ஆண்டு அறிவித்தார்⁹. இக்கணித முறைப்பாட்டுக்காக 1965-ஆம் ஆண்டு, இயல்பியல் நோபெல் பரிசு ஷ்வீங்கர், டோமனாக, ஃபைன்மென் ஆகிய மூவருக்கும் பகிர்ந்தளிக்கப்பட்டது.

கமண்டலத்தில் குறுமுனி அகத்தியர் காவிரி நதியை அடக்கினார் என்று சொல்லப்படுவதைப்போல், வரம்பின்மைகளைச் சில கணித நூட்பங்களில் மேற்சொன்ன மூவரும் அடக்கி வைத்தனர் எனக் கொள்ளலாம். இயல்பாக்கல், துமியியல் பற்றிய ஐயத்தை முழுமையாகத் தீர்த்துவிடவில்லை. அது ஏதோ ஒரு கணித மாயாஜாலம் போலவே சிலரால்

இன்றும் கருதப்படுகிறது. துமியியலைத் தோற்றுவித்த டி ரீக்கே இம்முறையில் மனநிறைவு கொள்ளவில்லை. இதனால் விளையும் கொள்கை, ஓழுங்கும், முழுமையும் அற்றதாக உள்ளது என்ற கருத்தை டி ரீக்கே வெளியிட்டுள்ளார்¹⁰.

குறிப்புகள்:

1. *Physical Review* 35, 1930, page 461.
2. P.A.M. Dirac: “*Rapports du Septieme Conseil de Physique*”, Gauthier-Villars, Paris, 1934, page 203.
3. *Zeitschr. f. Phys.*, 89, page 27, 1934.
4. *Physical Review* 72, 1947, page 972.
5. *Physical Review* 72, 1947, page 339.
6. *Physical Review* 71, 1947, 914.
7. *Physical Review* 73, 1948, 416.
8. *Programme in Theoretical Physics*, 2, August-September, 1946, page 27.
9. *Physical Review* 76, 1949, page 769.
10. *Proceedings of Royal Society, A* 209, 1951, page 291.

23. விண்வெளி விருந்தாளிகள்

பரந்து கிடக்கும் அண்டப் பெருவெளியின் எல்லாத் திசைகளில் இருந்தும் பலவகைப்பட்ட கதிர்கள் புவியை வந்தடைகின்றன. இவற்றை 'விண்வெளிக் கதிர்கள்' என்று அழைக்கலாம். இப்படிப்பட்ட விண்வெளிக் கதிர்கள் பற்றிய ஆய்வு இருபதாம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில்தான் மேற்கொள்ளப்பட்டது. விண்வெளிக் கதிர்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட வரலாறு மிகவும் விநுவிறுப்பானது.

மின்பொதிவை அளக்கப் பயன்படுத்தப்படும் கருவியே, 'மின்மானி' என்பது. மின்சாரம் பாய்ச்சப்பட்ட மின்மானி, யுரேனியம் என்ற அடிப்பொருளுக்கு அருகில் வைக்கப்பட்டால், மின்மானியில் மின்கசிவு பதிவாவது பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியிலேயே கண்டறியப்பட்டது. இந்த நிகழ்வுக்கு ஒரு காரணம் கற்பிக்கப்பட்டது. யுரேனியத்தின் கதிரியக்கத்தில் வெளிப்பட்ட அகர, உகரக் கதிர்கள், வெளியே காற்று மண்டலத்திலிருந்து மூலக்கூறுகளைத் தாக்கி, அவற்றிலிருந்து எதிரான்களை அப்புறப்படுத்தி, அவற்றை மின்னணுக்களாக மாற்றிவிடுகின்றன என்றும், அந்த மின்னணுக்கள் மின்சாரக் கடத்திகளாகச் செயல்பட்டு, மின்சாரம் பாய வைக்கின்றன என்றும் இந்நிகழ்வு விளக்கப்பட்டது.

1901-ஆம் ஆண்டு, எல்ஸ்டெர், கைடெல் என்ற இருவர் தாங்கள் செய்த சில சோதனைகளில், கதிர்வீச்சு நடத்தக்கூடிய பொருள்கள் அருகே இல்லாதபோதும் மின்மானிகள் மின்கசிவைப் பதிவு செய்தன என்று அறிவித்தனர்¹. இந்தப் புதிரான நிகழ்வை, 'மிச்ச மின்கசிவு' என்று அழைக்கலாம். இந்த அறிவிப்பைத் தொடர்ந்து மிச்ச மின்கசிவைக் கண்டறியும் சோதனையில் ரதர் 'ஃபர்ட் ஈடுபட்டார். ஒரு மின்மானியை, ஐந்து டன் எடை கொண்ட ஒரு வகையான ஈயத்தால் சுற்றிக் கட்டிய பிறகும் அந்த மானியில் மிச்ச மின்கசிவு பதிவானதை அவர் சோதனை மூலம் கண்டறிந்தார்².

ஹாலன்ட் நாட்டில் இயல்பியல் ஆசிரியராகப் பணிபுரிந்து வந்த தியோடர் உல்ஃஃ; என்ற பாதிரியாரை இந்நிகழ்வு சிந்திக்கத் தூண்டியது. அவரால் மிக நேர்த்தியாக வடிவமைக்கப்பட்ட மின்மானி கூட மிச்ச மின்கசிவைப் பதிவு செய்தது. இது அவருக்குப் பெரும் வியப்பளித்தது. பாரீஸ் நகரிலுள்ள ஐஃபில் கோபுரம் என்ற உயர்ந்த கோபுரத்தின் உச்சிக்கு மின்மானியை அவர் எடுத்துச் சென்று பார்த்தபோதும் மின்கசிவு புலப்பட்டது. புவியிலிருந்து புறப்பட்டு மேலெழும்பக்கூடிய எல்லா விதமான கதிர்களையும், கோபுரத்தின் உச்சி வரையுள்ள சுமார் ஆயிரம் அடி உயரக் காற்று மண்டலம் உட்கொண்டுவிடும் என்பதால் உல்ஃஃ ஒரு துணியை 1910-

ஆம் ஆண்டில் முன் மொழிந்தார்³. ஒன்று, கோபுரத்தைவிட உயர்ந்த நிலைகளிலிருந்து கீழ்நோக்கிக் கதிர்வீச்சு வரவேண்டும்; அல்லது காற்று மண்டலத்தின் உட்கோள் திறன், கணிக்கப்பட்டிருந்ததை விட மிகவும் குறைவானதாக இருக்கவேண்டும்.

மிக உயரத்திலிருந்து கதிர்கள் புறப்பட்டு வந்து புவியை அடையக்கூடும் என்ற சிந்தனை, விக்டோர் ஹெஸ் என்பவரைச் சில துணிச்சலான சோதனைகளில் ஈடுபடத் தூண்டியது. ஐஃபில் கோபுரத்தை விட அதிக உயரத்துக்குச் சென்று சோதனை நிகழ்த்த அவர் ஆர்வம் கொண்டார். இதற்காக, மின்மானியுடன் ஒரு பலூனுக்குள் ஏறி அமர்ந்து கொண்டு, காற்றில் உயரப் பறந்தார். எட்டு முறை அப்படிப் பறந்த பிறகே அவருக்கு வெற்றி கிட்டியது. ஒன்பதாவது முறை, சுமார் பதினையாயிரம் அடி உயரம் சென்று வந்தார். அப்போது, சற்று உயரம் வரை மின்கசிவு குறைந்து வந்ததையும், அதன் பின் ஆறாயிரம் அடி உயரம் வரை கசிவு ஒரே நிலையாக இருந்ததையும், ஆறாயிரம் அடிக்கு மேல் கசிவின் அளவு அதிகரிக்கத் தொடங்கியதையும், பதினையாயிரம் அடி உயரத்தில், தரைமட்டத்தில் ஏற்பட்டதைக் காட்டிலும் இருமடங்குக்கு மேல் அதிகமாகக் கசிவு இருந்ததையும் அவர் கண்டறிந்தார். பல பலூன் பயணங்கள் அவரால் இரவு நேரத்திலும் மேற்கொள்ளப்பட்டன. அப்பொழுதும் இதே போன்ற விளைவுகள் கண்டறியப்பட்டன. எனவே ஊடுருவும் சக்தி அதிகமுடைய கதிர்கள் புவிக்கு மேலே வெட்டவெளியிலிருந்து புறப்பட்டுப் புவியின் காற்று மண்டலத்துக்குள் நுழைகின்றன என்ற துணிபை 1912-ஆம் ஆண்டு அறிவித்தார்⁴.

கோல்ஹோர்ஸ்டர் என்பவர் ஐந்து முறை பலூன் பயணம் மேற்கொண்டு 28.06.1914 அன்று முப்பதாயிரம் அடி உயரத்தை அணுகி அங்கே மின்கசிவு தரைமட்டத்தில் இருந்ததைவிடப் பன்னிரண்டு மடங்கு அதிகம் இருந்ததை அறிவித்தார்⁵. முதல் உலகப்போர் மூண்டதால் பலூன் பயணங்கள் தொடர்ந்து நடத்தப்படவில்லை.

விண்வெளியிலிருந்து ஆற்றல் மிக்க கதிர்கள் வருகின்றன என்ற கருத்தை மில்லிக்கன் என்ற அமெரிக்க இயல்பியல் பேராசிரியர் ஏற்க மறுத்தார். முதல் உலகப்போர் நடந்துகொண்டிருந்தபோது, மில்லிக்கனுக்கும், கோல்ஹோர்ஸ்டருக்கும் ஒரு கருத்துப் போர் நடந்து கொண்டிருந்தது. இதற்கு முற்றுப் புள்ளி வைக்க மில்லிக்கன் ஒரு சோதனையை மேற்கொண்டார். ஒரு மின்மானியை நீருக்கடியில் எடுத்துச் சென்று சோதிக்கலாம் என்று அவருக்குத் தோன்றியது. கடல் மட்டத்திலிருந்து சுமார் 11,800 அடி உயரத்திலுள்ள ஓர் ஏரியிலும், சுமார் 15,500 அடி உயரத்திலுள்ள இன்னோர் ஏரியிலும் ஒரே

நேரத்தில் நீர்மட்டங்களுக்கு அடியில் மின்மானிகளை வைத்து, 1925-ஆம் ஆண்டு, அவர் சோதனைகள் நடத்தினார். உயரங்களின் வேறுபாட்டால் சுமார் 6,700 அடி காற்றழுத்தம் வேறுபடும் என்றும், இந்த வேறுபாடு சுமார் ஆறடி உயர நீரழுத்தத்துக்குச் சமம் என்றும் அவர் கணித்தார். இதன்படி இரண்டு ஏரிகளின் நீர் மட்டங்களிலும் ஆறடி உயரம் வேறுபாடு ஏற்படுத்திச் சோதித்தார். விண்வெளியிலிருந்து கதிர்கள் வந்தன என்பது உண்மையானால், இரண்டு மின்மானிகளிலும், ஏறக்குறைய ஒரே அளவில், மின்கசிவு இருக்கவேண்டுமென்று அவர் கணித்தார். அதன்படியே இருமானிகளிலும் மின்கசிவு ஒரே அளவாக இருந்தது. மில்லிக்கன் விண்வெளிக் கதிர்களை ஒப்புக்கொண்டதுடன் அவற்றை ஐயத்திற்கு இடமின்றிச் சோதனை மூலம் நிறுவினார்⁶. அக்கதிர்களுக்கு அவரே, 'காஸ்மிக் ரேஸ்' என்று பெயர் சூட்டினார். அவரே விண்வெளிக் கதிர்களைக் கண்டுபிடித்தவர் என அமெரிக்க நாளேடுகளும், இதழ்களும் பாராட்டின. நோபெல் கழகமோ மிகச் சரியாக, ஆனால் மிகவும் நேரம் கடந்து, 1936-ஆம் ஆண்டு, விண்வெளிக் கதிர்கள் கண்டுபிடிப்புக்காக, விக்டோர் ஹெஸ்ஸுக்கு நோபெல் பரிசு வழங்கியது.

விண்வெளிக் கதிர்கள் மகரக் கதிர்களே என்று மில்லிக்கன் தவறாக நம்பினார். மேலே சொல்லப்பட்ட சோதனையில் அவர் ஓரடி உயர நீர்மட்டத்தின் உட்கோள் திறனும், 1116 அடி உயரக் காற்று மண்டலத்தின் உட்கோள் திறனும் மகரக் கதிர்களைப் பொறுத்துச் சமம் என்று ஏற்கனவே நிறுவப்பட்டிருந்த கணிப்பையே பயன்படுத்தினார். விண்வெளிக் கதிர்கள் மகரக் கதிர்கள் இல்லை என்று பிறகு நிறுவப்பட்டது. ஆனாலும் ஒரு தவறான கருத்தின் அடிப்படையில் ஒரு நல்ல சோதனை நடத்தி விண்வெளிக் கதிர்கள் உண்டு என்ற சரியான முடிவுக்கு மில்லிக்கன் வந்தார் என்பது குறிப்பிடத் தக்கது.

விண்வெளிக் கதிர்கள், மகரக் கதிர்கள் அல்ல என்று கோல்ஹோர்ஸ்டர் கருதினார். அவர் வால்டெர் போத் ஹ என்பவருடன் இணைந்து ஒரு சோதனை நிகழ்த்தினார்⁷. இரண்டு எண்மானிகளுக்கு நடுவே இரண்டு அங்குலப் பருமனுள்ள தங்கக் கட்டி ஒன்றை வைத்து அவர்கள் சோதனை நடத்தினார்கள். தங்கக் கட்டிக்கு மேலே ஓர் எண்மானி, கீழே ஓர் எண்மானி எனச் சோதனை வடிவமைக்கப்பட்டது. மகரக் கதிர்கள் ஒளிரான்களால் ஆனவை. இரண்டங்குலத் தங்கக்கட்டியை ஊடுருவிச் செல்ல ஒளிரான்களால் முடியாது. எனவே விண்வெளிக் கதிர்கள் மகரக் கதிர்களாக இருக்குமேயானால் அவை தங்கக்கட்டியை ஊடுருவிச் சென்று, கீழ் எண்மானியைத் தாக்கமுடியாது. ஆனால் மேற்சொன்ன சோதனையில், கீழ்

எண்மானியில் தாக்கம் பதிவானது.

இந்தச் சோதனையிலிருந்து கூட விண்வெளிக் கதிர்கள் மகரக் கதிர்கள் அல்ல என்பதை மில்லிக்கன் ஏற்க மறுத்தார். மேற்சொன்ன சோதனையில் எண்மானிகளைத் தாக்கிய துகள்கள் விண்வெளிக் கதிர்களே அல்ல என்றும், அவை விண்வெளிக் கதிர்களால் தாக்கி முடுக்கப்பட்ட வேறு துகள்களாக இருக்கக் கூடுமென்றும் மில்லிக்கன் வாதிட்டார். ஆனால் மீண்டும் தோல்வி மில்லிக்கனுக்கே. அவருடைய செயல்முறை அறிவியல் அறிவு, இப்படிப்பட்ட தோல்விகளை வெற்றிகளாக மாற்றும் திறன் கொண்டிருந்தது. அவரே, மிக நுட்பமான ஒரு சோதனை நிகழ்த்தி விண்வெளிக் கதிர்கள் மகரக் கதிர்கள் அல்ல என்று உறுதியாக நிறுவினார். அச்சோதனையை அவருடைய மேற்பார்வையில், இரண்டு மாணவர்கள், 1932-ஆம் ஆண்டு, நிகழ்த்தினார்கள்⁸. அச்சோதனையை இப்பொழுது நோக்கலாம்.

மகரக் கதிர்கள் ஒளிரான்களால் ஆனவை. ஒளிரான்களுக்கு மின்பொதிவு கிடையாது. விண்வெளிக் கதிர்கள் மின்பொதிவு கொண்ட துகள்களால் ஆனவை என்பது நிறுவப்பட்டால் அவை மகரக் கதிர்கள் அல்ல என்பது உறுதியாகிவிடும். விண்வெளிக் கதிர்களின் துகள்கள் மின்பொதிவு கொண்டிருந்தால், அவற்றைப் புவியின் காந்தப் புலம் திசைத்திருப்பத்துக்கு உட்படுத்தும். அதாவது, விண்வெளியிலிருந்து மின்பொதிவு கொண்ட துகள்கள் புவியை நோக்கி வந்தால், அவை புவியின் வட, தென் துருவங்கள் நோக்கி அதிக அளவில் திசைத்திருப்பம் கொண்டு இறங்கும். எனவே, புவிமையக் கோட்டிலிருந்து வட, தென் துருவங்கள் நோக்கிச் செல்லச் செல்ல விண்வெளிக் கதிர்கள் அதிக அளவில் புலப்பட வேண்டும். இதைக் கண்டறியவே மில்லிக்கன் சோதனை நடத்தினார். இதற்காக மின்மானிகளுடன் படகுப் பயணங்கள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. துருவப் பகுதிகளில் அதிக அளவு விண்வெளிக் கதிர்கள் வரும் நிகழ்வை அச்சோதனை நிறுவியது. எனவே விண்வெளிக் கதிர்கள் மின்பொதிவு கொண்ட துகள்களால் ஆனவை என்பது நிறுவப்பட்டது.

விண்வெளிக் கதிர்கள் இருவகைப்பட்டவை என்ற கருத்து, 1934-ஆம் ஆண்டு லண்டனில் நடைபெற்ற அனைத்துலக இயல்பியல் மாநாட்டில் கலந்து கொண்ட பலராலும் தெரிவிக்கப்பட்டது. இரண்டு வகைகளுக்கும் இடையே ஆற்றல் அளவில் மிகப் பெரிய வேறுபாடு உண்டென்று கருதப்பட்டது. ஆற்றலில் குறைந்த கதிர்கள், மிக எளிதில், ஒரு சில அங்குலப் பருமன் கொண்ட உலோகங்களாலேயே உட்கொள்ளப்பட்டுவிடுகின்றன என்றும், ஆற்றல் மிக்க கதிர்களோ பல்லாயிரம் அங்குலப் பருமன் கொண்ட ஈயத்தைக் கூடத் தங்குதடையின்றி ஊடுருவிச் செல்கின்றன என்றும்

சொல்லப்பட்டது. முதல்வகைக் கதிர்கள் மென்மையானவை என்றும், இரண்டாவது வகைக் கதிர்கள் வன்மையானவை என்றும் குறிக்கப்பட்டன. இவையனைத்துமே எதிரான்களால் ஆனவை என்றும், முதல்வகைக் கதிர்கள் சிவப்பு எதிரான்களால் ஆனவை என்றும், இரண்டாவது வகைக் கதிர்கள் பச்சை எதிரான்களால் ஆனவை என்றும் விதவிதமான பெயராக்கங்கள் உருவாயின.

1936-ஆம் ஆண்டு நிகழ்த்தப்பட்ட சில சோதனைகள், விண்வெளிக் கதிர்களில் எதிரான்களும், புதிரான்களும், ஒளிரான்களும் உண்டு என்று நிறுவின. இந்திய அணு ஆய்வு வல்லுநர் பாபா அவர்களும் ஹைட்லெர் என்பவரும் இணைந்து, 1937-ஆம் ஆண்டு ஒரு நிகழ்வைப் புலத்தேர்வு செய்து அறிவித்தனர்⁹. ஈய உலோகத்தின் ஊடே சுமார் 1000 மி. ஆற்றல் கொண்ட ஓர் ஒளிரான் நுழைந்து செல்ல முற்படும்போது, எதிரான்-புதிரான் துகள்கள் இணையாகத் தோற்றம் கொண்டு, இவையிரண்டும் ஒன்றையொன்று நெருங்கி, அழித்துக்கொண்டு மறைய, அந்த அழிவில் புதிய ஒளிரான்கள் தோன்றி, மீண்டும் மீண்டும் இப்படியே நிகழும் சங்கிலித் தொடர் நிகழ்வையே அவர்கள் குறிப்பிட்டிருந்தனர்.

இந்தக் காலகட்டத்தில்தான், நாம் ஏற்கனவே கண்டதுபோல், ஆன் 'டர்ஸ னும், நெடர்மெயரும் இணைந்து நிகழ்த்திய சோதனைகளில் இருந்து, வன்மையான விண்வெளிக் கதிர்கள் உண்மையிலேயே புதுவகைத் துகள்கள் என்ற தெளிவு பிறந்தது. இவை முதலில் மையான்கள் என்றே கருதப்பட்டன. பிறகு அவற்றின் தன்மைகள் ஆராயப்பட்டு அவை மைய சக்திக்கு உட்படாத வேறுவகையான புதிய துகள்கள் என்ற முடிவுக்கு அறிவியல் உலகம் வந்தது. அத்துகள்களே உதிரான்கள் என மேலே குறிக்கப்பட்டன.

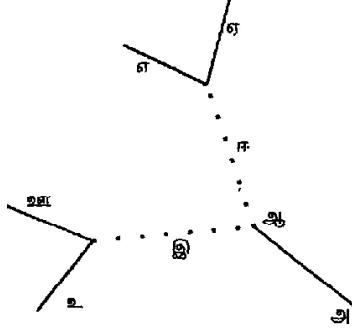
விண்வெளிக் கதிர்களில் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்ட புதிய துகள்கள் மையான்களோ என்ற குழப்பத்தை முற்றிலும் நீக்கி, அவை மையான்கள் இல்லை என்று உறுதியாக நிறுவிய ஒரு சோதனை 1946-ஆம் ஆண்டு இறுதியில் நிகழ்த்தப்பட்டது. அச்சோதனையை நிகழ்த்தியவர்கள் கோன்வேர்ஸி, போஞ்சீனி, பிச்சோனி என்ற மூவர்¹⁰. காந்த ஆடிகள் மூலம் விண்வெளிக் கதிர்களைத் திசைதிருப்பி, ஒரு கரியியம் கட்டிக்குள் அவற்றை நுழையச் செய்து அவர்கள் சோதித்தனர். கரியியம் கட்டிக்குள் செலுத்தப்பட்ட விண்வெளித் துகள்கள் மையான்களாக இருக்குமேயானால், அவற்றுள் நேர்மின்பொதிவு கொண்ட நேர்-மையான்கள் புறந்தள்ளப்பட்டு, எதிர்மின்பொதிவு கொண்ட எதிர்மையான்கள் மட்டுமே கரியியம் அணுக்களால் உட்கொள்ளப்படும் என்பது அவர்கள் துணிபு. காரணம், நேர் - மையான்கள், கரியியம் அணுக்கருக்களின்

நேர்மின்பொதிவால் மின்காந்தத் தவிர்ப்பு சக்திக்கு உள்ளாகித் தள்ளப்படும். அத்தவிர்ப்பு சக்தியை மீறிக் கரியியம் கருக்களின் மைய சக்தி எல்லையை அவை நெருங்கவே முடியாது. எனவே நேர்மையான்கள் திசைதிருப்பப்பட்டுப் புறந்தள்ளப்படும். அதே நேரத்தில், எதிர்மையான்கள் கரியியம் கருக்களின் நேர்மின்பொதிவால் மின்காந்த ஈர்ப்புக்கு உள்ளாகிக் கவரப்பட்டு, மேலும் விரைவு பெற்றுக் கரியியம் கருக்களை நெருங்கி, அவற்றின் மையப் புலத்தின் ஆளுமைக்குள் வந்ததும் மைய சக்தியின் வல்லாற்றலால் மேலும் ஈர்க்கப்பட்டுக் கரியியம் அணுக்களால் உட்கொள்ளப்பட்டுவிடும். ஆனால் மேற்சொன்ன சோதனையின் விளைவு அப்படி அமையவில்லை. மாறாக, விண்வெளிக் கதிர்களின் நேர்மின் துகள்களும், எதிர்மின் துகள்களும் கரியியம் அணுக்கருக்களை நெருங்க முடியாமல் சுற்றிச் சுழன்று சிதைவுற்றன. எனவே அவை மையான்கள் இல்லை என்பது உறுதியாக நிறுவப்பட்டது.

இதைத் தொடர்ந்துதான் முன்பே சொல்லப்பட்டதுபோல், பவல் தலைமையில், ப்ரிஸ்டல் குழுவினர், மையான் துகளின் இருப்பை 1947-ஆம் ஆண்டில் நிறுவினர். அவர்கள் நிகழ்த்திய சோதனையில் எடுக்கப்பட்ட புகைப்படம் ஒன்று, 'நேச்சர்' என்ற அறிவியல் இதழில் வெளியானது. இப்புக்கைப்படத்தில், விண்வெளிக் கதிர்களின் கனரகத் துகள் ஒன்று, வேக ஒடுக்கம் செய்யப்பட்டுப் புகைப்படத்தின் மையப் பகுதியில் ஒரு நிறுத்தத்துக்கு வந்து, சற்றே கனம் குறைந்த வேறொரு துகளாகச் சிதைவுற்றுத் திரிபடைந்த நிகழ்வு புலப்பட்டது. ராபர்ட் மார்ஷக் என்பவரும், பேத்ஹு என்பவரும் இணைந்து, இப்புக்கைப்படம் கூட்டிய நிகழ்வை ஆய்ந்து, ஒரு துணிபை முன்மொழிந்தனர்¹¹. முதலில் தென்பட்டு மறைந்தது மையான் என்றும், அதன் சிதைவில் உருவான சற்றே கனம் குறைந்த துகள்தான் 1936-ஆம் ஆண்டு ஆன்`டர்ஸன், நெடர்மெயரால் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்ட துகள் (உதிரான்) என்றும் அவர்கள் விளக்கினார்கள்.

விண்வெளிக் கதிராய்வின் அடுத்த கட்டம் இன்னொரு புதிய வகை அடிப்படைத் துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதே. இது 1946-ஆம் ஆண்டு நிகழ்ந்தது. ரா'சஸ்டர், பட்லர் என்றிருவர் ஒரு சோதனையில் ஈடுபட்டனர்¹². பதினொரு டன் எடையுள்ள ஒரு பெரிய மின்காந்தக் கல்லை ப்லேக்கெட் என்பவர் வடிவமைத்திருந்தார். அதுவே இச்சோதனையில் பயன்படுத்தப்பட்டது. அக்கல்லினால் திசைதிருப்பப்பட்ட விண்வெளித் துகள்கள் ஓர் உறைபனிக் கூடத்தின் உள்ளே செலுத்தப்பட்டன. அவ்வாறு செலுத்தப்பட்ட துகள்கள், உறைபனிக் கூடத்திலிருந்து புகைப்படத் தகட்டில் தடங்கள் ஏற்படுத்தின. இப்படிக் கிடைத்த பல நூறு புகைப்படத் தகடுகளில் இரண்டு புகைப்படங்கள் மட்டும் ஒரு விந்தை நிகழ்வைப் புலப்படுத்தின. அவற்றில் புலப்பட்ட

தடங்கள் கிட்டத்தட்ட கீழே உள்ளவாறு அமைந்திருந்தன.



(படம் 16)

(மூலத்தில் புள்ளித் தடங்கள் இல்லை. அந்த இடங்கள் காலியாக இருக்கும். இங்கே வசதிக்காகப் புள்ளிகள் இடப்பட்டுள்ளன.)

மேலே உள்ள படத்தில் 'அ-ஆ' என்பது ஒரு தடம். ஏதோ ஒரு மின்பொதிவு கொண்ட துகள் இத்தடத்தை ஏறப் படுத்தியிருக்க வேண்டும். 'ஆ' என்ற புள்ளிக்கு மேல் அத்தடம் வளராமல் புகைப்படத் தகட்டில் சிறிது தொலைவு வரை காலி இடமாகத் தென்பட்டது. 'ஆ' என்ற புள்ளியிலிருந்து சற்றுத் தொலைவில் 'வி' என்ற ஆங்கில எழுத்தைப்போல் இரண்டு தடங்கள் காணப்பட்டன. இவற்றுள் ஒன்று 'உ-ஊ' என்றும், மற்றொன்று 'எ-ஏ' என்றும், மேலே உள்ள படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. இத்தடங்களில் இருந்து ஓர் உண்மை தெளிவாகியது. 'அ' என்ற புள்ளியிலிருந்து 'ஆ' என்ற புள்ளி வரை, தடம்பதித்துச் சென்ற ஓர் எதிர்மையான், 'ஆ' என்ற புள்ளியில் ஒரு நேராணைச் சந்திக்க நேர்கிறது. இந்தச் சந்திப்பில் எதிர்மையான், நேரான் இரண்டுமே சிதைகின்றன. அச்சிதைவில் மின்பொதிவில்லாத இரண்டு துகள்கள் உருவாகி, 'ஆ' என்ற புள்ளியிலிருந்து பிரிந்து செல்கின்றன. மின்பொதிவு இல்லாத துகள்கள் புகைப்படத் தகட்டில் தடம் விளைவிப்பதில்லை. எனவே இவை சென்ற பாதைகளில் தடம் புலப்படவில்லை. இருந்தாலும் அப்பாதைகள் நம் வசதிக்காக புள்ளிப் பாதைகளாக மேலே உள்ள படத்தில் 'இ' என்றும், 'ஈ' என்றும் குறிக்கப்பட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளன. சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகு, அதாவது சற்று தூரம் சென்ற பிறகு, மின்பொதிவற்ற இரண்டு

துகள்களும் சிதைந்து, அவை ஒவ்வொன்றின் சிதைவிலிருந்தும் இரண்டு வேறுவேறு துகள்கள் உருவாகி, அப்படி உருவான துகள்களால் 'உ-ஊ' என்ற 'வி' வடிவத் தடமும், 'எ-ஏ' என்ற 'வி' வடிவத் தடமும் தென்பட்டன. புள்ளித் தடங்களால் குறிக்கப்பட்டுள்ள, மின்பொதிவில்லாத இரண்டு துகள்களும், இதுவரை கண்டுபிடிக்கப்பட்ட எந்தத் துகளாகவும் இன்றிப் புதிய துகள்களாக இருக்கவேண்டுமென்று துணிபு செய்யப்பட்டது. இவ்விரு துகள்களும் மிகக் குறுகிய ஆயுட்காலம் கொண்டவை என்பது மேலேயுள்ள படத்திலிருந்து தெளிவாகிறது. புகைப்படத் தகட்டுக்குள் தோன்றி, அத்தகட்டுக்குள்ளேயே சிறிது தொலைவு சென்ற பின் இவை சிதைந்து, அச்சிதைவுகளில், மின்பொதிவு கொண்ட, 'உ', 'ஊ', 'எ', 'ஏ' என்ற நான்கு துகள்கள், உருவாகி விரைந்ததையும் புகைப்படம் தெளிவாக்கியது. புள்ளித் தடங்களால் குறிக்கப்பட்ட மின்சீர்மையுடைய துகள்களின் ஆயுட்காலம் கிட்டத்தட்ட 10^{-10} வினாடிகள் என்று நுட்பமாகக் கணிக்கப்பட்டது. இது மிகக் குறைந்த ஆயுட்காலமாகத் தோன்றலாம். ஆனால் இத்துகள்கள் உருவாக எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தோடு ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் இவற்றின் ஆயுட்காலமாகிய 10^{-10} வினாடிகள் மிக நீண்ட ஆயுட்காலமாகத் தெரிகிறது. 'ஆ' என்ற புள்ளியில் ஓர் எதிர்மையானும், ஒரு நேரானும் சந்தித்துக்கொண்டு, அவ்விரண்டும் சிதைந்து, அவை சிதைந்த கணத்திலேயே இவ்விரண்டு புதிய துகள்களும் உருவாயின என்பதைப் புகைப்படம் விளக்குகிறது. நேரானும், எதிர்மையானும் சந்தித்துக்கொண்டு சிதைந்த கணத்திலேயே இவை உருவாயின என்று சொல்லப்பட்டாலும், கணித முறையில் மிகவும் நுட்பமாக இவை உருவாக எடுத்துக்கொண்ட கால அளவு கணிக்கப்பட்டது. அக்கால அளவு 10^{-23} வினாடிகள் என்று பெறப்பட்டது. இது நினைத்துக்கூடப் பார்க்க முடியாத அளவு மிகச்சிறிய காலம். சார்புக் கொள்கையின்படி ஒளியின் வேகம் நிலையானது. அந்த வேகத்தில், ஓர் அணுக்கருவைக் கடக்க, ஒளி எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் 10^{-23} வினாடிகள். ஓர் அணுக்கருவின் ஆரம், ஏற்கனவே கணிக்கப்பட்டிருந்ததால் ஒளியின் வேகத்தையும், அணுக்கருவின் விட்டத்தையும் ஒப்பிட்டு இந்தக் கால அளவு கணிக்கப்பட்டது. அணுக்கருவின் வல்லாற்றல் எல்லைக்குள் ஒரு நேரானும் ஒரு மையானும் வந்தவுடனேயே, அவ்வரவை, அவ்விரு துகள்களுக்குமிடையே பரிமாற ஒளி எடுத்துக்கொள்ளும் கால அளவே 10^{-23} வினாடிகள். எனவே இவ்விரு துகள்களும் 'ஆ' என்ற புள்ளியில் சந்தித்துக்கொண்டபோது, அவை ஒன்றையொன்று அறிந்து கொண்டு தொடர்பியக்கத்தில் ஈடுபட்டுச் சிதைந்து, இரண்டு புதிய துகள்கள் உருவாக 10^{-23} வினாடி கால அளவு தேவைப்படுகிறது. இப்படிக் கணிக்கப்பட்ட மிகக்குறுகிய காலத்தில் உருவாகும் இவ்விரு துகள்களும் தாம் உருவாக எடுத்துக்கொண்ட 10^{-23} வினாடிகளை விடக் கோடானு கோடி மடங்குக்குமேல் பெரிய அளவான 10^{-10} வினாடிகள் வாழ்கின்றன. அதாவது, அவற்றை உருவாக்கிய சக்தியின் ஆற்றலை விடக்

கோடானு கோடி மடங்குக்குமேல் குறைந்த ஆற்றல் உள்ள சக்தியே அவற்றின் சிதைவுக்குக் காரணமாகிறது. அதாவது, மையப் புலத்தின் வல்லாற்றல் சக்தியில் உருவாகி, ஆற்றல் குறைந்த மெல்லியக்கத்தால் சிதைவுறும் விந்தைத் துகள்களாக 'இ', 'ஈ' என்ற புள்ளித் தடங்களை ஏற்படுத்திய துகள்கள் கருதப்பட்டன. இப்படி, வல்லியக்கத்தில் உருவாகி, மெல்லியக்கத்தில் சிதையும் குணத்தை 'விந்தைக் குணம்' என்றும், இந்தக் குணம் கொண்ட துகள்களையெல்லாம், 'விந்தைத் துகள்கள்' என்றும் சொல்லலாம். இவற்றைப் போலவே விந்தைக் குணமுடைய வேறு துகள் களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இந்தத் துகள் களுக்கெல்லாம் ஆங்கிலத்தில் அவரவர் விருப்பம்போல் பெயர் சூட்டப்பட்டன. பல பெயர்கள் க்ரேக்க மொழியின் எழுத்துக்களால் குறிக்கப்பட்டன. இவற்றுக்கெல்லாம் தமிழில் நாமும் விருப்பம்போல் பெயர் சூட்டிக்கொள்ளலாம். ஐந்து, ஆறு பெயர்கள் தேவைப் படுவதாலும், அவ்வப்போது நினைவுகூரத்தக்க பெயர்களை நினைவுபடுத்தும் வகையிலும், பண்டைத் தமிழ் இலக்கணத்தில் சொல்லப்பட்டுள்ள ஐந்து வகைப்பட்ட நிலப்பரப்புகளின் பெயர்களை இத்துகள்களுக்குச் சூட்டலாம். மேற்சொன்ன படத்தில் 'இ' என்ற புள்ளித் தடத்தால் குறிக்கப்பட்ட துகளைக் 'குறிஞ்சி' என்றும், 'ஈ' தடத்தால் குறிக்கப்பட்ட துகளை 'மருதம்' என்றும் அழைக்கலாம்.

ஒளிரானைத் தவிர, இதுவரை குறிப்பிடப்பட்ட துகள்களை, வசதி கருதி மூன்று குடும்பங்களாகப் பிரித்துக்கொள்ளலாம். அவற்றை, கனத்தின் அடிப்படையில் குறிக்கலாம். அதிக கனமுடைய துகள்களைக் 'கனவான்கள்' என்று குறிப்பிடலாம். இப்பெயர் அவற்றின் கனத்தைக் குறிக்கும். அதன் முதலெழுத்து வல்லினத்தில் தொடங்குமாறு அமைந்துள்ளது. இவற்றைவிடச் சற்றே எடை குறைந்த நடுத்தர வர்க்கத்துக்கு இடையின முதலெழுத்தில் தொடங்குமாறும், அப்படிப்பட்ட துகள் ஒன்றை முதன்முதலாக முன்மொழிந்த உகாவாவை நினைவுகூரும் வகையிலும், 'யுகவான்கள்' எனப் பெயரிடலாம். 'உகாவான்' என்பதை விட 'யுகவான்' என்பது ஒலிப்பொருத்தத்தோடு உள்ளதால், அதையே பயன்படுத்தலாம். எடைமெலிந்த குடும்பத்துக்கு மெல்லெழுத்தில் தொடங்குமாறு 'மெல்லான்கள்' எனப் பெயரிடலாம். இவற்றுள் கனவான்களும், யுகவான்களும், வல்லியக்கம் என்ற கூட்டு வியாபாரத்தில் பங்காளிகள். எனவே, இந்த இரண்டு குடும்பங்களுக்கும் சேர்த்து ஆங்கிலத்தில் 'ஹேட்ரான்ஸ்' என்றொரு பெயர் இருப்பதுபோல், தமிழிலும் இவற்றை 'வல்லான்கள்' எனக் குறிப்பிடலாம்.

எனவே, வல்லான்கள், மெல்லான்கள் எனத் துகள்கள் இரண்டு வகைப்படும். வல்லியக்கத்தில் ஈடுபடுபவை வல்லான்கள்; ஈடுபடாதவை

மெல்லான்கள்.

துகள் அட்டவணை

குடும்பம்	பெயர்	குறியீடு	தற்சுழற்சி	கனம்	ஆயுட்காலம்	வி.எண்.	பகைத்துகள்
மெல்லான்	எதிரான்	எ	1/2	0.51	∞		புதிரான் பு ⁺
	உதிரான்	உ	1/2	106	1.5×10^{-6}		பகையுதிரான் உ ⁻
	சிற்பான் எற்பான் உற்பான்	எற் உற்	1/2 1/2	0 (?) 0 (?)	∞ ∞		
வல்லான் யுகவான்	மையான்	மை ⁰ மை ⁺ மை ⁻	0 0 0	135 140 140	0.7×10^{-16} 1.8×10^{-8} 1.8×10^{-8}	0 0 0	மை ⁰ மை ⁺ மை ⁻
	குறிஞ்சி	குறி ⁺ குறி ⁻	0 0	498 498	1.2×10^{-8} 6×10^{-8} 1×10^{-10}	1 1	
	ஈடா	ஈடா	0	548	$\sim 10^{-16}$	0	ஈடா
கனவான்	நேரான்	நே	1/2	938.2	∞	0	
	சீரான்	சீ	1/2	939.5	1013	0	
	மருதம்	மரு	1/2	1115	2.5×10^{-10}	-1	
	முல்லை	மு ⁺ மு ⁰ மு ⁻	1/2 1/2 1/2	1190 1192 1196	0.8×10^{-10} $\sim 10^{-20}$ 1.6×10^{-10}	-1 -1 -1	
	நெய்தல்	நெய் நெய்	1/2 1/2	1311 1319	10^{-10} 1.3×10^{-10}	-2 -2	
	பாலை	பா	3/2	1676	$\sim 10^{-10}$	-3	

வல்லான்களில், கனம் அதிகம் கொண்டவற்றைக் கனவான்களாகவும், கனம் குறைந்தவற்றை யுகவான்களாகவும் குறிப்பிடலாம். மேற்படி முறைப்பாட்டை ஓர் அட்டவணை மூலம் விளங்கிக்கொள்ளலாம்.

1936-ஆம் ஆண்டு ஆன்'டர்ஸன், நெடர்மெயர் ஆகியோரால் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்ட 'உதிரான்' என்ற துகள் முதலில் யுகவான் குடும்பத்தைச் சேர்ந்தது என்றே கருதப்பட்டது. அதன் கனம் காரணமாக அக்கருத்து நிலவியது. ஆனால், அது வல்லியக்கத்தில் ஈடுபடுவதில்லை என்று சோதனை மூலம் நிறுவப்பட்ட பிறகு அது மெல்லான் குடும்பத்தில் சேர்க்கப்பட்டது¹³.

மீண்டும் விந்தைத் துகள்கள் பற்றி நோக்குவோம். 1946-ஆம் ஆண்டு, ரா'சஸ்டர், பட்லர் நிகழ்த்திய சோதனைகளில் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்ட இவை வல்லியக்கத்தால் உருவாகின்றன; ஆனால், வல்லியக்கத்தால் சிதையாமல் மெல்லியக்கத்தால் சிதைகின்றன. இவற்றை உருவாக்கும் வல்லியக்கசக்தியால் ஏன் இவற்றைச் சிதைக்க முடிவதில்லை? இக்கேள்விக்கு விடை கிடைக்கப் பத்தாண்டுகள் ஆயின. விடை சொன்னவர் மரே கெல் - மான்¹⁴.

கெல்-மான் விந்தைத் துகள்களுக்கு 'விந்தை எண்' என்ற புதிய துளியெண் ஒன்றைத் தந்தார். நேர்க்குறிஞ்சி, சீர்க்குறிஞ்சி ஆகிய இரண்டு துகள்களுக்கும் விந்தை எண் '+1' என்றும், மருதம், முல்லை, எதிர்க்குறிஞ்சி, பகைக்குறிஞ்சி ஆகிய நான்கு துகள்களுக்கும் விந்தை எண் '-1' என்றும், நெய்தல் துகளுக்கு விந்தை எண் '-2' என்றும் கெல் - மான் கொடுத்தார். அடுத்து, வல்லியக்க சக்தியும், மின்காந்த சக்தியும் விந்தையெண் பாதுகாப்பு விதிக்குக் கட்டுப்பட்டவை என்றும், மெல்லியக்க சக்தி மட்டும் இந்த விதியை மதிப்பதில்லை என்றும் கற்பித்துக்கொண்டார். விந்தையெண் பாதுகாப்பு விதி என்றால், ஓர் இயக்கத்திற்கு முன்பும், பிறகும், அவ்வியக்கத்தில் பங்குகொள்ளும் மொத்த விந்தையெண் மாற்றமடையக் கூடாது என்பதே. எனவே வல்லியக்க சக்தியால் ஒரு 'வி' துகள் உருவாகும்போது, கூடவே சமமான எதிர்க்குறி கொண்ட இன்னொரு விந்தைத் துகளும் உருவாக வேண்டும். அப்பொழுதுதான் 'வி' - பாதுகாப்பு விதி மீறப்படாமல் இருக்கும். நாம் மேலே வரைந்த படத்தில் ஒரு சீர்க்குறிஞ்சித் துகளும், ஒரு சீர்மருதத் துகளும் உருவாகித் தடம் பதிக்காமல் பிரிந்து சென்றதை 'இ', 'ஈ' என்ற புள்ளித் தடங்களால் நாம் குறிப்பிட்டது இங்கே நினைவுகூரத்தக்கது.

சீர்க்குறிஞ்சித் துகளின் 'வி' எண் +1. சீர்மருதத் துகளின் வி. எண், -1. இந்த இணையுருவாக்கத்தில் வி-எண் பாதுகாப்பு விதி மீறப்படவில்லை.

$$\begin{aligned} \text{மை}^- + \text{நே} &\rightarrow \text{மருதம்}^0 + \text{குறிஞ்சி} \\ (\text{வி.எண்}) \quad 0 + 0 &\rightarrow (-1) + (+1) = 0 \end{aligned}$$

மேற்கண்டவாறு வல்லியக்கத்தால் உருவாகும் சீர்மருதமும், சீர்க்குறிஞ்சியும் அதே சக்தியால் 10^{-23} வினாடிக்குள் சிதையாமல் நெடுநேரம் கழித்தே, அதாவது, 10^{-10} வினாடிகள் கழித்தே, மெல்லியக்கத்தால் சிதைவுறுவது ஏன்? இரண்டும் மின்சீர்மை கொண்ட துகள்களாகையால், ஒன்றையொன்று ஈர்த்துக்கொண்டு, சந்திக்க இயலாமல் அவை வேறுவேறு திசைகளில் விரைகின்றன. எனவே அவை தனித்தனியாகத்தான் சிதைவுற வேண்டும். அப்படிச் சிதையும்போது இவை ஒவ்வொன்றும் விந்தைக் குணம் இல்லாத துகள்களாகத்தான் மாறவேண்டும். எனவே, இவற்றின் தனித்தனிச் சிதைவுகளில் 'வி' பாதுகாப்பு விதி மீறப்படும்.

$$\begin{aligned} \text{மரு}^0 &\rightarrow \text{மை}^- + \text{நே} \\ -1 \quad 0 \quad 0 \\ \text{குறி}^0 &\rightarrow \text{மை}^- + \text{மை}^+ \\ +1 \quad 0 \quad 0 \end{aligned}$$

எனவே 'வி' - பாதுகாப்பு விதியை மீறமுடியாத வல்லியக்கத்தாலும், மின்காந்த இயக்கத்தாலும் இச்சிதைவுகள் நடைபெற வாய்ப்பில்லை. இவை 'வி'-பாதுகாப்பு விதியை மீறக்கூடிய மெல்லியக்கத்தால் மட்டுமே நிகழக்கூடும். இதுவே கெல் - மான் தந்த விளக்கம்.

கிட்டத்தட்ட இதே காலகட்டத்தில், ஜப்பானைச் சேர்ந்த நிஷிஜிமா என்பவரும் இது போன்ற ஒரு விளக்கத்தை வெளியிட்டிருந்தார்¹⁵.

விந்தை என்பது மெய்யாகவே ஒரு குணமா என்ற ஐயம் எழக்கூடும். முல்லைத் துகள்கள் இந்த ஐயத்தைத் தீர்த்து வைத்தன. துமியியலின்படி, 'வி' எண் கொண்ட ஒரு துகளின் பகைத்துகள், அதற்குச் சமமான எதிர்க்குறி கொண்ட 'வி'-எண் உடையதாக இருக்கவேண்டும். ஆனால் மேற்சொன்ன முறைப்பாட்டில் நேர்முல்லை, எதிர்முல்லை, சீர் முல்லை ஆகிய மூன்றுமே -1 என்ற 'வி' - எண் கொண்டவை. ஆகவே துமியியலின்படி இம்மூன்றுக்கும் தனித்தனியே மூன்று பகைத்துகள் கள் இருந்தாக வேண்டும். அவற்றைப் பகைநேர் முல்லை, பகையெதிர் முல்லை,

பகைச்சீர்மூல்லை எனக்கொண்டு, $\overline{\mu}^+$, $\overline{\mu}^-$, $\overline{\mu}^0$ எனக் குறியீடு செய்துகொள்ளலாம். மையான்களைப் பொறுத்தவரை, அவற்றுக்கு 'வி' எண் கிடையாது என்பதால், $\overline{\mu}^+$, $\overline{\mu}^-$ இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று பகைத்துக்கள். $\overline{\mu}^0$ என்பதன் பகைத்துக்கள் $\overline{\mu}^0$ என்பதுதான். மேற்சொன்னவாறு பகைநேர்மூல்லை, பகையெதிர்மூல்லை, பகைச்சீர்மூல்லை எனத் தனித்தனியே மூன்று துகள்கள் உள்ளன என்று நிறுவப்பட்டதால், 'வி'-எண் என்பது மெய்யான ஒரு குணமாகவே ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது.

இந்நூற்றாண்டுத் தொடக்கத்தில், 'மிச்ச மின்கசிவு' என்ற புதியில், விண்வெளிக் கதிராய்வு, தோற்றம் கொண்டது; பலூன்களில் பறந்தும், படகுகளில் பயணம் செய்தும் உண்மையைக் கண்டறிய வேண்டும் என்ற துணிவில் வளர்ந்தது; பிறகு புதிய அடிப்படைத் துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட உதவியாக இருந்து ஏற்றம் பெற்றது. அந்த ஆய்வு உச்ச நிலையை அடைந்தபோது, பலத்த போட்டியொன்று முளைத்தது. ஓரளவுக்கு மேல் ஆற்றல், விண்வெளிக் கதிர்களில் மட்டுமே கிடைத்துக் கொண்டிருந்த நிலை மாறி, அளவில் பெரிய துகளூக்கிப் பொறிகள் மிகவுயர்ந்த ஆற்றல் நிலைகளை உருவாக்கத் தொடங்கின. அப்படி உயர்ந்த ஆற்றல் நிலைகளில் துகள்கள் விரைவுந்து செய்யப்பட்டபோது, புதிய புதிய துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இந்தப் போட்டியைக் குறித்து, 1953-ல் நடைபெற்ற ஒரு மாநாட்டில், விண்வெளிக்கதிர் ஆய்வாளர் ஒருவரால், கீழ்வருமாறு குறிப்பிடப்பட்டது.

*வேகம் குன்றாமல் நாம் ஓடவேண்டும். நம்மைத் துரத்தி வருகின்றன, பொறிகள்!*¹⁶

குறிப்புகள்:

1. *Physik. Zeits* 2, No.38, 22.06.1901, page 560.
2. *Physical Review* 16, 1903, page 183.
3. *Physik. Zeits* 11, No.18, 15.09.1910, page 811.
4. *Physik. Zeits* 13, Nos.21/22, 01.11.1912, page 1090.
5. *Vehand. der Deutsch. Physik. Ges.*, 16, No.14, 30.07.1914, page 719.
6. *Proc. of Nat. Ac. Sci.*, 12, 1926, page 48.
7. *Zeitschr. f. Phys.*, 56, No.11/12, 16.08.1929, page 751.
8. D.J.X. Montgomery, "Cosmic Ray Physics": Princeton University Press, 1949.

9. *Proceedings of Royal Society*, A159, 1937, page 432.
10. *Physical Review* 71, 1947, page 209.
11. *Physical Review* 72, 1947, page 506.
12. *Nature*, 160, 1947, page 855.
13. O. Piccioni: “*The Birth of Particle Physics*”, ed. L. M. Brown and L. Hodderson, Cambridge University Press, 1983, Page 222.
14. Murray Gel-Mann, ‘*Strange Number*’, *Nuovo Cimento* 4, Supplement, 1956, page 848.
15. *Programme in Theoretical Physics*, 13, 1955, page 285.
16. Leprince-Ringuet, *Bagneres de Bigorre*, July, 1953, Typescript, page 289.

24. இடமும் வலமும்

எவ்வளவு வேகமாக ஓடிவந்துவிட்டோம்! இன்னும் இலக்கை அடையவில்லை. மலைத்துப் போய், மூச்சிரைக்க, நின்றுவிட்டோமே! 1896-ஆம் ஆண்டில் நாம் குறித்துக்கொண்ட இலக்கு என்ன? அது எவ்வளவு எளிமையாகத் தோன்றியது! ஆனால் அதை நோக்கிச் செல்லச் செல்ல, அது ஏன் தன் எளிமையை உதறி விட்டு, உருமாறிக்கொண்டே, விலகிவிலகிச் செல்லவேண்டும்? புலப்படும் பொருள்கள் எல்லாம் அணுக்கள் என்ற அடிப்படைத் துகள்களால் ஆனவை என்று நம்பி, அப்படிப்பட்ட அணுவைக் கண்டறியத்தானே நாம் ஓடத் தொடங்கினோம்? சரி, அணுவுக்குள் எதிரான், நேரான் என்ற இரண்டு அடிப்படைத் துகள்கள் உண்டென்று தெரியவந்தது. 'அதனால் என்ன? இரண்டுதானே! அவற்றை அறிய முற்பட்டால் போகிறது!'. இப்படிக் கருதித்தானே ஓட்டத்தைத் தொடர்ந்தோம்? 'சீரான்' என மூன்றாவது துகள் முன்வந்து நின்றதும், சற்றே முகம் சுளித்தோம். 'பரவாயில்லை, முயற்சியைக் கைவிடாமல் தொடர்வோம்', என்றுதானே மேலும் ஓடினோம். திடீரென்று புதிர்போல ஒரு புதிரான் முளைத்தது; புரிந்துகொள்ள முடியாமல் தவித்தோம். மேலும் சிக்கலை விளைவிக்கச் சிற்றான் என்றொரு சிறுமி, சிற்றாடை கட்டிக்கொண்டு, எதிரில் வந்து நின்று, சிரித்ததும் செயலிழந்தோம். நாம் அயர்ந்துவிட்ட நேரம் பார்த்து, உளுத்துப் போன உத்தரத்தில் இருந்து உதிரும் கரையான்களைப்போல், உதிரான்களாம்! மையான்களாம்! குறிஞ்சி, மருதம், நெய்தல் என்றெல்லாம் பல பொடியன்களாம்! எப்படி உதிர்ந்துவிட்டன, துகள்கள்! அதிர்ந்து போய் நிற்கிறோம். எப்படி மேலே செல்வது?

ரதர்`ஃபர்ட் வந்து ஆறுதல் சொல்கிறார் :

விடா முயற்சி தேவையப்பா. நான் அகரத் துகள்களால் அணுவை விடாமல் தாக்கிக்கொண்டே இருந்ததால்தானே அணுக்கருவைக் கண்டுபிடித்தேன். நீயும் விடாமல் தாக்கிக்கொண்டே இரு.

எதைத் தாக்குவது? மீண்டும் ரதர்`ஃபர்ட்:

உன் முன் நின்றுகொண்டு உன்னை ஏளனம் செய்யும் துகள்களை

ஒன்றோடொன்று மோதவிட்டுத் தொடர்ந்து தாக்கு.

எப்படித் தாக்குவது?

நீ தான் பெரிய பெரிய பொறிகளை, எந்திரங்களைக் கட்டக் கற்றுக் கொண்டு விட்டாயே. அவற்றை நாடு. தாக்கு, தாக்கு....

ரதர்ஃபர்ட் மெல்ல மறைகிறார். ஆனாலும் அவர் தந்த ஊக்கம் நம்மை மேலும் முன்னேறச் செய்கிறது.

கிணற்றுக்குள் கயிற்றால் பிணிக்கப்பட்ட வாளியை இறக்கி, நீர் முகந்துமுகந்து கொட்டி, அயர்ந்தபோது, நம் அயர்வைப் போக்கிப் பணியை எளிமை செய்து, நமக்கு உதவியது ஒரு ராட்டினம்தானே! தோளில் சுமந்து செல்ல முடியாத பளுவைத் தள்ளியும் இழுத்தும் செல்ல உதவியவை நாம் கண்டுபிடித்த சக்கரங்கள் அல்லவா? பொறிகளை நாடுவோம். நாடினோம். வெற்றி கிட்டியது.

ரதர்ஃபர்ட் அகரத் துகள்களைச் செலுத்திய வேகத்தைக் காட்டிலும் பல்லாயிரம் மடங்கு அதிக வேகத்தில் துகள்களைச் செலுத்தி, மோதவைக்கும் துகளூக்கிகள் பிறகு கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. சில நூறு எதிரான் வோல்ட் ஆற்றலுடன் மட்டுமே அகரத் துகள்கள் செலுத்தப்பட்ட ரதர்ஃபர்ட் காலத்திலிருந்து, இப்பொழுது நாம் வெகு தொலைவு முன்னேறி வந்துவிட்டோம். இந்த முன்னேற்றத்துக்கு முதற்படி அமைத்துத் தந்தவர், லாரன்ஸ். 1930-ஆம் ஆண்டு, அவர் வடிவமைத்துத் தந்த 'சைக்லோட்ரான்' என்ற பெரிய துகளூக்கியே பல புதிய துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட முதற்காரணமாய் இருந்தது. இதற்காக, அவருக்கு 1939-ஆம் ஆண்டு, நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது. 1957-ல், அறுபது கோடி எதிரான் வோல்ட், அதாவது 600 மி. ஆற்றலில் துகள்களைச் செலுத்தக்கூடிய துகளூக்கி ஜெனிவா நகர்ப்புறத்தில் நிறுவப்பட்டது. 1984-ல் எட்டு லட்சம் மி. ஆற்றலில் துகள்களைச் செலுத்தக்கூடிய துகளூக்கி இல்லிநாய்ஸ் என்ற இடத்தில் நிறுவப்பட்டது. இப்படிப்பட்ட ஆற்றல் மிக்க துகளூக்கிகளால் பல புதிய துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. மேலும் துகள்களின் புதுவிதமான சிதைவுகளும், உருவாக்கங்களும் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டன. துகள்களின் எண்ணிக்கை பெருகிய வண்ணம் இருந்தது. அப்போது எழுந்த ஒரு குழப்பத்தை விரிவாக நோக்க வேண்டியுள்ளது. அது பற்றி விளங்கிக்கொள்வதற்கு முன் 1953-ல் விண்வெளிக்கதிர் ஆய்வு பற்றி நடந்த ஒரு மாநாட்டில் அறிவிக்கப்பட்ட புதிய இரண்டு

துகள்கள் பற்றித் தெரிந்துகொள்ளவேண்டும். அவை 'டாவ்' என்றும், 'தீட்டா' என்றும் அழைக்கப்பட்டன. இரண்டும் ஒரே கனம் உடையவையாகவும், ஒரே அளவு ஆயுட்காலம் உடையவையாகவும் இருந்தும், சிதையும் விதங்களில் மட்டும் அவற்றிடையே சிறிய வேற்றுமை புலப்பட்டது. இரட்டை வேடம் ஏற்று நடக்கும் ஒரே துகளோ என வியக்க வைத்த இவற்றைத் தமிழில் 'சிலம்பு' என்றும், 'மணி' என்றும் அழைப்பது பொருத்தமாக இருக்கும்.

சிலம்பின் சிதைவில் மூன்று மையான்களும், மணியின் சிதைவில் இரண்டு மையான்களும் உருவாகும் வேற்றுமையால் ஒரு குழப்பம் ஏற்பட்டது. இதைச் 'சிலம்பு-மணிக் குழப்பம்' என அழைக்கலாம். அது என்ன குழப்பம்? 'ஆற்றல்-கன இழப்பின்மை விதி', 'மின்பொதிவு இழப்பின்மை விதி' ஆகியவற்றைப் போன்ற இன்னுமோர் அடிப்படை விதி இத்துகள்களின் சிதைவில் மீறப்படுவதாகத் தோன்றியதே அக்குழப்பத்துக்குக் காரணம். அது என்ன அடிப்படை விதி என்பதைக் காண்போம். துகள்களுக்கிடையே நடக்கும் எந்த ஓர் இயக்கத்திலும், அவ்வியக்கத்துக்கு முன்பிருந்த ஆற்றல்-கனக் கூட்டுத் தொகையும், விளைதுகள்களின் ஆற்றல்-கனக் கூட்டுத் தொகையும் சமமாகவே இருக்க வேண்டும் என்பது போலவும், அவ்வியக்கத்துக்கு முன்பிருந்த துகள்களின் மொத்த மின்பொதிவும், விளைதுகள்களின் மொத்த மின்பொதிவும் சமமாகவே இருக்கவேண்டும் என்பது போலவும், சிதைதுகள்களின் மொத்த திசைச்சமன எண்ணும், விளைதுகள்களின் மொத்த திசைச்சமன எண்ணும் சமமாகவே இருக்கவேண்டும். அதாவது, எந்த ஓர் இயக்கத்திலும், மொத்தத் திசைச்சமன எண் குறைவதோ, கூடுவதோ இல்லை என்ற ஓர் அடிப்படை விதி இயற்கையில் உள்ளதாகக் கருதப்பட்டது. இதைத் 'திசைச்சமனப் பாதுகாப்பு விதி' என்று அழைக்கலாம்.

திசைச்சமனம் என்றால் என்ன? ஆற்றல், கனம், மின்பொதிவு இவற்றைப்போல், அது, எளிதில் புரிந்துகொள்ளப்படக்கூடிய குணமில்லை. அதற்குக் கணித நோக்கில் விரிவான, ஆழமான பொருளிருந்தாலும், இந்நூலின் நிலைக்கு ஏற்ப அதைச் சற்று எளிமையாக, ஓரளவு, புரிந்துகொள்ள முயல்வோம். ஓர் அறிவியல் நிகழ்வை வலம் - இடம் ஆகவும், கீழ்மேலாகவும், முன்பின்னாகவும் முழுமையும் திருப்பி வைப்பதால் அவ்வியக்கத்தில் எந்த மாற்றமும் நிகழ்வதில்லை என்பதே திசைச்சமனப் பாதுகாப்பு விதி. இந்த விதியை இன்னும் நுட்பமாக இயல்பியற் கணித நோக்கிலும், விளங்கிக்கொள்ள முயல்வோம்.

ஒரு பொருளின் இடக்குறிப்பைக் கணிக்க மூன்று அளவைகள் தேவை.

குறிப்பிட்ட ஒரு புள்ளியிலிருந்து, நீளவாட்டிலும், பக்கவாட்டிலும், உயரவாட்டிலும் எவ்வளவு தொலைவு தள்ளி ஒரு பொருள் உள்ளது என்ற மூன்று அளவைகளைக் கொண்டே அப்பொருளின் இருப்பிடத்தைச் சரியாகக் கணிக்க முடியும். இந்த மூன்று வாட்டங்களின் மதிப்புகளும் இயங்காநிலையில் உள்ள ஒரு துகளுக்கான ஷ்ரூடிங்கர் அலைச்சமன்பாட்டில் இடம் பெறுகின்றன. இச்சமன்பாட்டில், ஒரு துகளின் மூன்று வாட்டங்களுக்கான மதிப்புகளுக்கும், எதிர்மறைக் குறியீடுகள் போட்ட பிறகும் அந்தச் சமன்பாடு மாறவில்லை என்றால் அத்துகளின் திசைச்சமன எண் +1; மாறினால் அந்த எண் -1. இப்படியாகப் புதிய துளியெண்முறை ஒன்று வகுக்கப்பட்டிருந்தது. ஓர் இயக்கக் குறியீட்டின் இடப்புறத்தே உள்ள தி.ச.எண்களின் பெருக்கல் தொகைக்கான கணிதக் குறியீடும், வலப்புறத்தே உள்ள தி.ச.எண்களின் பெருக்கல் தொகைக்கான கணிதக் குறியீடும் ஒன்றாகவே இருக்கவேண்டும் என்பதே தி.ச.பாதுகாப்பு விதி.

இப்பொழுது சிலம்பு - மணிக் குழப்பத்துக்கு வருவோம். சிலம்பு சிதைந்து மூன்று மையான்களாகவும், மணி சிதைந்து இரண்டு மையான்களாகவும் மாறுகின்றன என்று மேலே சொல்லப்பட்டது. இயங்கா நிலையிலுள்ள ஒரு மையானின் தி.ச.எண் -1 என்று மேற்சொன்ன முறைப்படி ஏற்கனவே கணிக்கப்பட்டிருந்தது. இப்பொழுது சிலம்பு-மணி ஆகியவற்றின் சிதைவுகளைத் தி.ச.குறியீட்டின்படி கீழ்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\text{சிலம்பு} \rightarrow \langle -1 \rangle \times \langle -1 \rangle \times \langle -1 \rangle = -1$$

$$\text{மணி} \rightarrow \langle -1 \rangle \times \langle -1 \rangle = +1$$

அதாவது சிலம்பும் மணியும் ஒரே துகள் எனக்கொண்டால், சில நேரம் அதன் இயக்க விளைவின் தி.ச.எண், -1 ஆகவும், சில நேரம், +1 ஆகவும் இருப்பதே குழப்பத்திற்குக் காரணம். ஒரே துகள் எப்படி வேறு வேறு தி.ச.எண் கொண்டதாக இருக்க முடியும்? அப்படியிருக்க முடியுமென்றால், அத்துகள் தி.ச. பாதுகாப்பு விதியை மீறக்கூடிய துகள் என்றே கொள்ளவேண்டும். சிலம்பும், மணியும் ஒரே துகளில்லை, அவை வேறுவேறு துகள்கள் எனக் கொண்டால் இன்னொரு சிக்கல் ஏற்படுகின்றது. கனத்திலும், ஆயுட்காலத்திலும் சமமாக இரண்டு துகள்கள் இருக்க முடியாதே! இதுவே 1953-ல் நடந்த விண்வெளிக்கதிர் ஆய்வு மாநாட்டில் சுட்டிக் காட்டப்பட்ட குழப்பம். இக் குழப்பத்தை விளக்கி, விரிவான ஆய்வுத்தாள ஒன்றை டாலிட்ஜ்* என்பவர் வெளியிட்டார்¹. யாங் என்பவரும், லீ என்பவரும் இக்குழப்பத்தைத் தீர்ப்பதில் ஆர்வம் கொண்டனர். சிலம்பும், மணியும் வேறுவேறு துகள்கள் எனக் கொள்வதால் எழும் சிக்கல்களைத் தவிர்த்து, அவற்றை ஒரே துகளாகக் கருதி, அது தி.ச.பாதுகாப்பு விதியை மீறும் துகள்

எனக்கொண்டால் என்ன? தி.ச.பாதுகாப்பு விதி என்பது ஆற்றல் - கனப் பாதுகாப்பு விதி போலவோ, மின்பொதிவுப் பாதுகாப்பு விதி போலவோ மீறப்படாத ஓர் அடிப்படை விதியில்லை எனக் கொண்டாலென்ன? இப்படிச் சிந்தித்த அவர்கள், உகரக் கதிர்வீச்சு ஆய்வில் வல்லுநராகத் திகழ்ந்த 'வு' என்ற அம்மையாரிடம் இருந்து கதிரடுக்கியல் பற்றிய மிக விரிவான நூலொன்றை வாங்கி வந்தனர். அந்த நூலில்², நாற்பது ஆண்டுகளுக்கு மேலாக நிகழ்த்தப்பட்ட ஆயிரத்துக்கும் மேற்பட்ட கதிர்வீச்சுச் சோதனைகள் விளக்கப்பட்டிருந்தன. பல வாரங்கள் அந்த நூலோடு போராடி, அதில் விவரிக்கப்பட்டிருந்த சோதனைகளை எல்லாம் கூர்ந்து படித்த பிறகு, யாங், லீ, இருவரும் ஒரு முடிவுக்கு வந்தார்கள். ஓர் ஆய்வுத் தாளில் தங்கள் முடிவை அவர்கள் அறிவித்தார்கள்³. அதன் சாரம் பின்வருமாறு :

1. உகரக் கதிர்வீச்சு பற்றிய சோதனைகளில் தி.ச. பாதுகாக்கப்படுவதாக முதல் நோக்கில் தோன்றினாலும், நுட்பமாக அவற்றை ஆராய்ந்தால், அவற்றில் தி.ச. பாதுகாக்கப்படுவதில்லை என்றே தோன்றுகிறது.
2. மெல்லியக்கங்களில் தி.ச. பாதுகாக்கப்படுகிறதா என்பதை ஐயத்திற்கு இடமின்றி முடிவு செய்ய, இடம், வலம் என்ற இரு திசைகளை மெல்லியக்கங்கள் பாகுபடுத்துகின்றனவா என்பதைத் தெளிவு செய்யக்கூடிய ஒரு சோதனை நடத்தப்பட வேண்டும்.

அந்த ஆய்வுத்தாள் வெளியாகும் முன்பே, இந்தக் கருத்துகளை லீ, யாங் ஆகியோரிடமே நேரடியாகக் கேட்டறிந்த வு, அவ்விருவர் சுட்டிக்காட்டியது போன்ற ஒரு சோதனையை நடத்திப் பார்க்க முற்பட்டார். அச்சோதனையின் திட்டம் பின்வருமாறு:

- (அ) அணுக்கருக்களிலுள்ள தனித்தனித் துகள்களின் தற்கழற்சிகளை யெல்லாம் ஒருமுகப்படுத்த வேண்டும். அதாவது அவையனைத்தும் ஒரே திசையை நோக்கியிருக்குமாறு செய்யவேண்டும்.
- (ஆ) அதன்பிறகு உகரச் சிதைவு நிகழ்வைப் புலத்தேர்வு செய்யவேண்டும்.
- (இ) உகரக் கதிர்களில் வெளிப்படும் எதிரான்கள் எல்லாத் திசைகளிலும், ஏறக்குறைய சமமாகச் சிதறி விரைந்தால் அச்சிதைவில் தி.ச. பாதுகாக்கப் படுவதாகக் கொள்ளலாம்.
- (ஈ) அப்படியின்றி, அந்த எதிரான்கள் ஏதேனும் குறிப்பிட்ட ஒரு திசையிலேயே அதிக அளவில் சிதறி விரைந்தால், தி. ச. மதிக்கப்படவில்லை என்று கொள்ளலாம்.

கருவான்களை ஒருமுகப்படுத்துவது எளிய பணியில்லை. இதைச் செய்ய ஒரே வழி, சோதனைப் பொருளைக் கிட்டத்தட்ட முதற்கழி நிலைக்குக் குளிர்வித்துக் கொள்ள வேண்டும். அந்த நிலையில் சோதனைப் பொருளின் அணுக்கள் ஓரளவு ஆடாமல் அசையாமல் நிற்கும். அந்த அணுக்களில் உள்ள எதிரான்களை நுட்பமான ஒரு காந்தப் புலத்தின் உதவியோடு வேண்டியவாறு திருப்பி, அந்த எதிரான்கள் மூலம் கருவான்களை நகர்த்தித் திருப்பி, அவற்றை ஒருமுகப்படுத்தலாம். அவ்வாறு செய்தாலும் சில நிமிடங்களுக்கு மேல் இந்த நிலை நீடிக்காது. எனவே வெகு தீவிரமாகத் தற்சிதைவு கொள்ளும் ஒருவகைக் 'கோபால்ட்' என்ற அடிப்பொருளை வு தேர்ந்தெடுத்தார். கதிர்வீச்சில் வெளிப்படும் எதிரான்களைக் கண்டறிவதற்காக, எதிரான் பட்ட உடனேயே மின்னிப் பளிச்சிடக்கூடிய 'ஆந்த்ராசென்' என்ற பொருளே, துகள்களைப் பதிவு செய்யும் பொறியாகப் பயன்படுத்தப்பட்டது. மேலும் நான்கு வல்லுநர்கள் உதவியுடன் ஆறு மாதங்கள், வு, இச்சோதனையை நிகழ்த்தினார். அச்சோதனைகளில் வெளிப்பட்ட எதிரான்கள் பெரும்பாலும் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலேயே சிதறி விரைந்தன. அதே நேரத்தில் மேற்சொன்ன சோதனை பற்றி அறியாமலேயே, மேலும் இரண்டு அறிஞர் குழுக்கள், உதிரான் சிதைவை வைத்துக் கிட்டத்தட்ட மேலே சொன்னது போன்ற சோதனைகள் நடத்தி, மேற்சொன்ன விளைவையே புலத்தேர்வு செய்தனர். மூன்று குழுவினர் முடிவுகளும் அடுத்தடுத்து வெளியாகி அறிவியல் உலகை அதிர்ச்சிக்கு ஆளாக்கின⁴.

மின்காந்த இயக்கத்திலும், வல்லியக்கத்திலும், திசைச்சமனத்தை மீறாத இயற்கை, மெல்லியக்கத்தில் மட்டும் ஏன் அதை மீறவேண்டும்? ஒரு கடிதத்தில் இது பற்றிப் பௌலி தெரிவித்திருந்த கருத்து, இங்கே குறிப்பிடத்தக்கது:

கடவுள் இடதுகைப் பழக்கமுள்ளவர் என்பது கூட எனக்கு அதிர்ச்சி அளிக்கவில்லை. ஆனால் அப்படியிருந்தும் அவர் தம்மை வலிமையாக வெளிப்படுத்திக் கொள்ளும்போது இட-வலச் சீர்மை உடையவராகக் காட்டிக்கொள்வதே எனக்கு அதிர்ச்சி அளிக்கிறது.⁵

மெல்லியக்கத்தில் திசைகள் சமமாக மதிக்கப்படவில்லை என்றும், அதனால் சில விளைவுகள் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையையே பெரும்பாலும் தேர்ந்தெடுக்கின்றன என்றும் தெளிவாயின. மெல்லியக்கத்தில் தி.ச. பாதுகாப்பு விதி மீறப்படுவதால் அது மீறப்படவே முடியாத ஓர் அடிப்படை விதியில்லை என்பதை அறிவியல் உலகம் தயக்கத்துடன் ஒப்புக் கொள்ளவேண்டிய கட்டாயத்துக்கு உள்ளானது. இதைச் சரியானபடி முன்மொழிந்ததற்காக லீ, யாங் இருவருக்கும் 1957- ஆம் ஆண்டுக்கான

நோபெல் பரிசு பகிர்ந்தளிக்கப்பட்டது. சிலம்பும், மணியும் ஒரே துகள் என்று நிறுவப்பட்டதால், 'டாவ்' என்றும், 'தீட்டா' என்றும் அழைக்கப்பட்டவை, ஒரு துகளாகிக் 'கேயான்' என்ற ஒரே பெயரில் அழைக்கப்பட்டது. சில நேரங்களில் 'கே-மெஸான்' என்றும் இது அழைக்கப் படுகிறது. இதுதான் 'குறிஞ்சி' என்று நம்மால் ஏற்கனவே பெயரிடப்பட்ட துகள்.

மிகக்கடினமான ஒரு சோதனையை வடிவமைத்துத் திறம்படச் செய்து காட்டியும், பரிசு பெறாத, வு என்ற அம்மையாரை இங்கே நினைவுகூர்ந்து பாராட்டியே ஆகவேண்டும். தன் இடபாகத்தையே பெண்மைக்குத் தந்த இறைவன், இடவலச் சீர்மையின்றி இருக்கவே முடியாது. துகள்கள் எப்படி வேண்டுமானாலும் இருந்துவிட்டுப் போகட்டும். ஆண், பெண் என்ற வேறுபாடற்ற சீர்மை மனிதர்களாகிய நமக்குக் கட்டாயம் இருக்கவேண்டும்.

குறிப்புகள்:

1. *Philosophical Magazine* 44, 1954, page 1068
2. "Beta and Gama Ray Spectroscopy", ed. Siegbahn, K., Amsterdam, North Holland, 1955.
3. *Physical Review*, 104, 1956, page 254
4. a) *Physical Review*, 105, 1957, page 1413.
b) *Physical Review*, 105, 1957, page 1415.
c) *Physical Review*, 106, 1957, page 1290.
5. "Collected Scientific Papers of Wolfgang Pauli", Volume I, xvii – xviii, ed. Kronig and weisskoppf, Wiley Interscience, New York, 1964.

25. ஒற்றையா, இரட்டையா?

மெல்லியக்கம் பற்றிய கொள்கையின் விரிவுக்கு உகரக் கதிர்வீச்சே காரணமாய் அமைந்ததென மேலே கண்டோம். அதுவும், உகரக் கதிர்வீச்சியக்கத்தில் ஆற்றல் இழப்பின்மை விதி மீறப்படுகிறதோ என்று போர் முதலானோர் கருதியபோது, பௌலி குறிப்பிட்ட ஒரு கூற்றைப் பின்பற்றி, 'ஃபர்மி, அக்கதிர்வீச்சில் சிற்றான் வெளிப்படுவதாகக் கற்பித்துக்கொண்டு, ஆற்றல் இழப்பின்மை விதி மீறப்படவில்லையெனக் காட்டினார். அவர் வகுத்த கொள்கையின் விரிவாகவே மெல்லியக்கம் நிறுவப்பட்டது. அந்த இயக்கத்தில் ஆற்றல் இழப்பின்மை விதி மீறப்படாவிட்டாலும், தி.ச. பாதுகாப்பு விதி மீறப்படுவது மேற்சொன்னவாறு நிறுவப்பட்டது. அப்படி நிறுவப்பட்டதற்கு ஓராண்டுக் காலத்துக்கு முன்பே, அதாவது 1956-ல், சிற்றான் துகள் ஐயத்திற்கு இடமின்றிச் சோதனை மூலம் நிறுவப்பட்டது. அதுவரை சிற்றான் துகள் இருக்கக்கூடும் என்ற நம்பிக்கை மட்டுமே இருந்தது. எப்படியாவது சிற்றான் துகள்களைப் புலத்தேர்வுக்கு உட்படுத்த வேண்டுமென்று ரையன்ஸ் என்பவர் ஆர்வம் கொண்டார். மிக அதிக அளவு சிற்றான்கள் வெளிப்படுத்தப்பட்டால் அவற்றுள் ஏதேனும் ஒன்று ஒரு பதிவுப் பொறியில் நேரான ஒன்றைத் தாக்க நேரிடலாம்; அத்தாக்குதலில் நேரான சிதைந்து ஒரு சீரானும், ஒரு புதிரானும் உருவாகக்கூடும். ஆனால், இதற்காகப் பல்லாயிரம் கோடிக்கணக்கான சிற்றான் துகள்கள் வெளிப்படவேண்டும். ஓர் அணுகுண்டு வெடித்துச் சிதறுவதில் இந்த அளவு சிற்றான்கள் வெளிப்படக்கூடும். நல்ல வேளை! தம் சோதனைக்காக ரையன்ஸ் ஓர் அணுகுண்டு வெடித்துப் பார்க்கும் முயற்சியில் ஈடுபடவில்லை. அதற்கு மாறாக, அவரும் அவருடைய நண்பர் கவன் என்பவரும், 'அணுக்கரு எதிரியங்கி' என்ற பொறியைப் பயன்படுத்தி இப்படிப்பட்ட ஒரு சோதனையை நிகழ்த்தினார்கள். எதிரியங்கியில் இருந்து வெளிப்படும் கோடிக்கணக்கான சிற்றான்களை, மிகவும் நீர்த்துப் போன ஒரு வேதியின் கலவையில் செலுத்தினால், சீரான்களும், புதிரான்களும் உருவாகும். அப்படி உருவாகும் புதிரான்கள் அந்த வேதியின் அணுக்களில் உள்ள எதிரான்களுடன் மோத, எதிரான்களும், புதிரான்களும் மறைந்து, அதிக அளவில் ஒளிரான்கள் வெளியேறும். சீரான்கள் அந்த வேதியின் அணுக்கருக்களால் உட்கொள்ளப்பட்டு மேலும் அதிக ஒளிரான்களை வெளிப்படுத்தும். இதனால், நேரிணை கோடுகளாக, மிகவும் ஆற்றலுள்ள ஒளிக்கதிர்கள் இரண்டு வெளிப்படும். அதிக ஆற்றல் கொண்ட ஒளிக்கதிர்களால் தாக்கப்படும்போது மின்னிப் பளிச்சிடும் குணம் கொண்ட ஒரு வேதியினுள் இவ்விரண்டு ஒளிக்கதிர்களும் பாய்ச்சப்பட்டு,

ஒரே நேரத்தில் இரண்டு மின்னல்கள் பளிச்சிடும் நிகழ்வைக் கண்டறிவதே இச்சோதனையின் திட்டம்.

முதலில் இச்சோதனை வெற்றி தரவில்லை. ஆனால் பிற்பாடு மிகப் பெரிய அளவில் நிகழ்த்தப்பட்டபோது வெற்றி கிட்டியது¹. ஐயத்துக்கிடமின்றிச் சோதனை முறையில் சிற்றான் துகளின் இருப்பு நிறுவப்பட்டது.

சீரான் சிதைவுற்று உகரக் கதிர்கள் வெளிப்படும் நிகழ்வை ஃபர்மி விளக்கிய விதம் பற்றி முன்பே கண்டோம். அந்த விளக்கத்தால் மெல்லியக்க சக்தி என்ற நான்காவது அடிப்படை சக்தி நிறுவப்பட்டது பற்றியும் கண்டோம். உதிரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகு, அதுவும் மெல்லியக்கத்தாலேயே சிதைவுறுவது நிறுவப்பட்டது. ஓர் உதிரான் சிதைவில் மூன்று துகள்கள் உருவாகின்றன. ஒன்று சிற்றான்; இரண்டாவது பகைச்சிற்றான்; மூன்றாவது எதிரான் அல்லது புதிரான். சிதைந்த துகள் எதிருதிரான் என்றால், அதில் உதிக்கும் மூன்றாவது துகள் எதிரான். சிதைந்தது நேருதிரான் என்றால், உதிக்கும் மூன்றாவது துகள் புதிரான். இச்சிதைவுகளைக் கீழ்வருமாறு எழுதலாம்:

$$u^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e + p$$

$$u^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + n$$

மேற்சொன்ன சிதைவுகளும் நான்கு ஃபர்மியான் கொள்கையின்படி அமைகின்றன.

சென்ற அதிகாரத்தில், சிலம்பும், மணியும் ஒற்றையா இரட்டையா என்ற கேள்வி எழுந்தது நினைவிருக்கலாம். அதேபோல், இயல்பியலில், இன்னொரு முறையும், “ஒற்றையா இரட்டையா” விளையாட்டு நடந்தது.

சிற்றான் என்று ஒருவிதத் துகள் மட்டும் இருப்பதாகக் கருத்து நிலவியபோது, 1958-59 ஆண்டுகளில், இரண்டு விதமான சிற்றான்கள் உண்டோ என்ற ஐயம் எழுந்தது. முதலில் இந்த ஐயம், ஓர் ஆய்வுத் தாளில், ஓர் அடிக்குறிப்பாக மட்டுமே எழுப்பப்பட்டது². அத்தாளின் ஆசிரியர் ஃபெய்ன் பர்க். அது வெளியான ஆண்டு 1958. ஃபெய்ன் பர்க் ஒரு சோதனையில் ஈடுபட்டிருந்தார். நிழலொளிரான் பரிமாற்றத்தால் மின்காந்தத் தொடர்பியக்கம் நடைபெறுவது போலவும், நிழல்மையான் பரிமாற்றத்தால் வல்லியக்கம் நடைபெறுவது போலவும், ஏதேனும் ஒரு துகள் பரிமாற்றத்தால் மெல்லியக்கம் நிகழ்கிறதா என்பதைச் சோதிப்பதே அச்சோதனையின் நோக்கம். ஓர் உதிரான் சிதைவில் ஏதேனும் துகள் பரிமாற்றம்

நடைபெறுகிறதா என்பதையே அவர் குறிப்பாகச் சோதனைக்கு உட்படுத்தினார். அப்படி ஒரு துகள் பரிமாற்றம் நிகழ்வதாக வைத்துக்கொண்டால், உதிரான் சிதைவு எப்படி அமையவேண்டுமென்று அவர் கணித்தார். பரிமாற்றத்துக்கு உள்ளாகும் துகளை 'ஒள' எனக் குறியீடு செய்துகொண்டால், அவர் கணிப்பைக் கீழ்வருமாறு விளங்கிக்கொள்ளலாம்.

முதலில் உதிரான் சிதைந்து அதிலிருந்து ஒள + சி என்ற துகள்கள் முளைக்கும். ஒள என்ற துகள் தோன்றிய உடனேயே அது ஒர் ஒளிராணை வெளிப்படுத்திவிட்டுச் சிற்றானுடன் இணைந்து ஒர் எதிரானாக மாறிவிடும். இப்படி உதிரான் சிதைவு அமையக் கூடுமோ என்பதே ஃபெய்ன் 'பர்கின் சோதனை.

பலமுறை சோதித்தும் மேற்சொன்னவாறு எதுவும் நிகழவில்லை. இதற்கு இரண்டு காரணங்கள் இருக்கலாமென்று ஃபெய்ன் 'பர்க் கருதினார். ஒன்று, உதிரான் சிதைவில் புதிய துகள் பரிமாற்றம் எதுவும் நடப்பதில்லை என்று கொள்ளலாம்; அல்லது, உதிரானுக்கென ஒன்றும், எதிரானுக்கென ஒன்றுமாக இருவிதமான சிற்றான்கள் உள்ளன என்று கொள்ளலாம். இரண்டாவது காரணத்தை அவர் மிகுந்த தயக்கத்தோடு மேற்சொன்னவாறு ஒர் அடிக்குறிப்பில் எழுதியிருந்தார்.

இந்த அடிக்குறிப்பு, அறிஞர் சிலரிடையே விவாதத்தைக் கிளப்பியது; குறிப்பாக, மெல்வின் ஷ்வர்ட்ஜ்* என்பவரின் சிந்தனையைத் தூண்டியது. இரண்டு விதமான சிற்றான்கள் இருக்கக்கூடுமோ? இக்கேள்விக்கு விடையளிக்கக்கூடிய ஒரு சோதனையைத் தம் சிந்தனையில் வடிவமைத்து, 1960-ஆம் ஆண்டு, மார்ச் மாதம் அவர் வெளியிட்டார்³. அதன் விவரம் கீழ்வருமாறு:

பலவிதமான உலோகங்களை நேரான்கள் தாக்குமாறு செய்யவேண்டும். அத்தாக்குதல்களில் மையான்கள் உருவாகும். மையான்கள் உடனேயே சிதைந்து, உதிரான்களாகவும், சிற்றான்களாகவும் மாறும். இந்த உதிரான்களும், சிற்றான்களும் மிகவும் கனமான இரும்புச் சுவரில் மோதுமாறு செய்யவேண்டும். இவற்றுள் சிற்றான்கள் மட்டுமே இரும்புச் சுவரை ஊடுருவிச் செல்லும். மறுபுறத்தில், துகள்கள் வரவைக் கண்டுபிடித்துப் பதிவு செய்யும் 'துகள் பதிவுப் பொறி' ஒன்றுக்குள் அச்சிற்றான்கள் நுழைந்து செல்ல வேண்டும். வழியில் ஏதேனும் ஒரு துகள் மீது ஏதேனும் ஒரு சிற்றான், ஊடுருவ முடியாமல் மோத நேர்ந்தால், ஒரு துகள் அந்த மோதலில் உருவாகும். அப்படி உருவாகும் துகள்,

பொறியில் பதிவாகும். அப்படிப் பதிவாகும் துகள்களில் உதிரான்களே இருந்து எதிரான்களே இல்லையென்றால், உதிரான்களில் இருந்து விளையும் சிற்றான்கள் உதிரான்களையே உருவாக்குகின்றன என்று கொள்ளலாம். அப்படிக் கொள்ளுமிடத்து உதிரானுக்கென ஒரு சிற்றானும், எதிரானுக்கென ஒரு சிற்றானும் என இரண்டு வகைகள் உண்டு என்ற முடிவுக்கு வரலாம். மாறாக, பொறியில் உதிரான்களும் எதிரான்களும் ஏறக்குறைய சம அளவில் பதிவானால் இருவகைச் சிற்றான்கள் உண்டு என்ற துணிபைத் துறக்க வேண்டும்.

மேற்சொன்னவாறு ஷ்வர்ட்ஜ்* சிந்தனையில் வடிவமைக்கப்பட்ட சோதனை, நடைமுறையில் நிகழ்த்தப்படுவது மிகக் கடினம் என்று தோன்றியது. அப்படி நிகழ்த்தப்பட மேலும் பத்தாண்டுகள் ஆகலாம் என்று ஷ்வர்ட்ஜ்* எழுதியிருந்தார். அவர் எதிர்பார்த்ததை விட விரைவாக, இரண்டரை ஆண்டுகளுக்குள், அச்சோதனை நடந்தேறியது. அமெரிக்காவின் ஏ.ஜி.எஸ். என்ற பெரிய பொறியில், ஷ்வர்ட்ஜ்*, லியான் லெய்டர்மென், ஜேக் ஸ்டைன்'பர்கர் ஆகியோர் தலைமையில் அது நடந்தது. ஜெனிவாவிலுள்ள 'ஸர்ன்' என்ற பெரிய பொறியிலும் இச்சோதனை இன்னொரு குழுவினரால் மேற்கொள்ளப்பட்டது. அமெரிக்கச் சோதனை போட்டியில் வென்றது. 1962-ஆம் ஆண்டு வரை, சுமார் எட்டு மாதங்கள் தொடர்ந்து நடைபெற்ற அச்சோதனையில், கோடிக்கணக்கான சிற்றான்கள் பதிவுப் பொறி வழியே விரைந்தும், அவற்றுள் ஐம்பத்தொன்று சிற்றான்கள் மட்டுமே வழியில் ஏதோ ஒருவித தொடர்பியக்கத்தில் ஈடுபட்டன. அந்தப் பதிவுப் பொறியில் ஓர் எதிரான் கூட பதிவாகவில்லை; ஐம்பத்தொன்று உதிரான்கள் பதிவாகியிருந்தன. எனவே உதிரான்களில் இருந்து விளையும் சிற்றான்கள் மீண்டும் உதிரான்களாகவே மாறுகின்றன என்பது தெளிவாகியது. உதிரானுக்கெனத் தனிச் சிற்றானும், எதிரானுக்கெனத் தனிச் சிற்றானும், ஆக, இருவகைச் சிற்றான்கள் உண்டு என நிறுவப்பட்டது. இவ்விரு வகைகளையும் உதிரான் - சிற்றான் என்றும், எதிரான் - சிற்றான் என்றும் விளங்கிக் கொண்டு சுருக்கமாக இவற்றை முறையே 'உற்றான்' என்றும் 'எற்றான்' என்றும் அழைக்கலாம். இவற்றை முறையே 'உற்' என்றும் 'எற்' என்றும் குறியீடு செய்து கொள்ளலாம்.

மேற்சொன்ன கருத்தின்படி உதிரான் சிதைவு திருத்தி எழுதப்படவேண்டும்.

$$உ^- \rightarrow எ + \overline{எற்} + உற்$$

இதையே கீழ்வருமாறு மாற்றி எழுதலாம்:

$$உ^- + எற் \rightarrow எ + உற்$$

அதாவது எதிர் - உதிரானும், எற்றானும் ஈடுபடும் தொடர்பியக்கத்தில், அவை மறைந்து எதிரானும், உற்றானும் விளைவதாக எடுத்துக்கொள்ளலாம்.

உதிரான் சிதைவுகள் ‘பர்மி வகுத்த நான்கு ‘பர்மியான் விதிப்படியே நிகழ்தல் போல், மையான் சிதைவும் அப்படியே நிகழக்கூடுமோவென்று சோதிக்கப் பட்டது. ஒரு நேர்மையான் சிதைந்து, நேர்-உதிரானும், உற்றானும் விளைவது தெரிய வந்தது. ஓர் எதிர்மையான் சிதைந்து, ஓர் எதிர் - உதிரானும், பகையுற்றானும் விளைவது தெரிய வந்தது. குறியீட்டு மொழியில் இப்படி எழுதலாம்:

$$\begin{aligned} \text{மை}^+ &\rightarrow \text{உ}^+ + \text{உ}^{\bar{}} \\ \text{மை}^- &\rightarrow \text{உ}^- + \text{உ}^{\bar{}} \end{aligned}$$

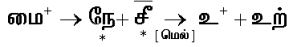
மையான் சிதைவில் நான்கு ‘பர்மியான்கள் ஈடுபடுவதாகத் தெரியவில்லையே? மையான் சிதைவு மெல்லியக்கத்தால் நிகழவில்லையோ? ஆனால் இச்சிதைவை நாம் வேறொரு விதத்தில் படம் பிடித்துப் பார்க்கலாம். அதற்கு முன் ஒரு கலைச்சொல்லை நாம் பழக்கிக்கொள்ள வேண்டும். அணுக்கருவெல்லாம் நேரான், சீரான் என்ற இரண்டு துகள்களால் ஆனவை. இவையிரண்டையும் பொதுவாகக் ‘கருவான்கள்’ என்று அழைக்கலாம். இப்பொழுது, மையான் சிதைவை நோக்குவோம். துமியியலின்படி ஓர் ஒளிரான் எப்படிக்கணந்தோறும் எதிரான்-புதிரான் நிழல்துகள்களாக மாறி மாறி, மீள்கிறதோ, அப்படியே மையானும் கணந்தோறும் கருவான்-பகைக்கருவான் துகள்களாக மாறி மாறி, மீண்டும் மீண்டும், மையான் நிலைக்குத் திரும்புவதாகக் கொள்ளலாம். ஒரு மையானை விட இரண்டு கருவான்களின் எடை மிகவும் அதிகமென்றாலும், உறுதியின்மைக் கொள்கையின்படி ஒரு துகள் மிகக் குறுகிய காலத்துக்குள் தன் இயல்புக்கு மேற்பட்ட ஆற்றல் - கனம் பெற்று, மீண்டும் இயல்பு நிலைக்குத் திரும்பக்கூடும். எனவே மையான் தன் ஆயுட்காலத்தின் பெரும் பகுதியை இருகருவான் வடிவிலேயே கழிக்க நேரிடுகிறது. ஒரு மையான் இரண்டு கருவான்களாக மாறி மீளும் நிகழ்வைக் குறியீடுகளால் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\begin{aligned} \text{மை}^+ &\rightarrow \overline{\text{நே}} + \overline{\text{சீ}} \rightarrow \text{மை}^+ \\ \text{மை}^- &\rightarrow \overline{\text{நே}} + \overline{\text{சீ}} \rightarrow \text{மை}^- \end{aligned}$$

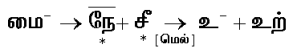
(கீழே * குறி வைத்தால், நிழல்துகள் என்று பொருள்.)

ஒரு நேர்-மையான் மறைந்து, ஒரு நிழல்-நேரானும், ஒரு நிழற்பகைச் சீரானும் உருவாகி, மீண்டும் அவை ஒரு நேர்-மையானாக மாறுகின்றன. அதேபோல் ஓர்

எதிர்மையான் சிறிது நேரம் ஒரு நிழற்பகை நேரானாகவும், ஒரு நிழற்சீரானாகவும் இருந்து மீண்டும், எதிர்மையானாகிவிடுகிறது.



மையான், இயல்பில் ஒரு போஸான்; அதாவது, அதன் தற்சுழற்சி சுழி. சுழி என்பது ஒரு முழு எண். போஸான், மெல்லியக்கத்தில் ஈடுபடாது. எனவே, மையான் தன் இயல்பான நிலையில் ஒரு போஸானாக இருக்கும்போது அது மெல்லியக்கத் தாக்குதலுக்கு உட்படாமல் தப்புகிறது. ஆனால் அவ்வப்போது அது இருகருவான் வடிவில் இருக்க நேரிடும் கணமெல்லாம் அது மெல்லியக்கத்திற்கு உட்படக்கூடிய ஆபத்தில் உள்ளது. ஏனென்றால், கருவான்கள் 'அரை' என்ற குறையெண் அளவு தற்சுழற்சி கொண்ட 'பர்மியான்கள். இருகருவான் வடிவில் இருக்கும்போதெல்லாம், முரண்பட்ட இரண்டு சக்திகளின் தாக்குதல்களுக்கு மையான் உள்ளாகிறது. ஒன்று, வல்லாற்றல்; மற்றொன்று மெல்லாற்றல். வல்லாற்றலோ, கருவான்கள் இணையை மீண்டும் ஒரு மையானாக மாற்ற முனைகிறது. மெல்லாற்றலோ கருவான்கள் இணையைச் சிதைத்து, அவற்றை உதிரான் - உற்றான்களாக மாற்ற முயல்கிறது. வல்லாற்றலே மற்றதை விட மிகவும் சக்தி வாய்ந்தது. எனவே, வல்லாற்றலே பெரும்பாலும் வெல்கிறது. பல கோடி முறை ஒரு மையான், இருகருவான் வடிவேற்று, விரைவில் தன் மையான் நிலைக்கு மீள்கிறது. ஆனால் யானைக்கும் அடிசறுக்குமே! துளிநிலை வாய்ப்புக் கூறு நிறுவிய கணிப்பின்படி பல கோடி முறைக்கு ஒரு முறை வல்லாற்றல் என்ற முயல் அயர்ந்துவிடக்கூடும்; மெல்லாற்றல் என்ற ஆமை வென்றுவிடக் கூடும். அப்பொழுது, கருவான்களாகத் திரிபடைந்த மையான் மீண்டும் மையானாக முடியாமல் இருகருவான் வடிவம் சிதைவுற்று, ஓர் உதிரான், ஓர் உற்றான் எனத் திரிபடைகிறது. உதிரானும் உற்றானும் வல்லாற்றலுக்கு உட்படாதவை. எனவே அவை தங்குதடையின்றிக் கட்டுப்பாடற்ற மெய்த்துகள்களாக விரைந்துவிடுகின்றன.



['மெல்' என்பது மெல்லாற்றல்]

எப்பொழுதேனும் உதிரான், உற்றானுடன் ஒரு மகரத் துகள் வெளிப்படக்கூடும். இவ்வியக்கங்களில் விளையும் உ^+ , உ^- என்ற இருதுகள்களும், தங்கள் இயல்புகளுக்கேற்பச் சிதைவுறும்.

சீர்மையான்⁴ சிதைவு வியப்பளித்தது. அது, மின்பொதிவு கொண்ட தன் அண்ணன்மார்களைப் போல் 10^{-8} வினாடிகள் வாழ முடியாமல், மிகமிக

விரைவிலேயே, ஏறக்குறைய, 10^{-16} வினாடிகளுக்குள்ளாகவே, சிதைந்துவிடுகிறது. எனவே அதன் சிதைவுக்கு மெல்லாற்றலைவிட அதிக சக்தி கொண்ட ஓர் ஆற்றல் காரணமாக இருக்க வேண்டும். அந்த ஆற்றல் மின்காந்த சக்தியாக இருக்கக்கூடுமோ? அப்படித்தான் இருக்க வேண்டும் என்பதை அதன் சிதைவில் உருவாகும் ஒளிரான்கள் சுட்டிக் காட்டுகின்றன. ஆனால் மின்பொதிவற்ற மை⁰ எப்படி மின்காந்த சக்தி மூலம் தொடர்பியக்கத்தில் ஈடுபடுகிறது? மை⁰, சில நேரங்களில், நேரான், பகைநேரான் ஆகிய நிழல்துகள்களாக உலவ நேரிடும். அப்பொழுது நேரானும், பகைநேரானும் ஒன்றையொன்று நெருங்க முற்பட்டு, இரண்டுமே மின்காந்த சக்தியால் அழிந்து, இரண்டு ஒளிரான்கள் உருவாகலாமே.

$$\text{மை}^0 \rightarrow \overset{*}{\text{நே}} + \overset{*}{\text{நே}} \rightarrow \underset{[\text{மின்}]}{\text{ஒளி}} + \text{ஒளி}$$

[‘மின்’ என்பது மின்காந்த சக்தி]

சில நேரங்களில், இறுதியில் உருவாகும் இரண்டு ஒளிரான்களும் நிழலொளிரான்களாக உருவாகி, அவை மறைந்து அந்த இடத்தில் ஓர் ஒளிரான், ஒரு புதிரான், ஓர் எதிரான் என 3 துகள்கள் தோன்றக் கூடும். இப்படி நடைபெறுவதற்கான வாய்ப்புக் கூறு 1:86 எனக் கணிக்கப்பட்டுள்ளது.

எப்பொழுதேனும் இரண்டு நிழலொளிரான்கள் மறைவில் மூன்றுக்கு பதில் நான்கு துகள்கள் தோன்றலாம்: புதிரான் இரண்டும், எதிரான் இரண்டும். இதற்கான வாய்ப்புக் கூறு 1:30000 எனக் கணிக்கப்பட்டுள்ளது.

உகரச் சிதைவை விளக்குவதற்காக ‘ஃபர்மி வகுத்த கொள்கை, மெல்லியக்கத்தால் சிதைவுறும் தொடர்பியக்கங்கள் அனைத்துக்குமே பொருந்தியதால், அறிவியலின் ஓர் அடிப்படைக் கொள்கையாகவே அது அமைந்தது.

குறிப்புகள்:

1. *Science*, 124, No.3212, 20.07.1956, page 103.
2. *Physical Review* 110, No.6, 15.06.1958, page 1482.
3. Lederman, Schwartz and Gaillard “*Proceedings of the International Conference on Instrumentation*” Wiley Inter-science, New York, 1960, Section V, 1.d.

4. மையான்களில் நேர், எதிர், சீர் என மூன்று விதங்கள் இருக்கவேண்டும் என்று 1938-ஆம் ஆண்டிலேயே கெம்மர் என்பவர் முன்மொழிந்திருந்தார். [*Proceedings of Royal Society*, A 166, 1938, page 354]. ஆனால், பன்னிரண்டு ஆண்டுகள் கழித்து, மூவர் இணைந்து நிகழ்த்திய ஒரு சோதனையில்தான், மை⁰ கண்டுபிடிக்கப்பட்டது [Steinberger and two others, *Physical Review*, 78, 1950, page 802].

26. தூணிலும் உள்ளான் துரும்பிலும் உள்ளான்

மிகப் பெரிய துகளுக்கிகளின் துணையோடு, புதிய துகள்கள் பல கண்டுபிடிக்கப் பட்டன. துகள்களின் பட்டியல் நீண்டுகொண்டே இருந்தது. தொண்ணூறுக்கு மேற்பட்ட அடிப்பொருள்களை (அணுக்களை), ஒரு முறைப்படி, மின்டிலேயெஃப் என்பவர் 1868-ஆம் ஆண்டு சீர்செய்து ஓர் அமைப்பின்கீழ் கொண்டு வந்ததுபோல், எண்ணிக்கையில் பெருகிவரும் சிற்றணுத் துகள்களை எப்படி முறைமைப்படுத்துவது என்ற கேள்வியே 1960-ஆம் ஆண்டுத் தொடக்கத்தில் அணுவியல் ஆய்வாளர்களை உறுத்திக் கொண்டிருந்தது. இக்கேள்விக்கு விடை காணும் முயற்சிகள் எப்படி மேற்கொள்ளப்பட்டன என்பதை இந்த அதிகாரத்தில் நோக்குவோம்.

‘சிமெட்ரி’ என்று ஆங்கிலத்தில் ஒரு கருத்தீடு குறிக்கப்படுகிறது. இதைத் தமிழில் எப்படி விளங்கிக்கொள்வது? எளிமையான எடுத்துக்காட்டுகளில் தொடங்கலாம். தமிழ்த் திரைப்படப் பாடல் ஒன்றில் வரும் இரண்டு வரிகளை இங்கே நோக்குவோம்:

மண் குடிசை வாசல் என்றால் தென்றல் வர மறுத்திடுமா
மாலை நிலா ஏழை என்றால் வெளிச்சம் தர வெறுத்திடுமா.

மண் குடிசையும் மாளிகையும் வேறுவேறுதான். ஆனால் தென்றல் காற்றுக்கு இந்த வேறுபாடு தெரியாது. அதேபோல, ஏழை வேறு, பணக்காரன் வேறுதான். ஆனால் நிலா ஒளிக்கு இந்த வேறுபாடு கிடையாது. ஒரு விதத்தில் வேறுபாடுடைய இரண்டு பொருள்கள் இன்னொரு விதத்தில் வேறுபாடற்ற சீர்நிலையில் இருக்கலாம். இந்தச் சீர்நிலை என்பதே ‘சிமெட்ரி’ என்று ஆங்கிலத்தில் குறிக்கப்படுகிறது.

இப்பொழுது அறிவியலுக்கு வருவோம். அணுக்கருவுக்குள் நேர்மின்பொதிவு கொண்ட நேரான் துகளும், சீர்மின்பொதிவு கொண்ட சீரான் துகளும் இருக்கக்கூடும். இவை வேறுவேறு துகள்களா? அல்லது வேறுவேறு நிலைகளில் உள்ள ஒரே துகளா? இந்தக் கேள்வியை மின்காந்த சக்தியிடம் கேட்டால் இரண்டும் வேறுவேறு துகள்கள் என்றே விடை கிடைக்கும். ஒன்று நேர்மின் பொதிவுடையது; மற்றொன்று எதிர்மின் பொதிவுடையது. மின்காந்த சக்திக்கு இந்த வேறுபாடு

நன்றாகவே தெரியும். ஆனால், இதே கேள்வியை வல்லாற்றலிடம் கேட்டால் இரண்டும் ஒரே துகள்தானே என்று விடை கிடைக்கும். மின்பொதிவு வேறுபாட்டைக் காணும் திறன் வல்லாற்றலுக்கு இல்லை எனலாம். வல்லாற்றலைப் பொறுத்தமட்டில் நேரானும், சீரானும் ஒரே துகளாக, வேறுபாடற்ற சீர்நிலையில் உள்ளன. இந்தச் சீர்நிலையை மின்காந்த சக்தி குலைத்துவிடுகிறது.

வல்லாற்றலைப் பொறுத்தமட்டிலும், நேரானுக்கும் சீரானுக்கும் இடையே உள்ள சீர்நிலை 'ஐஸோடோபிக் ஸ்பின்'¹ என்ற கருத்தீட்டின் மூலம் ஆங்கிலத்தில் குறிக்கப்படுகிறது. இக்கருத்தீட்டை இப்பொழுது விளங்கிக்கொள்ள முயல்வோம்.

வெளிச்சீர்மை என்றொரு சீர்நிலை உண்டு. வெட்டவெளியில் ஒரு சாதனத்தை எப்படித் திருப்பி வைத்தாலும், அதன் இயக்க விதி மாறுவதில்லை என்பதே வெளிச்சீர்மை அல்லது திசைச்சீர்மை. ஆனால் காந்தப் புலம் இந்தச் சீர்மையைக் குலைத்துவிடுகிறது. ஒரு காந்தம் எப்பொழுதும் தென்வடல் திசைமுனைப்பே கொள்வதால், அது திசைச்சீர்மையைக் குலைத்துவிடுகிறது. மெய்யுலகில் காணப்படும் வெட்டவெளி போல அணுக்கருவுக்குள் ஒரு வெளி இருப்பதாகக் கற்பித்துக்கொண்டால் அந்த வெளியின் மேல்திசை முனைப்போடு இருக்கும் துகள் நேரான் என்றும், அந்த வெளியின் கீழ்த்திசை முனைப்பேற்கும் துகள் சீரான் என்றும் வைத்துக்கொள்ளலாம். இந்த வெளியும், திசைகளும் கணித அடிப்படையில் கற்பித்துக்கொள்ளப்பட்டவையே தவிர, மெய்யானவை அல்ல. ஒரே துகள், அணுக்கருவுக்குள், ஒரு முனைப்பில் நேரானாகவும், எதிர்முனைப்பில் சீரானாகவும் ஆவதாகக் கற்பித்துக்கொள்ளும் சுழற்சி 'ஐஸோடோபிக் ஸ்பின்' என்று ஆங்கிலத்தில் குறிக்கப்படுகிறது. தமிழில் இதை 'நேர்-சீர் சுழற்சி' எனலாம். இந்த வேறுபாட்டை, வல்லாற்றல் உணர்வதில்லை. எனவே நேரானும், சீரானும் வல்லாற்றலைப் பொறுத்த மட்டிலும் வேறுபாடின்றி நேர்-சீர் சுழற்சியில் ஈடுபடும் ஒரே துகள். அதன் சுழல் வேறுபாடு வல்லாற்றலுக்குத் தெரிவதில்லை. ஆகையால், அது வல்லாற்றலின் நோக்கில் சுழல்சீர்மை கொண்ட துகள். அதன் சுழல்சீர்மை மெல்லாற்றலாலும், மின்காந்த சக்தியாலும் உடைபடுவதாகக் கற்பித்துக்கொள்ளலாம்.

மண் குடிசையும், மாளிகையும் தென்றலுக்கு, அல்லது தந்தி, அஞ்சல் கொண்டு வந்து தரும் பணியாளருக்கு, ஒன்றாகத் தெரிந்தாலும், ஒரு பிச்சைக்காரருக்கு, அல்லது, வீடு, மனை வாங்கி விற்கும் தொழிலில் உள்ள ஒருவருக்கு, வேறு வேறாகத் தெரியும்! அதுபோல், வல்லாற்றலின் நோக்கில் சுழல்சீர்மை கொண்ட கருவான் என்பது ஒரே துகள் ; மேல்முனைப்புக்

கொள்ளும்போது நேரானாகவும், கீழ்முனைப்புக் கொள்ளும்போது சீரானாகவும், இருவேறு துகள்களாக மெல்லாற்றலுக்கும், மின்காந்த சக்திக்கும் அது தென்படுவதால், கருவானின் சுழல்சீர்மை மெல்லாற்றலாலும், மின்காந்த சக்தியாலும் உடைந்துவிடுகிறது எனலாம்.

சீர்மை என்ற கருத்தீட்டின் துணைகொண்டு பெருகிவரும் சிற்றணுத் துகள் கூட்டத்தை ஒழுங்குபடுத்தக் கூடுமோ? இப்படித்தான் சிந்திக்கத் தலைப்பட்டார், மரே கெல்-மான் என்ற அறிஞர். அவரைப் போலவே யுவல் நீமென் என்பவரும் அதே போன்ற சிந்தனையில் ஈடுபட்டிருந்தார். இருவரும், ஏறக்குறைய ஒரே நேரத்தில், கிட்டத்தட்ட ஒரேவிதமான தீர்வுகளை வெளிப்படுத்தினர். இவர்கள் முயற்சிகளைப் புரிந்துகொள்வதற்கு முன் 'சிமெட்ரி' என்று ஆங்கிலத்தில் குறிக்கப்படும் சீர்மை பற்றி மேலும் சற்று விரிவாகத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

கணித முறையில் எம்மி நொ-எத்தர் என்பவர் சீர்மை பற்றி 20-ஆம் நூற்றாண்டுத் தொடக்கத்திலேயே ஒரு விதி நிறுவியிருந்தார்². அதை 'நொ-எத்தர் விதி' என்றே அழைக்கலாம். இயற்கையில் சீர்மை இருக்கும் இடத்தில் எல்லாம் ஓர் இழப்பின்மை விதி இருக்கும் என்பதே அதன் சாரம். அதேபோல், ஒவ்வொரு இழப்பின்மை விதிக்கும் ஒவ்வக்கூடிய ஒரு சீர்மை இருக்கும் என்பதும் அதன் கூற்று. இதை வை'ல என்பவரும், பிறகு ஃப்ரிட்டி லன்டன் என்பவரும் கணித முறையில் மேலும் விரிவாக்கினார்கள். எதிரான்களுக்கு இந்த விதியைப் பயன்படுத்தி அவர்கள் வெளியிட்ட கருத்து இங்கே குறிப்பிடத்தக்கது. ஓர் எதிரானின் அலைமுனைப்பு மாறுபடும் பொழுது ஏற்படும் வேறுபாடுகளைப் பல நிழலொளிரான்கள் உருவாகி, ஈடுசெய்து, சமன் செய்கின்றன என்பதே அக்கருத்து. அதாவது, மின்பொதிவு இழப்பின்மையை மின்காந்தக் களமே உறுதி செய்கிறது என்பது இக்கருத்தின் சாரம். மின்பொதிவை அதன் களமே பாதுகாக்கிறது என்ற இதைக் கொள்ளலாம். இக்கருத்தை மின்காந்தக் களமன்றி, வேறு களங்களுக்கும் பொருத்திப் பார்த்தால் என்ன? 1953-ஆம் ஆண்டு, சென் நிங் யாங் என்பவரும், ரா'பர்ட் மில்ஸ் என்பவரும் இணைந்து சிந்தித்து மேற்படி விதியை நேரான் - சீரான் களத்துக்குப் பொருத்திப் பார்க்கும் முயற்சியில் ஈடுபட்டனர்³. அணுக்கருவுக்குள், நேரான் - சீரான் ஆகியவற்றிடையே ஒருவிதமான சீர்மையை நிறுவும் களம் ஒன்று உண்டு என்று அவர்கள் கருதினார்கள். இந்த யாங்-மில் களம், கணித முறையில் நிறுவப்படாததால் அறிவியல் உலகில் ஏற்கப்படவில்லை. இருந்தாலும் யாங், மில் இருவரும் மேற்கொண்ட முயற்சி முற்றிலும் வீண்போகவில்லை. அவர்கள் கருத்தால் உந்தப்பட்டு, மரே கெல்-மான் வல்லியக்கத்தை விளக்குவதிலும், பிறகு

வைன் 'பர்க், அப்துஸ் சலாம், ஷெல்டன் க் லேஷோ ஆகியோர் மெல்லியக்கத்தை விளக்குவதிலும் ஓரளவு வெற்றி கண்டனர். இப்பொழுது கெல்-மான் செய்த முயற்சியை நோக்குவோம்.

க் லேஷோ மூலமாக 'க்ரூப் தியரி' என்று ஆங்கிலத்தில் வழங்கப்படும் ஒரு கணித நுட்பத்தைப் பற்றி அறிந்துகொண்ட கெல்-மான் அதைப் பயன்படுத்தி ஒரு முறைப்பாட்டை வகுத்துத் தந்தார். கிட்டத்தட்ட அதே காலகட்டத்தில் யுவல் நீ-மென் என்பவரும் அதே போன்ற முறைப்பாட்டை வகுத்திருந்தார்⁴.

ஆங்கிலத்தில் 'க்ரூப் தியரி' எனப்படும் கணித நுட்பத்தை விளங்கிக்கொள்ள உயர்கணிதப் பயிற்சி தேவையாகையால், அதைத் தவிர்த்து, எளிமையாக கெல்-மான் முறைப்பாட்டைப் புரிந்துகொள்ள முயலலாம்.

மேலே நேர்- சீர் சுழல்சீர்மை பற்றிச் சொல்லப்பட்டதை இங்கே மீண்டும் நினைவுகூரலாம். நேரானாகவும், சீரானாகவும் இருப்பது கருவான் என்ற ஒரே வகைத் துகள் எனக்கொண்டு, அத்துகள் இரண்டு விதமான முனைப்புகள் ஏற்கக் கூடும் என்றும் கொண்டு, ஒருவித முனைப்பில் அது நேர்மின்பொதிவு கொண்ட நேரான் துகளாகவும், மற்றொருவித முனைப்பில் அது சீர்மின்பொதிவு கொண்ட சீரான் துகளாகவும் தன்னைக் காட்டிக்கொள்கிறது என்றும் சொல்லப்பட்டது. அது சீரானாக இருக்கும்போது சிறிதளவு அதன் கனம் கூடுவதற்குக் காரணம் அதன் மின்சீர்மையே எனத் துணியலாம். ஒரே துகள் இரண்டு நிலைகளில் இருக்கக்கூடும் என்றால், அந்த இரண்டு நிலைகளுக்கு இடையிலும் அதன் ஆற்றல் அளவு சற்றேனும் வேறுபட்டுத்தான் இருக்கவேண்டும். இந்த ஆற்றல் வேற்றுமையே அதன் கன வேற்றுமையையும், மின்பொதிவையும் விளைவிப்பதாகக் கூடக் கொள்ளலாம். மையான் துகளை எடுத்துக்கொண்டால் அது மூன்று நிலைகளில் இருக்கக்கூடியதாகவும், ஒரு நிலையில் நேர்மின்பொதிவு கொண்ட மை⁺ துகளாகவும், இன்னொரு நிலையில் எதிர்மின் பொதிவு கொண்ட மை துகளாகவும், மூன்றாவது நிலையில் மின்சீர்மை கொண்ட மை⁰ துகளாகவும் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். அதாவது, மையான் என்ற துகள் ஒரு சுழற்சியில் ஈடுபட்டு, மூன்று வெவ்வேறு திசைமுனைப்பை ஏற்க நேரிடுவதால், மூன்று வெவ்வேறு நிலைகளில் இருப்பதாகக் கற்பித்துக்கொள்ளலாம். அதேபோல் நெய்தல் துகள் சீர்மின்பொதிவு, எதிர்மின்பொதிவு ஆகிய இரண்டு நிலைகளில் தோன்றக்கூடும். ஆதலால், நெய்தல் துகள், இரண்டு விதமான முனைப்புகளில் இருக்கக் கூடிய துகள் எனத் துணியலாம்.

இப்படியாகச் சீர்மை என்ற கருத்தீட்டைப் பயன்படுத்தி, ஏதோ ஒரு

சக்தியால் ஒரு சீர்மை உடைபடுவதால்தான் பலவிதங்களிலும் ஒன்றே போல் இருக்கும் பல துகள்கள் தோன்றுகின்றன என்று விளக்கப்பட்டது. அதுவரை கண்டுபிடிக்கப்படாத துகள் ஒன்றைக் கணித அடிப்படையில், மேற்படி நுட்பத்தைப் பயன்படுத்தி, கெல்-மான் முன்மொழிந்தார். அப்படி ஒரு துகள் 1964-ஆம் ஆண்டு மெய்யாகவே கண்டுபிடிக்கப்பட்டது⁵. ஆங்கிலத்தில் 'ஓமேகா' எனப்படும் அத்துகளைப் 'பாலைத் துகள்' எனலாம். கெல்-மான் முன்மொழிந்த துகள் எதிர்மின் பொதிவு கொண்டதாகையால், அதை 'எதிர்ப்பாலை' எனலாம். அதன் பகைத்துகள் 1971-ல் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அதுவே பகையெதிர்ப் பாலை.

கெல்-மான் சிந்தனை அத்துடன் நின்றுவிடவில்லை. சீர்மையால் அமையப்பெற்ற கூறொழுக்கத்திற்கு அடிப்படைக் காரணம் வேறு இருக்கவேண்டும் என்று அவருக்குத் தோன்றியது. 1963-ஆம் ஆண்டு, மார்ச் மாதம், 25-ஆம் நாள், நியூயார்க் நகரில் உள்ள ஒரு பல்கலைக்கழக விடுதியில் கெல்-மான் மதிய உணவு அருந்திக் கொண்டிருந்தபோது, அவர் சிந்தனையில் ஒரு மின்னலடித்தது. அவரோடு, ரா'பர்ட் 'ஸர்'பர் என்ற அணுவியல் வல்லுநரும், லீயும் அப்பொழுது இருந்தனர். கெல்-மான் தேடிக்கொண்டிருந்த அடிப்படைக் காரணம், மூன்று துகள்கள் கொண்ட ஓர் அடிப்படைக் குடும்பமாக இருக்கலாமோ என்ற வினாவை 'ஸர்'பர் கேட்டபோதுதான் கெல்-மான் சிந்தனையில் மின்னலடித்தது. அப்பொழுதே, அங்கேயே இருந்த ஒரு காகிதக் கைக்குட்டையில் தம் எண்ணங்களை கெல்-மான் கிறுக்கினார் என்ற செய்தி சில நூல்களில் காணப்படுகிறது⁶. பிறகு தம் சிந்தனையை விரிவாக்கி 1964-ஆம் ஆண்டு அவர் வெளியிட்டார்⁷. அவர் வெளியிட்ட புதிய படிவத்தின் சாரம் பின்வருமாறு:

1. கனவான் துகள் ஒவ்வொன்றும் மூன்று அடிப்படைத் துகள்களின் கூட்டமைப்பே.
2. எந்த ஒரு கனவானை எடுத்துக்கொண்டாலும், அதன் மின் பொதிவு +1, -1, 0 ஆகிய மூன்று மதிப்புகளில் ஒன்றையே கொண்டிருப்பதால் அதை அமைக்கும் அடிப்படைத் துகள்களின் தனித்தனி மின்பொதிவு, -1/3; + 2/3 போலக் குறையெண் மதிப்புடையதாகத்தான் இருக்கவேண்டும்.
3. சில கனவான் துகள்கள் விந்தைக்குணம் உடையவை என்பதால் மூன்று அடிப்படைத் துகள்களுக்குள் ஒன்றேனும் விந்தைக் குணம் உடையதாக இருக்க வேண்டும்.
4. மூன்று அடிப்படைத் துகள்களைப் பொதுவாக 'க்வார்க்' என்று அழைக்கலாம் (ஓர் ஆங்கில நாவலில் வரும் சொல்லை வைத்து கெல்-மான் இந்தப் பெயரைத் தேர்ந்தெடுத்தார்). 'மேல் க்வார்க்', 'கீழ் க்வார்க்',

‘விந்தை க்வார்க்’ என மூன்று வகைகளுக்கும் தனித்தனி பெயர் தரலாம்.

5. மேல் க்வார்க்கின் மின்பொதிவு $+ 2/3$ என்றும், கீழ், விந்தை ஆகிய இரண்டு க்வார்க்குகளின் மின்பொதிவும் தலா $-1/3$ என்றும் வைத்துக்கொள்ளலாம்.

மேற்சொன்னவாறு கெல்-மான் ஒரு கொள்கையை விவரித்த அதே கால கட்டத்தில் ஜார்ஜ் ஜ்*வைக் என்ற சோதனை முறை இயல்பியல் வல்லுநரும் அதே போன்ற கொள்கையை வகுத்திருந்தார்⁸. ‘க்வார்க்’ என கெல்-மான் தந்த பெயரைத் தமிழில் ‘உள்ளான்’ என மாற்றிக்கொள்ளலாம். க்வார்க் பற்றிப் பிறகு வர இருக்கும் செய்திகள் இப்பெயர்ப் பொருத்தத்தை உணர்த்தும். மூன்று வகை உள்ளான்களை மேலுள்ளான், கீழுள்ளான், வீயுள்ளான் என அழைக்கலாம். இவற்றை மே, கீ, வீ எனக் குறியீடு செய்து கொள்ளலாம்.

கெல்-மான் வகுத்த முறைப்பாட்டில் கனவான் துகள் ஒவ்வொன்றும் மூன்று உள்ளான்களின் கூட்டமைப்பே. எடுத்துக்காட்டாக, நேரான் என்பது, இரண்டு மேலுள்ளான்களும், ஒரு கீழுள்ளானும் கொண்ட கூட்டுத்துகள். ‘மே-மே-கீ’ என்பது நேரானின் அமைப்புக் குறள்-நெறி. மேலுள்ளானின் மின்பொதிவு $+ 2/3$; கீழுள்ளானின் மின்பொதிவு $- 1/3$. எனவே, ‘மே-மே-கீ’ என்ற அமைப்பின் மின் பொதிவு, ‘ $+ 2/3, +2/3, -1/3$ ’ என்பதால், நேரான் என்ற துகளின் மொத்த மின் பொதிவு $+1$ என்றாகிறது. சீரான் துகள், ‘மே-கீ-கீ’ என்ற அமைப்புடையது. அதன் மின் பொதிவு ‘ $(+2/3) + (-1/3) + (-1/3) = 0$ ’ என்றாவதால், அது மின்சீர்மை கொண்ட துகளாக அமைகிறது. விந்தைத்துகள்களில் வீயுள்ளான் இடம்பெற வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக, மு⁺ என்ற விந்தைத்துகள் ‘கீ-கீ-வீ’ என்ற அமைப்புடையது. அதன் மின்பொதிவு ‘ $(-1/3) + (-1/3) + (-1/3) = -1$ ’ என்றமைகிறது. அதில் ஒரே ஒரு வீயுள்ளான் இருப்பதால் அதன் வீயெண் -1 என்றாகிறது; காரணம், ஒவ்வொரு வீயுள்ளானின் வீயெண்ணும் -1 . எதிர்ப்பாலை என்ற துகளை எடுத்துக்கொண்டால் அது ‘வீ-வீ-வீ’ என்ற அமைப்பு. எனவே, அதன் மின்பொதிவு, ‘ $(-1/3) + (-1/3) + (-1/3) = -1$ ’ என்றாகிறது. அதன் வீயெண் ‘ $(-1) + (-1) + (-1) = -3$ ’ என்றாகிறது.

கனவான்கள் இப்படி என்றால், யுகவான்கள் எப்படி? கனவான்கள் எல்லாம் தற்சுழற்சி உடைய ஃபர்மியான்கள். கெல்-மான் படிவத்தின்படி உள்ளான்களும் தற்சுழற்சி உடைய ஃபர்மியான்கள் எனக் கொள்ளப்பட்டன. தற்சுழற்சி என்பது திசைமதிப்பு கொண்டதாகையால் மேற்கண்ட அட்டவணையின் படி மூன்று உள்ளான்களின் சேர்க்கையில் இரண்டு உள்ளான்கள் ஒரே திசைமுனைப்படும்,

மூன்றாவது உள்ளான் எதிரான திசைமுனைப்பும் கொண்டவையாக அமைத்துக் கூட்டுத் துகளின் தற்சுழற்சி அரை என்றே பெறப்படுமாறு கணிக்கப்பட்டது. யுகவான்களோ 1 அல்லது 0 மதிப்புத் தற்சுழற்சி கொண்ட போஸான்கள். எனவே அரை தற்சுழற்சி கொண்ட உள்ளான்கள் மூன்று சேர்ந்து 1 அல்லது 0 மதிப்புத் தற்சுழற்சி உருவாகாது. எனவே யுகவான் ஒவ்வொன்றும் இரண்டு உள்ளான்களால் ஆனதாகக் கணிக்கப்பட்டது.

இப்படிவத்தில், இன்னொரு சிக்கல் தோன்றியது. 'எதிர்ப்பாலை' என்ற கனவான் 3 வீ-உள்ளான்களால் அமையப் பெற்றதை மேலே கண்டோம். உள்ளான்கள் எல்லாம் அரை தற்சுழற்சி கொண்ட துகள்கள் ஆகையால், அவை 'ஃபர்மியான்கள். எனவே அவை பௌலியின் இட ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கைக்கு உட்பட்டவை. அதாவது, ஒரேவிதமான 'ஃபர்மியான்கள் ஒன்றுக்கு மேல் ஒரே இடத்தில், அதாவது, ஒரே ஆற்றல் நிலையில் இருக்க முடியாது என்பதே பௌலியின் கொள்கை. இருவேறு திசைமுனைப்பில் தற்சுழற்சி கொண்ட இரண்டு துகள்கள், ஒரே வகையைச் சேர்ந்தவையாக இருந்தாலும் இருவேறு விதமான துகள்களாகக் கருதப்படுவதால் இரண்டு வீ உள்ளான்களுக்கு மேல் ஒரே துளிநிலையில் இருக்கக்கூடாது. இது பௌலி விதியின் கட்டளை. ஆனால் எதிர்ப்பாலையில் மூன்று வீ உள்ளான்கள் உள்ளனவே! இந்தச் சிக்கலைத் தவிர்க்க 1964-ஆம் ஆண்டில் ஆஸ்கர் க்ரீன்'பர்க்⁹ என்பவர் வெளியிட்ட ஒரு முறைப்பாட்டை விரிவாக்கி 1965-ஆம் ஆண்டு எம்.ஓய். ஹேன் என்பவரும், ஓய்.நம்பு என்பவரும் இணைந்து ஒரு கருத்தை வெளியிட்டனர்¹⁰. அதன்படி மே, கீ, வீ ஆகிய மூன்று வகை உள்ளான்கள் ஒவ்வொன்றுமே மூன்று வெவ்வேறு குணங்களில் இருக்கக்கூடியவை. ஆனால் அந்தக் குணங்கள் வெளிப்படுவதே இல்லையே! ஆகையால், மூன்று குணங்களின் சேர்க்கையில் எந்த ஒரு குணமும் அற்ற நிலை உருவாகிவிடுவதாகக் கொள்ளப்பட்டது. அப்படிப்பட்ட புதிய குணம் 'நிறம்' என்பதாகப் பிறகு பெயர் சூட்டப்பட்டது. நிறமாகிய குணம், சிவப்பு, பச்சை, நீலம் ஆகிய மூன்று நிறங்களில் உள்ளதாகக் கொள்ளப்பட்டது. இந்த மூன்று நிறங்களும் இணைந்தால், வெண்மை என்ற நிறமற்ற தன்மை உருவாவதாகவும், அதனால் இந்த மூன்று நிறச் சேர்க்கைகளால் உருவாகும் கனவான்கள் நிறமற்றவையாக உள்ளன என்றும் உள்ளான் படிவம் விரிவு செய்யப்பட்டது. அதாவது, ஒவ்வொரு கனவானும் மூன்று உள்ளான்களால் ஆனவை. அந்த மூன்று உள்ளான்களில் ஒன்று சிவப்பு உள்ளான், ஒன்று பச்சை உள்ளான், மற்றொன்று நீல உள்ளான் என்றுதான் அமையவேண்டும். எனவே மேல், கீழ், விந்தை ஆகிய மூன்றுவித உள்ளான்கள் ஒவ்வொன்றுமே மேற்சொன்னவாறு மூன்று வெவ்வேறு நிறங்களில் இருக்கவேண்டும். எனவே உள்ளான்கள் மொத்தம் மூன்று வகை என்பதிலிருந்து,

ஒன்பது வகை என்பதாக அடிப்படைத் துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்தது.

(1) சிமே (சிவப்பு மேல்); (2) சிகீ (சிவப்புக்கீழ்); (3) சிவீ (சிவப்பு விந்தை); (4) பமே; (5) பகீ; (6) பவீ; (7) நீமே; (8) நீகீ; (9) நீவீ.

இப்படி, ஒன்பது வகைப்பட்ட உள்ளான்கள் தேவைப்பட்டன. இங்கே நிறம் எனப்பட்டது, மெய் வாழ்வில், விழிப்புலப்பாட்டுக்கு உள்ளாகும் நிறம் போன்றதில்லை. அது ஒரு கணித நுட்பத்தின் விளைவாகக் கற்பித்துக்கொள்ளப்பட்ட குணமே தவிர, அது புலப்பாட்டுக்கு உட்படும் மெய்க்குணம் இல்லை. நேர்-சீர் சுழற்சி எப்படி மெய்ச் சுழற்சி இல்லையோ, அப்படியே உள்ளான் நிறமும் மெய்நிறம் இல்லை. இந்த நிறப்படிவத்தால் எதிர்ப்பாலையின் அமைப்பைப் பற்றிய சிக்கல் தீர்ந்ததென்றாலும், யுகவான்கள் அமைப்பைப் பற்றியொரு சிக்கல் எழுந்தது. யுகவான் ஒவ்வொன்றும் இரண்டு உள்ளான்களால் மட்டுமே ஆனது என்று மேலே சொல்லப்பட்டது. அப்படியானால் யுகவான் ஒவ்வொன்றும் நிறமுள்ளதாக இருக்கவேண்டுமே. ஆனால் இயற்கையில் அப்படி இல்லையே! இந்தச் சிக்கலைத் தீர்க்கப் பகையுள்ளான்கள் என்ற புதிய இனம் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. பகையுள்ளான் என்பது 'பகைநிறம்' என்ற குணம் உடையதாகக் கற்பித்துக்கொள்ளப்பட்டது. இந்தச் சிந்தனையோட்டத்தின்படி யுகவான் ஒவ்வொன்றும், உள்ளான்-பகையுள்ளான் என்ற கூட்டமைப்பாகத்தான் இருக்க முடியும். அதிலும் உள்ளானும், பகையுள்ளானும் ஒரே நிறம் உடையவையாகத்தான் இருக்க முடியும். எடுத்துக்காட்டாகச் சீர்க்குறிஞ்சி என்ற யுகவான் (கீழ் + பகை வீ) என்ற அமைப்புடையதாகையால், இதன் கீழ் - உள்ளானும், பகை-வீயுள்ளானும் ஒரே நிறம் கொண்டிருக்க வேண்டும். சிவ. கீ என்றால் பகை - சிவ.வீ; ப.கீ என்றால் பகை-ப.வீ; நீ.கீ என்றால் பகை-நீ.வீ. இப்படிப்பட்ட அமைப்புகளில் சிவப்பும் -பகைச்சிவப்பும், பச்சையும்-பகைப்பச்சையும், நீலமும்-பகைநீலமும் ஒன்றையொன்று சீர்செய்து, கூட்டமைப்பு யுகவானை நிறமற்ற துகளாகத் தோன்றச் செய்கின்றன. சீர்க்குறிஞ்சித் துகளில் கீ, பகைவீ ஆகியவற்றின் நிறம் மாறிக்கொண்டே இருக்கலாம்; ஆனால் எந்தக் குறிப்பிட்ட ஒரு நேரத்திலும் கீ-யின் நிறமும், பகை வீ-யின் நிறமும் ஒரே நிறமாகவே இருக்க வேண்டும். அதாவது எந்த ஒரு யுகவானும் ஓர் உள்ளான், ஒரு பகையுள்ளான் என்ற கூட்டமைப்பே; இவ்விருவகை உள்ளான்களும் ஒரே நிறமுள்ளவையாக எப்பொழுதும் இருக்கவேண்டும்; ஒன்று நிறம் மாறினால், அதனுடனேயே அடுத்ததும் அதே வித நிறமாற்றம் கொள்ளவேண்டும். இதுவே யுகவான் அமைப்பின் மாதிரிப் படிவம்.

துமியியல், அதாவது, துளிநிலை மின்காந்த இயக்கவியல், கற்றுத் தந்த பாடம் உள்ளான்களின் நிறவகுப்பு முறைமைக்கு உதவியது. இந்த முறைமை ஆங்கிலத்தில் 'க்வான்டம் க்ரோமோ டைனமிக்ஸ்' என வழங்கப்படுகிறது.

இதைத் தமிழில் 'துளிநிலை நிறவகுப்பு இயல்' எனச் சொல்லலாம்; சுருக்கமாகத் 'துளிநிறவியல்' அல்லது 'நிறவியல்' எனலாம்.

நிறவியல் பற்றித் தெரிந்துகொள்வதற்கு முன் உள்ளான்கள் பற்றிய இன்னொரு சிந்தனை 1964-லேயே தோற்றம் கொண்டு, 1974-ல் நிறைவு பெற்ற சிறிய வரலாற்றை நோக்கவேண்டியுள்ளது.

கனவான்களும், யுகவான்களும் சேர்ந்த கூட்டுக் குடும்பமன்றோ வல்லான் குடும்பம்? இந்தக் குடும்பத்தின் உறுப்புத் துகள் ஒவ்வொன்றுமே உள்ளான்கள் என்ற அடிப்படைத் துகள்களால் ஆனதாகத்தானே கெல் - மான் வகுத்திருந்தார்? வல்லான் குடும்பத்துக்கு வெளியே மெல்லான் குடும்பம் ஒன்று உண்டே! எதிரான், எற்றான், உதிரான், உற்றான் என நான்கு உறுப்பினர்களைக் கொண்டதுதானே மெல்லான் குடும்பம்? வல்லான் குடும்பத்தின் அடிப்படை உறுப்பினர்கள், மேல்உள்ளான், கீழுள்ளான், வீயுள்ளான் என்ற மூன்று துகள்களாக இருக்கும்போது, மெல்லான் குடும்பம் மட்டும் நான்கு உறுப்பினர்களைக் கொண்ட குடும்பமாகக் காணப்பட்டது. இது சீர்மைக் கணிப்புக்கு ஒத்து வரவில்லை. மேல், கீழ் என இரண்டு இணைநிலைகள் போல, வீக்கு இணையாக இன்னொரு நிலையில் இன்னுமோர் அடிப்படை உள்ளான் இருக்கக்கூடுமோ? ஜே. டி. ப்யார்க்கன் என்பவருடன் இணைந்து க்லேஷோ 1964- ஆம் ஆண்டு வெளியிட்ட ஆய்வுத்தாள் ஒன்றில், விந்தை உள்ளானுக்கு இணையுள்ளானாக ஒரு புதிய அடிப்படைத் துகள் உண்டு என்று தெரிவித்திருந்தார். அந்தத் துகள் ஆங்கிலத்தில், 'சார்மீட் க்வார்க்' என்றழைக்கப் பட்டது. அதைத்தமிழில் 'கவர்ச்சி உள்ளான்' எனலாம்; சுருக்கமாகக் 'கவுள்' எனக் குறியீடு செய்துகொள்ளலாம். 1964-ல் முன்மொழியப்பட்ட கவர்ச்சி உள்ளான் ஏறக்குறைய பத்தாண்டுகள் நிறுவப்படாமலேயே இருந்தது. 1974-ஆம் ஆண்டு கவுள் இருப்புக்கான ஆதாரம் சோதனை மூலம் கிடைத்தது. *ஸ்டீபென்* சாவ் சங் டிங் என்பவர் தலைமையில் ஒரு குழுவினர் ப்ரூக்ஹேவன் தேசியச் சோதனைக் கூடத்திலும், 'டர்டன் ரிக்டர்' என்பவர் தலைமையில் இன்னொரு குழுவினர் ஸ்லேக்-லாரன்ஸ் பார்க்லி சோதனைக் கூடத்திலும் கிட்டத்தட்ட ஒரே நேரத்தில் ஒரு புதிய துகளைச் சோதனை மூலம் கண்டறிந்து நிறுவினர். இரண்டு கண்டுபிடிப்புகளும் 1974, நவம்பர் மாதம், 11-ஆம் தேதியன்றே வெளியிடப்பட்டன. அந்தத் துகளுக்கு 'ஜே துகள்' என டிங் பெயரிட்டார். ரிக்டரோ அதற்கு 'ஸை' எனப் பெயரிட்டார். இறுதியில் அதற்கு 'ஜே-ஸை' என்ற பெயர் உறுதியானது¹². தமிழில் அதை எப்படி அழைப்பது? வல்லான் குடும்பத்தைச் சார்ந்த கனவான்கள் மூல்லை, குறிஞ்சி, மருதம், நெய்தல், பாலை என ஐந்து நிலப்பரப்புகளின் பெயர்களால்

ஏற்கனவே குறிக்கப்பட்டுவிட்டன. இனி, திணைகளுக்குரிய பூக்களின் பெயர்களான கொன்றை, வெட்சி, வாகை, நொச்சி, தும்பை போன்றவற்றை நாடலாம். ஜெஸை துகளை 'நொச்சித் துகள்' எனக் குறிப்பிடலாமே. நொச்சித் துகள் சுமார் 3097 மி. எடையுடையதாகக் கணிக்கப்பட்டது. அதன் தற்சுழற்சியின் மதிப்பு ஒரு மாத்திரை. அதற்கு விந்தைக் குணம் கிடையாது. அது மின்சீர்மை கொண்டது. அதன் சிதைவில் உதிரான்கள், மையான்கள், எதிரான்கள் போன்ற ஏற்கனவே அறிமுகமான துகள்களே வெளிப்படும். நொச்சித்துகள் கண்டுபிடித்ததற்காக, டிங், ரிக்டர் ஆகிய இருவருக்கும் 1976-ஆம் ஆண்டு நோபெல் பரிசு பகிர்ந்தளிக்கப்பட்டது. கனவான்கள் எல்லாம் மே, கீ, வீ என்ற மூன்று உள்ளான்களால் ஆனவையே என்ற கூற்றை நொச்சிக்குப் பொருத்திப் பார்த்த போது சிக்கல் விளைந்தது. கணித வழியில் எழுந்த சிக்கல்கள் இந்த நூலின் நிலைக்கு மேம்பட்டவை. எனவே, பொதுவாகப் புரிந்துகொள்ளக்கூடிய ஒரு சாதாரணமான சிக்கல் மட்டும் இங்கே விளக்கப்படுகிறது. நொச்சி கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு முன் இருந்த கனவான் துகள் பட்டியலில், விந்தைக் குணம் கொண்ட 'வி' கனவான்களே அதிக கனம் உடைய துகள்கள். கனவான்கள் எல்லாமே மூன்று உள்ளான்களால் ஆனவை. எனவே 'வி' கனவான்களின் அதிக எடைக்கு வீ உள்ளான்களே காரணம் என்பது தெளிவானது. மே, கீ உள்ளான்கள், வீ உள்ளான்களைக் காட்டிலும் கனம் குறைந்தவை என்று கருதப்பட்டன. அப்படியானால், மிக அதிக கனம் கொண்ட 'வி' கனவானாகிய எதிர்ப்பாலைத் துகளைவிட சுமார் இரண்டு மடங்கு அதிகக் கனமுடைய, விந்தைக் குணம் இல்லாத நொச்சித்துகள், (மே-மே-கீ) அல்லது (கீ-கீ-மே) என்ற கூட்டமைப்பாக எப்படி இருக்க முடியும்? எனவே விந்தைக் குணமற்ற, அதிக கனம் உடைய உள்ளான் இருந்தே ஆகவேண்டும். மேலும் கணித வழியில் கருதியதிலும் கவர்ச்சி உள்ளான் இருப்பு, நொச்சித்துகள் கண்டுபிடிப்பால் நிறுவப் பட்டதாகவே ஏற்கப்பட்டது. கவர்ச்சி என்ற எந்தக் குணத்தையும் நொச்சி வெளிப்படுத்தவில்லையே? அப்படியானால் நொச்சி என்பது, கவுள், பகைக்கவுள் என்ற இரண்டு உள்ளான்களின் கூட்டாக இருக்கவேண்டும். நொச்சித் துகள் மின்சீர்மை கொண்ட துகள். எனவே குறையெண் அளவு மின்பொதிவு கொண்ட மே, கீ, வீ ஆகிய வேறெந்த உள்ளானும் நொச்சியில் இருக்க முடியாது. எனவே கவுள்-பகைக்கவுள் என்ற இரண்டு உள்ளான்களின் கூட்டமைப்பே நொச்சி. எனவே கனவான்களைக் காட்டிலும் மிக அதிக கனமுடைய நொச்சித்துகள், அமைப்பு வழியில் ஒரு யுகவான் என்று தெளியப்பட்டது.

மேற்சொன்ன கூற்றின்படி மே, கீ, வீ, கவுள் என்ற நான்கு விதமான உள்ளான்கள் ஒவ்வொன்றும், சி, ப, நீ என்ற மூன்று நிறங்களிலும் வரக்கூடும் என்பதால், மூன்று உள்ளான்களாகத் தொடங்கிய அடிப்படைத் துகள்களின் பட்டியல்,

பன்னிரண்டு உள்ளான்களாக விரிவடைந்தது. இவற்றின் பகைத்துக்களையும் சேர்த்துக்கொண்டால் பட்டியல் இன்னும் நீளும்.

உள்ளான் படிவம் சிந்தனை நெறியில் ஒரு கட்டுக்கோப்பான முறைப்பாட்டுக்கு வழிகோலியது. ஆனால் உள்ளான் துகள் உண்மையில் உண்டா? ஏதாவது சோதனையில், 'இதோ உள்ளான்' என்று எவரேனும் கண்டதுண்டா? தூணிலும் உள்ளான், துரும்பிலும் உள்ளான் என்று கடவுள் பற்றிப் பிரகலாதன் சொன்னதை நம்பாமல் அவன் தந்தை ஆணவத்தோடு தூணை உதைத்ததும், தூண் பிளந்து நரசிங்க மூர்த்தியாக இறைவன் வந்தான் என்று சொல்லப்படுவதுபோல், எந்தச் சோதனையிலேனும், எவருக்கேனும், எந்த வடிவமாகவேனும், அறிகுறியாகவேனும் உள்ளான் வெளிப்பட்டுக் காட்சி தந்ததுண்டா? உள்ளான் உண்டா? யாரேனும் ஏதேனும் ஒரு வல்லாணைப் பிளந்து அதன் உள்ளமைப்பைப் புலத்தேர்வு செய்ததுண்டா? இல்லை. ஆனால் உள்ளான் உண்டென்பதற்கு நேரடிச் சான்று இல்லாதபோதும், மறைமுகச் சான்றுகள் உண்டு. அவற்றை இப்பொழுது நோக்குவோம் :

'ரதர்'ஃபர்ட் அணுக்கருவின் உள்ளமைப்பை அறிய என்ன செய்தார். அதையே செய்வோமே!' இப்படி ஒரு சிந்தனையோடு ஸ்டீன்'ஃபர்ட்-ஸ்லாக் சோதனைக் கூடத்தில், 1955-56 ஆண்டுகளில், ரா'பர்ட் ஹாஃப்ட்ஷ்டாட்டெர் தலைமையிலும், பிறகு 1967-75 ஆண்டுகளில், மேலும் நுட்பமாக, ஃப்ரிட்மென், கென்டால் டேலர் ஆகியோராலும் சோதனைகள் நடத்தப்பட்டன. இச்சோதனைகள் 'ஸ்டீன்'ஃபர்ட், சிதறல்கள்' என்றே அழைக்கப்பட்டன. எதிரான்கள் அணுக்கருவுக்குள் மிகுந்த ஆற்றலுடன் செலுத்தப் பட்டபோது, கருவானில் பட்டுச் சிதறிய எதிரான்களின் திசைமடக்கில் இருந்து ஓர் உண்மை தெளிவாயிற்று. கருவான் என்பது உள்ளடக்கங்கள் கொண்ட சிறிய பெட்டி என்பதே அந்த உண்மை. அந்த உள்ளடக்கம் ஒவ்வொன்றும் கடினமான, ஊசிமுனைபோல் உருவகிக்கப் படுமாறு இருந்தது. ஊசிமுனை போன்ற கடின உள்ளடக்கங்கள் உள்ளான்களோ?

இன்னொரு விதமான சோதனை முறையும் சிந்திக்கப்பட்டது. எதிரான்-புதிரான் ஆகிய பகைத்துக்களளை மிக அதிக ஆற்றலோடு மோதவிட்டால், அவை ஒன்றையொன்று அழித்துவிட அந்த அழிவில் வெளிப்படும் ஆற்றல் முழுவதும் சக்திவாய்ந்த மகரக் கதிர்களாக, அதாவது, ஒளிரான்களாக மாறும். பெரும்பாலும் இந்த ஒளிரான்கள் நிழலொளிரான்களாகவே இருக்கக்கூடும். தோன்றிய உடனேயே இந்த நிழலொளிரான்கள் இணை-இணையாகப் பகைத்துகள் இணைகளை மழைபோலப்

பொழியும். அப்படிப் பொழியும் பகைத்துகள் இணைகள் மெல்லான்களாக இருந்தால், அவற்றை நீள, அகல, ஆழமற்ற புள்ளித் துகள்களாகக் கொண்டு, துமியியற் கணிதத்தின் படி அவற்றின் விளைமதிப்பை, அதாவது, எவ்வளவு விரைவில் எவ்வளவு உருவாகின்றன என்ற மதிப்பைக் கணிக்க முடியும். அதேபோல், மழையாகப் பொழியும் துகள்கள் வல்லான்களாக இருந்தால், அவற்றுள் இருக்கும் உள்ளான்களைப் புள்ளித் துகள்களாகக் கொண்டு அவற்றின் விளைமதிப்பைக் கணிக்க முடியும். மெல்லான்குடும்பத்தைச் சேர்ந்த உதிரான் மழையும், வல்லான் மழையும் பொழியுமாறு சோதனைகள் நடத்தப்பட்டன. கணித நெறிப்படி இவை இரண்டின் விளைமதிப்புகளின் பங்குத் தொடர்பும் உள்ளான்களின் மின்பொதிவுத் தற்பெருக்கங்களின் கூட்டுத் தொகையும் நேர்ப்பங்குத் தொடர்புடையனவாக இருக்கவேண்டும். உள்ளான்கள் மூன்று மட்டுமே என்று கொண்டு கணக்கிட்டால் கிடைக்கும் விடை, சோதனையில் கண்டறிந்த மதிப்புடன் ஒத்திருக்கவில்லை. மின்பொதிவு கொண்ட புள்ளித் துகள்களின் விளைமதிப்பைக் கணிக்கத் துமியியல் கணிதம் ஒரு சமன்பாட்டைத் தந்திருந்தது. அதாவது, அப்படிப்பட்ட துகளுடைய மின்பொதிவின் தற்பெருக்க மதிப்பே, அத்துகளின் விளைமதிப்பு என்று இந்தச் சமன்பாடு உணர்த்துகிறது. ஓர் உதிரானைப் பொறுத்தமட்டில், அதன் மின்பொதிவு 1. எனவே அதன் தற்பெருக்கமாகிய 1^2 என்பதன் மதிப்பும் 1. உள்ளான் என்பதோ ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலுக்குக் கீழ் மூன்று விதம். அவற்றின் மின்பொதிவுகள் $2/3$, $+1/3$, $-1/3$ என வேறுபட்டவை. எனவே அவற்றின் மின்பொதிவுத் தற்பெருக்கத்தைக் கீழ்வருமாறு கணக்கிட வேண்டும்.

$$\left\langle \frac{2}{3} \right\rangle^2 + \left\langle \frac{1}{3} \right\rangle^2 + \left\langle \frac{-1}{3} \right\rangle^2 = \frac{6}{9} = \frac{2}{3}$$

இந்த மதிப்பை உதிரான் மின்பொதிவின் தற்பெருக்க மதிப்பாகிய 1 என்ற எண்ணால் வகுத்து வரும் விடையும் $2/3$.

இதன் பொருள்: மேற்சொன்ன இணைத்துகள் மழையில் உதிரானும், பகையுதிரானும் எத்தனை இணைகளோ, அதில் $2/3$ பங்கு உள்ளான் - பகையுள்ளான் இணைகள். ஆனால் 1972-ஆம் ஆண்டு ஸ்டீன் 'ஃபர்டில்' நிகழ்த்தப்பட்ட சோதனைகளிலோ, 'உதிரான்-பகையுதிரான்' விளைவைப்போல், 'உள்ளான்-பகையுள்ளான்' விளைவுகள் இரண்டு மடங்காகக் காணப்பட்டன. இந்தச் சிக்கலில் இருந்து விடுபட, மூன்று உள்ளான்கள் ஒவ்வொன்றும் மூன்று வெவ்வேறு நிறங்களில் வருவதாகக் கொண்டு, மேலே ' $2/3$ ' என்று வந்த மதிப்பை 3-ஆல் பெருக்கினால், '2' என்ற மதிப்பு உருவாகிறது. அப்பொழுது கணிப்பும் மெய்நிகழ்வும் ஒன்றோடொன்று ஒத்திருக்கின்றன.

எனவே, மூன்று உள்ளான்கள் ஒவ்வொன்றும் மூன்று நிறங்களில் வருவதாக நாம் கொண்ட முறைப்பாடு நிறுவப்படுகிறது. கிட்டத்தட்ட 3500 மி. ஆற்றல் நிலைகளில் எதிரான்-புதிரான் மோதவிடப்பட்டபோது உள்ளான்-பகையுள்ளான் விளைமதிப்பு, உதிரான்-பகையெதிரான் விளைமதிப்பை விட மூன்று மடங்குக்குச் சற்று கூடுதலாக இருந்ததாகக் கண்டறியப்பட்டது. இதுவும் உள்ளான் முறைப்பாட்டுக்கு ஒத்ததாக இருந்தது. காரணம், இந்தக் கூடுதல் ஆற்றல் நிலையில் கவர்ச்சி உள்ளான் தோன்றக்கூடும் என்பதாலும், கவுள் மின்பொதிவு 1/3 என்பதாலும், மூன்று நிறங்களில் கவுள் வரும் என்பதாலும், இந்த ஆற்றல் நிலையில் உள்-பகையுள் விளைமதிப்பு, கீழ்க்காணுமாறு கணிக்கப்படும்:

$$3 \left[\left\langle \frac{2}{3} \right\rangle^2 + \left\langle \frac{2}{3} \right\rangle^2 + \left\langle \frac{-1}{3} \right\rangle^2 + \left\langle \frac{-1}{3} \right\rangle^2 \right] = \frac{10}{3} = 3 \frac{1}{3}$$

4000 மி.க்கு மேற்பட்ட ஆற்றலில் இந்த மதிப்பு ஏறக்குறைய 5 ஆகப் பெறப்பட்டதால், மேல், கீழ், விந்தை, கவர்ச்சி என்ற நாலுவகை தவிர இன்னும் கூடுதல் வகை உள்ளான்கள் இருக்கக்கூடும் என்று உணரப்பட்டது.

ஆனாலும், வல்லான் ஒன்றை எப்படியாவது உடைத்து, உள்ளானை நேரடியாகக் கண்டுவிடுவதுபோல் இச்சான்றுகள் ஆக முடியுமா? அப்படி வல்லான்களுக்குள் இருக்கும் உள்ளான்களைப் பிரித்துத் தனித்து எடுக்கவே முடியாது. உள்ளான்கள் என்றுமே வல்லான் சிறைக்குள்ளேயே வாழவேண்டிய ஆயுள் தண்டனைக் கைதிகள். இவ்வாறு ஒரு கொள்கை முன்மொழியப்பட்டது. மிகவும் நெருங்கி இருக்கும் போது ஈர்ப்பும் தவிர்்ப்பும் இல்லாமல், கட்டுப்பாடின்றி இருக்கும் உள்ளான்கள், ஒன்றுக்கொன்று சிறிதளவு விலக நேர்ந்ததும் மிக ஆற்றல் வாய்ந்த சக்தியால் ஒன்றுக்கொன்று ஈர்ப்புக்கு உள்ளாகி மீண்டும் நெருக்கமான கட்டற்ற நிலைக்கே தள்ளப்படுகின்றன என்பதே இக்கொள்கையின் சாரம். இது எப்படி இயலும்? ஆங்கிலத்தில் 'இலாஸ்டிக்' எனப்படும் இழுவை, இயல்பான நிலையில் பதற்றம் இன்றித் தொளதொள என்று இருக்கும். ஆனால் அதை இழுத்தால் சிறிதளவு வரை எதிர்ப்பின்றி இழுபடும். மேலும் இழுத்தால் அதில் ஒரு பதற்றம் உண்டாகி இழுபட மறுக்கும்; எதிர்ப்பு உருவாகும். அதேபோல் உள்ளான்கள் நெருங்கி இருக்கும்போது கட்டுப்பாடின்றியும், அவற்றை விலக்க முயலும்போது கடுமையான வல்லாற்றலுக்கு உட்பட்டு விலக்கப்பட முடியாமல் எதிர்ப்பவையாகவும் உள்ளன. இது ஆங்கிலத்தில் 'கன்'பைன்மென்ட்' எனப்படுகிறது. தமிழில் இதை 'நிரந்தரச் சிறைக் கொள்கை' எனலாம். இப்படி உள்ளான்களைப் பிணித்து வைத்துள்ள வல்லாற்றலுக்குக் காரணமாக அமைவது சில புதிய துகள்களின் பரிமாற்றமே என்றும் கற்பித்துக்கொள்ளப்பட்டது. அணுக்கருவுக்குள் கருவான்கள் இடையே மையான் பரிமாற்றத்தால் எப்படி ஒரு வலிய பிணைப்பு சக்தி உருவாவதாக

உகாவா கற்பித்துக்கொண்டாரோ, அப்படியே கருவான்களுக்கு உள்ளேயும், மற்ற வல்லான்களுக்கு உள்ளேயும் நடைபெறும் ஒருவிதத் துகள் பரிமாற்றத்தால், மிகமிக வலிய பிணைப்பு சக்தி உருவாகி, உள்ளான்களை நிரந்தரச் சிறையில் வைத்துள்ளது என்று விளக்கப்பட்டது. இப்புதிய துகள்கள் 'கீலுவான்ஸ்' என்று ஆங்கிலத்தில் குறிக்கப்படுகின்றன. தமிழில் இவற்றைப் 'பிணைப்பான்கள்' எனலாம்.

நிறவியல் கணித விதிகளின் படி எட்டுவிதமான பிணைப்பான்கள் தேவைப்படுகின்றன. துமியியலில் மின்பொதிவு ஒருவகைப்பட்டதாக இருந்தது. அதனால் அதில் பரிமாறப்பட்ட துகளான ஒளிரான் ஒருவகைப்பட்டதாக இருந்தால் போதுமானதாக இருந்தது. ஆனால் நிறவியலில் மின்சாரத்துக்குப் பதில் நிறசாரம் எனக்கொண்டு மூன்றுவித நிறசாரங்களுக்கேற்பப் பரிமாற்றம் ஆகும் பிணைப்பான்கள் எட்டுவகைப்பட்டதாக இருக்கவேண்டியதாயிற்று. துமியியலில் பரிமாறப்படும் ஒளிரான் துகள்கள் மின்பொதிவற்றவை. ஆனால் பிணைப்பான்கள் நிறம் கொண்டவை எனக் கற்பித்துக் கொள்ளப்படவேண்டிய கட்டாயம் நிறவியல் படிவத்தில் ஏற்பட்டது.

பல சிக்கல்களும், நெருடல்களும் இருந்தபோதிலும், உள்ளான் படிவம் பெரிய வரவேற்பைப் பெற்றது. அதை அறிவியல் உலகம் ஏற்றுக்கொண்டது. கவர்ச்சி உள்ளான்கள் கொண்ட வல்லான் துகள்கள் எதுவும் கவர்ச்சி என்றொரு தனிக் குணத்தை வெளிப்படுத்தாததால், அப்படிப்பட்ட வல்லான் துகள்களில் 'கவர்ச்சி' ஒளிநீதிருப்பதாகக் கருதப்பட்டது. அதற்குக் காரணம், அத்தகைய வல்லான், கவுன்-பகைக்கவுன் கூட்டமைப்பாக இருப்பதே. நொச்சித்துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பத்து நாட்களிலேயே 3685 மி. கனம் கொண்ட இன்னொரு புதிய துகள் ஸ்டீன்'பர்ட் குழுவினரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அத்துகளில் இருந்து மிகச் சிறிய வேறுபாடுகள் கொண்ட துகள்கள் அடுத்தடுத்துக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவையெல்லாம் நொச்சித்துகளின் வெவ்வேறு பரபரப்பு நிலைகள் என்ற கருத்து உருவாகியது. 'சார்மோனியம்' என்றே இத்துகள்களின் முறைப்பாடு பெயர் பெற்றது. 'கவர்ச்சி நிரல்' என இதைத் தமிழாக்கிக் கொள்ளலாம். கவர்ச்சியை மறைத்துக் கொண்டிருக்கும் வல்லான்கள் போலன்றிக் கவர்ச்சியை வெளியே காட்டிக் கொண்டிருக்கக்கூடிய நிர்வாணத் துகள் இருக்கக்கூடுமோ? இருக்கலாம் என்று சில சோதனைகளில் தெரியவந்தது. (கவுன் - பகைக்கீழ்) என்ற கூட்டமைப்பு கொண்ட யுகவான் ஒன்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அது 1868 மி. கனம் கொண்டது. இதில் இன்னொரு நுட்பமும் தெரியவந்தது. மேலும் கீழும் இணைகுணங்கள் என்பதுபோல் விந்தையும் கவர்ச்சியும் இணைகுணங்கள். அதாவது கவர்ச்சித் துகள்கள் சிதைவில் கவுன் என்பது 'வீ' ஆகிறதே தவிர, பகை-வீ ஆவதில்லை. அதேபோல, பகைக்கவுன் என்பது பகை-

வீ ஆகிறதே தவிர வீ ஆவதில்லை. எடுத்துக்காட்டாக, கவுள்-பகைக்கீழ் என்ற கூட்டமைப்பாக மேலே சொல்லப்பட்ட துகளின் சிதைவில் இந்த நுட்பம் தெளிவாகிறது. அத்துகள் +1 மின்பொதிவு கொண்ட துகள். ஆங்கிலத்தில் q^+ என்று அது குறிக்கப்படுகிறது. தமிழிலும், அதை q^+ எனக் குறிப்பிடலாம்.

$$q^+ \rightarrow \text{குறி}^+ + 2\text{மை}^+$$

அதாவது q^+ துகள் சிதைவில் எதிர்க்குறிஞ்சி ஒன்றும், நேர்மையான்கள் இரண்டும் உருவாகின்றன. மின்பொதிவுப் பாதுகாப்பு விதி மீறப்படாமல், q^+ சிதைவு வேறொரு விதமாகவும் நிகழலாம். ஆனால் அப்படி நிகழ்வதில்லை. அது நிகழ்ந்தால் அது பின்வருமாறு எழுதப்படும்:

$$q^+ \rightarrow \text{குறி}^+ + \text{மை}^+ + \text{மை}^+$$

இது நிகழாததற்குக் காரணம், குறி⁺ என்பது 'மே-பகைவீ', அதாவது ஒரு மேல் உள்ளானும், ஒரு பகைவீ உள்ளானும் கொண்ட கூட்டமைப்பு. கவுள், பகைவீ ஆக முடியாது என்ற விதியே இது நிகழாததற்குக் காரணம். ஆனால் கீழ்வருமாறு நிகழ்கிறது.

$$q^+ \rightarrow \text{குறி}^+ + 2\text{மை}^+$$

ஏன் இப்படி நிகழ்கிறது? குறி⁺ என்பது வீ-பகைக்கீழ் கூட்டமைப்பு; இதில் கவுள், 'வீ' யாக மாறுவதால், இதில் விதிமீறல் ஏதுமில்லை.

உள்ளான்களின் எண்ணிக்கை பெருகிய வண்ணம் இருந்தது. மேல், கீழ், விந்தை, கவர்ச்சி என்று நாலுவகை உள்ளான்கள்; இவற்றில் ஒவ்வொன்றும் சி, ப, நீ என மூன்று நிறங்களில் உள்ளன. மொத்தம் 12 உள்ளான்கள். இவற்றின் பகையுள்ளான்கள் வேறு! இப்படி நீள்கிறது உள்ளான் பட்டியல். போதாக்குறைக்கு மே, கீ, வீ, கவுள் என்ற நாலுவகை தவிர கூடுதலாக, ஐந்தாவது, ஆறாவது வகை உள்ளான்கள் உண்டோ என்றும் ஆராயப்பட்டது. 'டாப்' என்றும், 'பாட்டம்' என்றும் இவ்வகைகளுக்கு ஆங்கிலத்தில் பெயர் சூட்டப்பட்டன. தமிழில் 'உச்சி' என்றும், 'அடித்தளம்' (சுருக்கமாகத் 'தளம்') என்றும் சொல்லலாம். உச்சி உள்ளான், தள உள்ளான் (குறியீடுகள், முறையே: உவுள், தவுள்) ஆகியவை இருக்கக்கூடும் என்பதைக் காட்டும் சோதனைகள் நிகழ்த்தப் பட்டன.

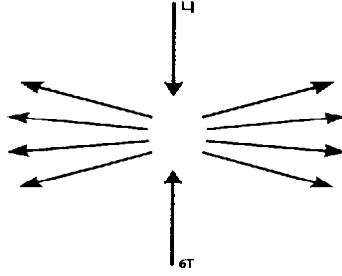
நாலுவகை உள்ளான்கள் மட்டும் இருந்தால், எதிரான் - புதிரான்

மோதலில் பொழியும் இணைதுகள் மழையில், உள்-பகையுள் விளைமதிப்பு $3^{1/3}$ யாக இருக்கும் என்பதும், சுமார் 3000 மி. ஆற்றலளவுச் சோதனைகளில் இதே மதிப்பு உருவானதும், மேலே விளக்கப்பட்டன. ஆனால் 4000 மி. என்பதைவிட அதிகமான ஆற்றல் நிலைகளில் இதே சோதனை நிகழ்த்தப்பட்டபோது, இந்த மதிப்பு ஏறக்குறைய 5 ஆக கண்டறியப்பட்டதும் மேலே சொல்லப்பட்டது. இந்தச் சிக்கல் விடுபடக் காரணமாக அமைந்த நிகழ்வே தளவுள்ளான் கண்டுபிடிப்பு. 1977-ஆம் ஆண்டு 'ஃபர்மி சோதனைக் கூடத்தில் லியான் லெய்டர்மென் தலைமையில் இயங்கிய குழுவினர் ஒரு புதிய துகளைக் கண்டு அறிவித்தனர்¹⁴. சுமார் 9400 மி.க்கு மேற்பட்ட கனமுடைய அத்துகள் 'அப்ஸிலான்' என்று அழைக்கப்பட்டது. தமிழில் இதை 'வெட்சி' என்று குறிப்பிடலாம். அந்தக் துகள் ஒரு யுகவான். எனவே அது இரண்டு உள்ளான்களின் கூட்டமைப்பே. மே, கீ, வீ, கவுள் ஆகிய நாலுவித உள்ளான்களில் எப்படியுமே இரண்டு உள்ளான்கள் சேர்ந்து 9400 மி. கனம் உடைய துகள் எதுவும் உருவாக முடியாது. எனவே ஐந்தாவதாக, ஒரு புதுவகை உள்ளான் இருக்கவேண்டும். அதுவே தள-உள்ளான் எனத் துணியப்பட்டது. சோதனைகள் மூலம் தள-உள்ளானின் மின்பொதிவு $-1/3$ என்று கணிக்கப்பட்டது. எனவே, வெட்சித்துகள் என்பது தளம்-பகைத்தளம் என்ற கூட்டமைப்பே. அது மின்சீர்மை கொண்டது. காரணம் , தளத்தின் மின்பொதிவு $-1/3$; பகைத்தளத்தின் மின்பொதிவு $+1/3$. இது, தளம்-பகைத்தளம் கூட்டானதால், இதில் தளம் என்ற குணம் மறைந்துள்ளது. தளம் என்ற குணம் வெளிப்படக்கூடிய துகள்கள் தேடப்பட்டு வருகின்றன. மேல், கீழ் என்ற உள்ளான்கள் ஒரு ஜோடி; விந்தை, கவர்ச்சி ஆகிய இரண்டும் ஒரு ஜோடி; இதேபோல் தளம்-உச்சி ஒரு ஜோடி என்பதாகக் கற்பித்துக் கொண்டு, உச்சி உள்ளான்கள் தேடும் முயற்சி தொடர்கிறது. தளம் என்ற குணத்தை வெளிப்படுத்தக்கூடிய யுகவான்கள் சோதனைகளில் புலத்தேர்வுக்கு உள்ளாயின என்று சொல்லப்படுகிறது. இந்த வகை யுகவான்கள் 'பீ'மெஸ்ஸான்ஸ்' என்று ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படுகின்றன. தமிழில் இவற்றைக் 'கொன்றைத் துகள்கள்' என்று குறிப்பிடலாம். இதேபோல் உச்சி உள்ளான் கொண்ட துகள்கள் புலத்தேர்வுக்கு உட்பட்டன என்றும் சொல்லப்படுகிறது.

மேலும், கிட்டத்தட்ட 20000 மீ. ஆற்றலளவு கொண்ட எதிரானும், அதே அளவு ஆற்றல் கொண்ட புதிரானும் மோதிக்கொண்டு ஒன்றையொன்று அழித்துக்கொண்டு வெறும் ஆற்றலாகத் திரிபடைந்து, அந்த ஆற்றலில் பல வல்லான் துகள்கள் உருவாகிச் சிதறும் நிகழ்வுகள் சோதனைகளில் கவனிக்கப்பட்டன.

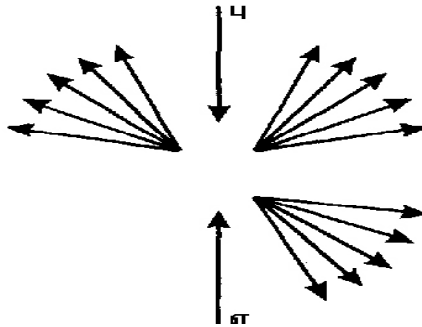
'ஜர்மனி நாட்டிலுள்ள ஹைம்'பர்க் என்ற இடத்தில் இருக்கும் டேஸி

சோதனைக் கூடத்தில் 1978-ஆம் ஆண்டு, இவ்வாறு சோதனை செய்யப்பட்டதில் ஒரு நிகழ்வு புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டது. அதாவது, எதிரானும், புதிரானும் மோதி ஒன்றையொன்று அழித்துக்கொண்டதில், வல்லான் துகள்கள் எதிரெதிர்த்திசைகளில் பிரிந்து, இரண்டு அணிகளாய் விரைந்தன. கீழ்க்காணுமாறு இந்த நிகழ்வைப் படம் வரைந்து புரிந்து கொள்ளலாம்.



(படம் 17)

இந்த நிகழ்வின் அர்த்தம் என்ன? எதிரான்-புதிரான் மோதலில் முதலில் ஓர் உள்ளான்-பகையுள்ளான் உருவாகி, அவ்விரண்டும் எதிரெதிர்த்திசைகளில் பிரிந்து, ஒவ்வொன்றும் சில வல்லான்களாக அணிவகுத்துப் பறந்தன என்றே மேற்சொன்ன நிகழ்வைப் புரிந்துகொள்ளலாம். இந்நிகழ்வில் உள்ளான் இருப்பு மிக உறுதியாக நிறுவப் பட்டதாகச் சில அறிஞர்கள் கருதுகின்றனர்¹⁷. 20000 மி. என்ற அளவுக்கு மேற்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளில் இரண்டுக்கு பதில், மூன்று அணிகள் கூடப் புலப்பட்டன.



(படம் 18)

இதன் விளக்கம்; இரண்டு உள்ளான்களுக்கு இடையே பரிமாற்றம் செய்யப்படும் நிழல் பிணைப்பான் ஒன்று கூடுதல் ஆற்றலால் மெய்ப்பிணைப்பானாகப் பிரிந்து வேறு திசையில் விரைய, அது தோன்றிய உடனேயே வல்லான்களாக உருப்பெற்று மேற்கண்டவாறு மூன்றாவது அணியைத் தோற்றுவிக்கிறது. இவ்வாறாக மூன்றாவது அணி உருவாகும் நிகழ்வு, உள்ளான் இருப்பை மட்டும் அன்றிப் பிணைப்பான் இருப்பையும் நிறுவுவதாகக் கருதப்படுகிறது. டேஸி கூடத்தில் 1979-ஆம் ஆண்டு மூன்று அணிவகுப்பு நிகழ்வு புலத்தேர்வுக்கு உள்ளானது.

1975-ஆம் ஆண்டு, ஸ்டீன்`ஃபர்ட் கூடத்தில் 'பரல் என்பவர் தலைமையில் இயங்கிய குழுவினர் புதிய மெல்லான் ஒன்றைப் புலத்தேர்வு செய்தனர்¹⁸. ஆங்கிலத்தில் இது 'டாவ்' எனப்படுகிறது; தமிழில் 'முத்தான்' எனலாம். இந்தத் துகளோடு சேர்ந்து மெல்லான்கள் மூன்று வகையாயின: எதிரான், உதிரான், முத்தான். எதிரானுக்கென ஒன்றும், உதிரானுக்கென ஒன்றுமாக, எற்றான், உற்றான் என்று இரண்டுவகைச் சிற்றான்கள் இருத்தல்போல, முத்தானுக்கென 'முற்றான்' என்றொரு சிற்றான் இருக்கலாமோ? தேடல் தொடர்கிறது.

குறிப்புகள்:

1. Wigner, *Physical Review* 51, 1937, page 106.
2. *Nachr. Kgl. Ges. Wiss. Gottingen* 235, 1918.
3. *Physical Review* 95, 631, 1954, page 96 and 191.
4. M. Gell-Mann and Y. Ne'eman, "*The Eightfold Way*", Benjamin, New York, 1964.
5. *Proceedings of Royal Society*, 12, 1964, page 204.
6. "*On the Shoulders of Giants - The History of Science*", Ray Spangenburg and Diane K. Moser, University Press (India) Limited, 1999, Page 30.
7. *Physical Review*, 8, 1964, page 214.
8. 1964-ஆம் ஆண்டில் ஜீ*வைக் எழுதிய ஆய்வுத்தாள் வெளியிடப்படாமலேயே இருந்து, 1980-ஆம் ஆண்டில் வெளியான ஒரு நூலில்தான் அது இடம் பெற்றது. [D. B. Lichtenburg and S. P. Rosen, "*Developments in the Quark Theories of Hadrons*", Volume I, Hadronic Press, Mass., 1980].
9. *Proceedings of Royal Society*, 13, 1964, page 598.
10. *Physical Review* 139 B, 1965, page 1006.

11. *Physics Letters*, 11, 1964, page 255.
12. “*Adventures in Experimental Physics*” ed. B. Haglich, World Science Education, Princeton, New Jersey, 1976 (see three essays at pages 115, 131 and 143).
13. For details see:
 - a) W. K. H. Panofsky, *International Proceedings on High Energy*, Vienna 1968, CERN, Geneva, 1968, page 23.
 - b) E.D. Bloom, et.al., *Physical Review Letters* 45, 1980, page 219.
14. *Physical Review Letters*, 39, 1977, page 252.
15. *Physical Review Letters*, 45, 1980, page 219.
16. *Physics Letters*, 147B, 1984, page 493.
17. “*Quarks, The Stuff of Matter*”, Harold Fritzsch, Pelican Books, United Kingdom, 1984, page 146-152.
18. *Physical Review Letters*, 35, 1975, page 1489;
Physics Letters, 63 B, 1976, page 466.

27. துகள் அரிச்சுவடி

சென்ற அதிகாரத்தில் உள்ளான் படிவம் என்பதை வியப்போடு விவரித்த படியே நாம் 1979-ஆம் ஆண்டு வரை விரைந்து வந்துவிட்டோம்; இடையில் தடுக்கிய தடைக்கற்களைப் பொருட்படுத்தாமல்; அங்கங்கே மின்னிமின்னி வழிகாட்டிச் சிரித்த சிறிய சடர்களைக் கண்டுகொள்ளாமல்; எப்படி விரைந்து மூச்சிரைக்க ஓடி வந்து விட்டோம்! நடுவில் நாம் கவனிக்கத் தவறிய ஓரிரு வளர்ச்சிகளையும், சில சிக்கல்களையும் இப்பொழுது ஒரு நீண்ட மூச்சை உள்ளிழுத்து விட்டுக்கொண்டு, சற்று ஓய்வான நிலையில் கவனிக்க முற்படலாமே!

1967-68 ஆண்டுகளில் மின்காந்த சக்தியையும், மெல்-சக்தியையும் ஒருங்கிணைத்த கருத்தோட்டங்களை ஸ்டீவன் வைன் பர்க் என்பவரும் அப்துஸ் சலாம் என்பவரும் தனித்தனியே, ஆனால் ஒருவர் கருத்தை மற்றவர் அறியாமலேயே, வெளியிட்டனர்¹. இந்தக் கருத்தோட்டத்தைச் செப்பனிட்டு, அதை மேலும் ஏற்படையதாக்கிய பெருமை ஷெல்டன் க்லேஷோ என்பவருக்கு உரியது². இந்தக் கருத்தோட்டத்தை அப்படியே விளங்கிக்கொள்ள, கணிதத்தில் மிகவும் நுட்பமான மேல்நிலைத் தேர்ச்சி தேவை. இந்த நூலின் நிலைக்கு அது மிகவும் அதிகம் என்பதால், இந்தக் கருத்தோட்டத்தின் சாரத்தை மிக எளிமையாக, ஓரளவு புரிந்துகொள்ளும் முயற்சியில் இப்பொழுது ஈடுபடுவோம்.

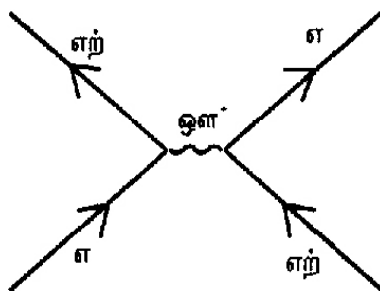
துமியியல் கருத்தோட்டத்தின்படித் துகள் பரிமாற்றத்தால், எப்படி மின்காந்தப் புலம் விளைவதாகச் சொல்லப்பட்டதோ, அப்படியே மென்புலத்துக்குக் காரணமாக ஒருவிதத் துகள் பரிமாற்றம் நடக்கக் கூடுமோ? மென்புலக் கொள்கையை வகுத்த போதே 'ஃபர்மிக்கு இச்சிந்தனை தோன்றியிருந்தும், அந்தக் கருத்தை மேலும் விரிவு செய்ய அப்பொழுது காலம் கனிந்து வரவில்லை. யாங்-மில் களம் என்ற கருத்தீடு 1954-ல் முன்மொழியப்பட்டு உடனடி வெற்றி பெறாமல் முடங்கிவிட்ட செய்தி முன்பே சொல்லப்பட்டது. அந்தக் கருத்தீட்டைத் தூசி தட்டி எடுத்துப் பயன்படுத்தி, அதை மென்புலத்துக்குப் பொருத்திப் பார்த்தபோதுதான் மேற்சொன்னவாறு, க்லேஷோவால் செப்பனிடப்பட்ட மின் - மென் புலக் கொள்கை வெளிப்பட்டு, வெற்றி கண்டது. இதைச் சுருக்கமாக, 'மின்-மென்' 'கொள்கை' என்று குறிப்பிடலாம்.

மின்புலத்தில் பரிமாற்றம் ஆகும் துகள் ஒளிரான். இது சற்றும் கனமற்ற துகள். ஆனால் மென்புலத்தில் பரிமாற்றம் ஆகும் துகளோ கனமுடைய துகளாக இருக்கவேண்டிய கட்டாயம் ஏற்பட்டது. மேலும், ஒளிரான் என்பது மின்பொதிவு இல்லாத துகள். ஆனால் மென்புலத் துகளோ நேர், எதிர், சீர் என மூன்றுவித மின்பொதிவுத் துகள்களாக இருக்கவேண்டிய கட்டாயமும் ஏற்பட்டது. அந்த மூன்று துகள்களையும் 'ஒள+', 'ஒள', 'ஃ' எனக் குறியீடு செய்துகொள்ளலாம். இவற்றில், 'ஃ' மின்சீர்மையுடைய துகள். மூன்றுமே நிழல்துகள்கள். 'க்ரூப் தியரி' என்று ஏற்கனவே சொல்லப்பட்ட கணித நுட்பத்தைப் பயன்படுத்திப் பார்த்ததில் இந்த மூன்று துகள்களுடன் நாலாவதாக ஒரு துகள் சேர்ந்து, ஆங்கிலத்தில் 'க்ரூப்' எனப்படும் ஒரு கூறு அமையப் பெற்றதாக உணரப்பட்டது. இந்தக் கூறின் மூன்று துகள்கள் கனம் உடையவையாகவும், நாலாவது துகள் கனம் அற்றதாகவும் அந்தக் கணித நுட்பத்தின்படி இருந்தாக வேண்டியிருந்தது நாலாவது துகள், கனமும் மின்பொதிவும் அற்ற ஒளிரான் என்பது உணரப்பட்டது. இந்தத் தெளிவே மின்-மென் புலங்களின் இணைப்புக்கு ஒரு கொள்கை வகுக்க வழிகோலியது. மின்-மென் கொள்கை முதலில் வரம்பின்மைகளால் பீடிக்கப்பட்டு, அந்த வரம்பின்மைகளை இயல்பாக்க முடியாத சிக்கலில் திணறிக்கொண்டு இருந்தபோது, ஜெரார்ட் டி ஹீஃப் என்பர் இளைஞர் அதை இயல்பாக்கலுக்கு உட்படுத்திச் சிக்கலைத் தீர்த்து வைத்தார்³.

மெல்லாற்றலால் ஏற்படும் தொடர்பியக்கங்களில் திசைச்சமன விதி பாதுகாக்கப்படுவதில்லை என்று முன்பே சொல்லப்பட்டது. மெல்லியக்கத்தில் வெளியேறும் துகள்கள் இடதுபக்கச் சார்புடையனவாய் இருத்தலும் முன்பே சொல்லப்பட்டது. 'ஒள+', 'ஒள', 'ஃ' ஆகிய நிழல்துகள்கள், இடப்பக்கச் சார்புடைய மெல்லான்களோடும், உள்ளான்களோடும் மட்டுமே தொடர்பியக்கத்தில் ஈடுபடும் என்று மின்-மென் கொள்கையில் கணிக்கப்பட்டது. 'ஒள+', 'ஒள' ஆகிய இரண்டும் இந்தக் கணிப்பை உறுதி செய்தன. ஆனால் 'ஃ' என்ற ஆயுதத் துகள் மட்டும் இந்தக் கணிப்பின்படி அமையவில்லை. அது இட, வலச் சார்புடைய இரண்டு விதத் துகள்களோடும் தொடர்பியக்கத்தில் ஈடுபடும் மெய்மை 1977-ஆம் ஆண்டு, சில சோதனைகளில் தெளிவாகியது.

மேலும் அறியப்பட்டது என்னவென்றால், 'ஒள+', 'ஒள' ஆகிய இரண்டு நிழல்துகள்களும் எந்தத் துகள்களோடு தொடர்பியக்கத்தில் ஈடுபட்டாலும், அந்தத் துகள்களை வேறுவகைத் துகள்களாக மாற்றிவிடுகின்றன.

கீழ்வரும் படம் இதை விளக்குகிறது:



(படம் 19)

அதாவது ஓர் எதிரானும், ஓர் எற்றானும் மோதிச் சிதறும் இயக்கத்தில், எதிரான், ஓள⁺ என்ற நிழல்துகளை உமிழ்ந்து, அதனால் எற்றானாகி, ஓள⁺ வெளிப்பாட்டால், அந்த எற்றான் சற்றே பின்னடைவு கொண்டு, சிறிது திசைதிரும்பி விரைகிறது. எதிரான் உமிழ்ந்த ஓள⁺ நிழல்துகளை எதிரானுடன் மோத வந்த எற்றான் உட்கொண்டு, அது எதிரானாகித் திசை திரும்பி விரைகிறது. இந்த நிகழ்வு ஓர் எதிரானும், ஓர் எற்றானும் மோதிச் சிதறி, விலகி, விரைவதாகத் தோன்றுகிறது. ‘’ என்ற ஆயுதத் துகள் இப்படிச் செய்வதில்லை.

எனவே ‘ஃ’ துகள் ஈடுபடும் இயக்கங்களில் ‘சீர் மென்சாரம்’ என்ற ஒரு புதுவகை மென்சாரம் விளைவதாகக் கருதப்பட்டது. இந்தப் புதிய வகை சீர்மென்சாரம் 1973-ஆம் ஆண்டு புலத்தேர்வுக்கு உள்ளாகி நிறுவப்பட்டது⁴.

ஓள⁺, ஓள⁻ துகள்கள் ஒவ்வொன்றும் சுமார் 40 நேரான்களுக்குச் சமமான கனம் கொண்டதாகவும், ‘ஃ’ துகள் சுமார் 80 நேரான்களுக்குச் சமமான கனம் கொண்டதாகவும் முதலில் கணிக்கப்பட்டன. பிறகு இவை முறையே 800 மி., 900 மி., என்று திருத்தப்பட்டன. திருத்தப்பட்டவாறே, ஏறக்குறைய அவற்றின் கனங்கள் 1983-ல் கண்டறியப்பட்டன. இந்த மூன்று துகள்களின் தற்சுழற்சி மதிப்பும் ‘1’ எனவே இவை போஸான்கள். நான்கு ‘ஃ’ பர்மியான்கள் ஈடுபடும் மெல்லியக்கங்களிலெல்லாம் நிழல் போஸான்கள் பரிமாற்றம் நிகழ்வது இவ்வாறு நிறுவப்பட்டது. மேலும் மின்-மென் கொள்கையை விரிவு செய்தால் இந்த நூலின் நிலைக்கு மிகவும் மேம்பட்ட கணித நூட்பங்களோடு போராட வேண்டியவரும். மின்-மென் கொள்கைக்காக வைன் பர்க், சலாம், க் லேஷோ ஆகிய மூவருக்கும் 1979-ஆம் ஆண்டு நோபெல் பரிசு பகிர்ந்தளிக்கப்பட்டது. 1983-ஆம் ஆண்டு, ஜெனிவாவில் உள்ள ஸர்ன் கூடத்தில்

கார்லோ ருபையா, ஸைமன் வேன் டெர் மீர் இருவரும் இணைந்து, சோதனை வழியில், ஓள⁺, ஓள⁻, ஃ ஆகிய துகள்களின் மெய்மையை நிறுவினர்⁵.

குறிப்புகள்:

1. a) *Physical Review Letters*, 19, 1967, page 1264.
b) A. Salam: “*Elementary Particle Theory*”, ed. N. Svartchholm, Almqvist and Wiksell, Stockholm, 1968, page 367.
2. *Review of Modern Physics*, 52, 1980, page 53.
3. *Nuclear Physics*, B 33, 1971, page 173.
4. *Physics Letters*, 46 B, 1973, pages 121 and 138.
5. *Physics Letters*, 122 B, 1983, page 103.

28. அலகிலா விளையாட்டு

ஒள⁺, ஒள, ஃ ஆகிய துகள்களின் இருப்பு 1983 - ஆம் ஆண்டு நிறுவப்பட்டது என்று சென்ற அதிகாரத்தின் இறுதியில் சொல்லப்பட்டது. அதற்கு ஓராண்டு முன்பாக நடந்த ஒரு சோதனையை நாம் இப்பொழுது நோக்கவேண்டியுள்ளது. ஆஸ்பெக்ட் என்பவர் தலைமையில் 1980 - 81 ஆண்டுகளில் நிகழ்த்தப்பட்ட ஒரு சோதனையின் முடிவு 1982-ல் வெளியானது¹. அது அறிவியல் உலகில் பெரும் பரபரப்பை ஏற்படுத்தியது. அதன் விவரங்களைத் தெரிந்துகொள்வதற்கு முன் நாம் காலத்தால் முற்பட்ட சில நிகழ்ச்சிகளைத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

ஹைஸன் 'பர்க் முன்மொழிந்த உறுதியின்மைக் கொள்கை ஐன்ஷ்டைனுக்கு ஏற்படையதாகவே தோன்றவில்லை. அந்தக் கொள்கையின் அடிப்படையில் விவரிக்கப்பட்ட 'க் யோபென் ஹெளன் * விளக்கம்' என்ற பெயர் பெற்ற துளிநிலைக் கொள்கையை எதிர்ப்பதிலேயே தம் வாழ்நாளின் கடைசி 27 ஆண்டுகளை ஐன்ஷ்டைன் வீணாக்கியதாகச் சொல்லப்படுகிறது. 'கடவுள் பகடை உருட்டுவதில்லை' என்பது அவருடைய வாதம். உறுதியின்மைக் கொள்கையின்படி ஒரு சிற்றணுவின் விசை, இடக்குறிப்பு ஆகிய இரண்டையும் ஒரே நேரத்தில் அறிய முடியாது. க்யோபென்ஹெளன் விளக்கம் இந்தக் கொள்கைக்கு ஒரு காரணம் கூறியது. ஒரு துகளின் விசை, இடக்குறிப்பு இரண்டையும் ஒரே நேரத்தில் நாம் அறிய முடியாமற் போவதற்கு நம்மிடம் உள்ள கருவிகளின் குறைபாடு காரணம் இல்லை என்றும், சிற்றணுத் துகள்கள் இயல்பிலேயே அப்படிப்பட்டவையாக இருப்பதே அதற்கான காரணம் என்றும் விளக்கப்பட்டது. ஒரு துகள் பல வாய்ப்புக்கூறு நிலைகளின் கூட்டாகவே இருக்கும் என்றும், அதன் நிலையை நாம் அளக்க முற்படும்போதுதான் அது ஏதேனும் ஒரு நிலையை மேற்கொள்கிறது என்றும், இதுவே உறுதியின்மைக்கான காரணம் என்றும் விளக்கப்பட்டது. அந்த விளக்கம் மிகவும் புதிராகத் தோன்றியது. அதை ஓரளவு கீழ்வருமாறு விளங்கிக்கொள்ளலாம்.

எல்லாப் பக்கங்களிலும் அடைக்கப்பட்ட ஒரு பெட்டிக்குள் எப்படியாவது ஓர் எதிரானைச் செலுத்தினால் அது அந்தப் பெட்டிக்குள் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் எங்கே இருக்கும்? பெட்டி முழுவதும் பரவியிருக்கும் அலைகளாகவே அது இருக்குமாம்; யாரேனும் அதைப் புலத்தேர்வு செய்ய முனையும் வரை அது அப்படித்தான்

* ['கோப்பன்ஹேகன்' என்று பரவலாக அழைக்கப்படும் ஊரின் பெயர், அந்த ஊர்

மொழியில், 'க்யோபென்ஹெளன்' என்றே வழங்கப்படுகிறது.]

இருக்குமாம். அதை யாராவது புலத்தேர்வு செய்ய முனையும் கணத்தில் அதன் அலைத்தன்மை குலைந்து, ஒரு புள்ளித் துகளாய்ப் பெட்டியின் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் அது புலத்தேர்வு செய்யப்படுமாம். இதுதான் க்யோபென்ஹெளன் விளக்கம்.

மேற்சொன்ன புதிரான விளக்கத்தை மறுப்பதற்காக ஐன்ஷ்டைன் பல வாதங்களை முன்வைத்தார். அவற்றுள் மிகவும் குறிப்பிடத்தக்க வாதம் 'ஈபீஆர் சோதனை' என்பதாக அழைக்கப்படுகிறது. ஐன்ஷ்டைன், போடோல்ஸ்கி, ரோஸன் ஆகிய மூவர் இணைந்து சிந்தித்து வடிவமைத்ததால், அந்த மூவருடைய பெயர்களின் ஆங்கில முதல் எழுத்துகளை (ஈ, பீ, ஆர்) வைத்து இப்பெயர் தரப்பட்டது. நாமும் அப்படியே குறிப்பிடலாம்.

அந்தச் சோதனை ஒரு கற்பனைச் சோதனை. இரண்டு துகள்கள் ஒரு தொடர்பியக்கத்தில் ஈடுபட்டு உடனே பிரிந்து, வெவ்வேறு திசைகளில் விரைகின்றன என்று கற்பனை செய்துகொள்வோம். அவ்விரு துகள்களும் தொடர்பியக்கத்தில் ஈடுபட்ட கணத்தில், அந்த இயக்கத்தின் மொத்த விசையை மிகச் சரியாக அளப்பது எளிதே. அவ்வியக்கம் முடிவற்று, இரு துகள்களும் பிரிந்து செல்லும்போது, அவை இரண்டுமே வேறு எந்தத் துகளோடும் எந்தத் தொடர்பியக்கத்திலும் ஈடுபடாமல் விரைகின்றன என்று வைத்துக்கொள்வோம். அவ்விரு துகள்களின் தனித்தனி விசைகளின் கூட்டு மதிப்பு 'வி1 + வி2' என்றும், அவை பிரியும் முன் ஈடுபட்ட தொடர்பியக்கத்தின் விசைமதிப்பு 'வி0' என்றும் வைத்துக்கொள்வோம். விசைப் பாதுகாப்பு விதியின்படி, இந்த இரண்டு மதிப்புகளும் வேறுபடவே முடியாது. எனவே அவை பிரிந்து வெவ்வேறு திசைகளில் விரையும்போது, ஒன்றின் விசையையும் மற்றொன்றின் இடக்குறியையும் ஒரே கணத்தில் அளக்க முடியுமே. எதன் இடக்குறியை மட்டும் அளந்தோமோ, அதன் விசை என்பது, முதல் தொடர்பியக்க விசைமதிப்பில் இருந்து, நாம் பிறகு அளந்த மற்றொரு துகளின் விசையைக் கழிப்பதால் விளையும் மதிப்புதானே? எனவே ஒரே நேரத்தில் ஒரு துகளின் விசையையும், இடக்குறிப்பையும் அறிந்துகொண்டுவிடலாமே! அதாவது, வி0 - வி1 = வி2. எனவே, பிரிந்த பிறகு, வி1 விசை கொண்ட துகளின் விசையையும், வி2 விசை கொண்ட மற்றொரு துகளின் இடக்குறிப்பையும் அளந்து பெற்றுவிடலாம். வி1-ல் இருந்து வி2-வைச் சரியாகக் கணிக்கலாமே. உறுதியின்மைக் கொள்கையை முறியடித்துவிடலாமே. ஒருவேளை முதல் துகளின் வி1 என்ற விசை மதிப்பை அளக்கும் கணத்திலேயே அதன் இடக்குறிப்பின் மதிப்பு மட்டும் அன்றி, இரண்டாவது துகளின் இடக்குறிப்பின் மதிப்பும் மாறுபடலாம் அன்றோ? அப்படி

நிகழவேண்டும் என்றால், முதல் துகளின் விசை அளக்கப்படும் கணத்திலேயே, அது அவ்வாறு அளக்கப்படும் செய்தி தொலைவில் உள்ள இரண்டாவது துகளைச் சென்று அடையவேண்டுமே! அது எப்படி இயலும்? ஒளியின் வேகத்தில் அச்செய்தி அனுப்பப்பட்டால் கூட, அது முதல் துகளில் இருந்து இரண்டாவது துகளை அடையச் சற்று கால இடைவெளி தேவையே! ஒளியை விட எதுவும் வேகமாகச் செல்ல இயலாதே!

இதுதான் ஈபிஆர் வாதம். ஆனால், பிறகு செய்யப்பட்ட சோதனைகள் க்யோபென்ஹெளன் விளக்கத்தையே உறுதி செய்வதாக அமைந்தன. 1980-81 ஆண்டுகளில் ஆஸ்பெக்ட் நடத்திய சோதனை ஈபிஆர் வாதத்தை முறியடித்து உறுதியின்மைக் கொள்கையை உறுதியாக நிலைநாட்டியது. அச்சோதனை 'ஆஸ்பெக்ட் சோதனை' என்றே அழைக்கப்படுகிறது.

ஈபிஆர் சோதனையைச் சற்றே திருத்தி டேவிட் பாம் என்பவர் 1952 - ஆம் ஆண்டில் ஒளிரான்களை வைத்து ஒரு கற்பனைச் சோதனை வடிவமைத்தார்³. 1964 - ஆம் ஆண்டில் ஜான் பெல் என்பவர், அப்படித் திருத்தப்பட்ட வடிவில், ஈபிஆர் சோதனை நடைமுறையில் செய்துபார்க்கக்கூடியதே என்று காட்டினார்⁴. இறுதியாக 1980-81-ல், பெல் சொன்னவாறே அச்சோதனையை மெய்யாகவே நிகழ்த்தி, ஐன்ஷ்டைனுடைய வாதம் தவறென்று ஆஸ்பெக்ட் குழுவினர் நிறுவினார்கள். ஆம், ஆஸ்பெக்ட் சோதனையில் எதிரெதிர்த் திசை முனைப்புகளில் புறப்பட்ட இரண்டு ஒளிரான்களில், ஒன்றின் முனைப்பு அளக்கப்பட்டபோது, மற்றொன்றின் முனைப்பும் அதற்கேற்ப மாறிய நிகழ்வு புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டது. இந்த நிகழ்வு துளிநிலைக் கொள்கை பற்றிய க்யோபென்ஹெளன் விளக்கத்தை நிறுவியதோடு அல்லாமல், பொதுவான சிந்தனை வழியையே தடம்புரளச் செய்தது. எப்படி? இரண்டு பொருள்கள், எவ்வளவு தொலைவுள்ள இடைவெளியால் பிரிக்கப்பட்டிருந்தாலும், அவை ஏதோ ஒருவிதத்தில் தொடர்புகொண்டு, ஒன்றை மற்றொன்று மாற்றத்திற்கு உள்ளாக்கும் புதிரை அன்றோ அச்சோதனை நிறுவியது! எதை மறுக்க ஐன்ஷ்டைன் ஈபிஆர் வாதத்தை வடிவமைத்தாரோ, அதை நிறுவவே அந்த வாதம் உதவியது. ஆஸ்பெக்ட் சோதனை நடந்தேறியபோது ஐன்ஷ்டைன் உயிரோடு இல்லை. இருந்திருந்தால் என்ன சொல்லியிருப்பார்?

இடத்தொலைவால் பிரிக்கப்பட்ட பிறகும், துகள்கள் எப்படியோ தொடர்பு கொண்டிருப்பதை ஆஸ்பெக்ட் சோதனை காட்டியது என்றால், காலத்தொலைவுக்குக் கூடத் துகள்கள் கட்டுப்படுவதில்லை என்ற புதிரை, மேரிலேன்ட், ம்யூனிக் ஆகிய பல்கலைக்கழகங்களில், 1984, 85 ஆகிய ஆண்டுகளில் நிகழ்த்தப்பட்ட

சோதனைகள் காட்டின. ஏற்கனவே இந்நூலில் இருதுளைச் சோதனை பற்றிக் குறிப்பிடப்பட்டதன்றோ? அதுவே மேரிலேன்ட், ம்யூனிக் ஆகிய சோதனைகளின் அடிப்படையாக அமைந்தது.

இருதுளைச் சோதனையின் சாரத்தை இங்கே மீண்டும் நினைவுபடுத்திக் கொள்வோம். இரண்டு துளைகள் கொண்ட அட்டையை அடையும் ஒளி, அதன் மறுபுறத்தில் உள்ள திரையில், அலைக்குறுக்கீட்டு நிகழ்வுக்கேற்ப, வெளிச்சம், இருட்டு என அடுத்தடுத்த பகுதிகளைப் புலப்படுத்தும். அதேபோல், ஒளிக்கு பதிலாக எதிரான்கள் செலுத்தப்பட்டபோதும் நிகழ்ந்தது. எதிரான்களும் அலைத்தன்மை கொண்டவை என்பது தெளிவானது. ஒரே நேரத்தில் பல எதிரான்கள் செலுத்தப்படாமல், ஒவ்வொரு எதிரானாக, அதாவது, ஒவ்வொரு துகளாகச் செலுத்தப்பட்டபோதும் அலைக் குறுக்கீட்டு தோன்றியதால், எதிரானின் அலைத்தன்மை ஐயத்துக்கு இடமின்றி நிறுவப்பட்டது. அதே போல் ஒளிமான்களும் ஒவ்வொரு துகளாகச் செலுத்தப்பட்டபோதும் அலைக்குறுக்கீட்டு புலனாயிற்று. ஒவ்வொரு ஒளிமானும், (அல்லது, எதிரானும்), இரண்டு துளைகளின் வழியாகவும் மறுபுறம் சென்றிருந்தால் மட்டுமே இப்படி நிகழக்கூடும். ஒரு துகள் எப்படி இரண்டாகப் பிரிந்து, இரண்டு துளைகள் வழியாகவும் அலைகளாகச் சென்று பரவி, மறுபுறத்தில் ஒன்று சேர்ந்து ஒரே துகளாகத் திரையைத் தாக்க முடியும்?

சரி. ஓர் ஒளிமான பிரிந்து இரு துளைகள் வழியாகவும் செல்கிறதா, இல்லை ஏதேனும் ஒரு துளை வழியாகத்தான் செல்கிறதா என்று எளிதில் கண்டறிய முடியுமே! அதுவும், எந்தத் துளைவழியாக ஓர் ஒளிமான சென்றது என்பதைக் கூட அறிய முடியுமே! எப்படி? ஒளிமான புறப்படும் மூலத்துக்கும், இரண்டு துளைகள் கொண்ட அட்டைக்கும் நடுவில் துகள் பொறி ஒன்றை வைத்தால் போகிறது. ஒளிமான எந்தத் திசையில் சென்று எந்தத் துளை வழியாக அட்டைக்கு மறுபுறம் சென்றது என்பதை அந்தத் துகள் பொறி காட்டிவிடுமே! இப்படியும் சோதனை நிகழ்த்தப்பட்டது. ஆனால், என்ன விந்தை! பொறியில்லாதபோது, இரண்டு துளைகளின் வழியாகவும் அட்டைக்கு மறுபுறம் சென்று, அங்கே சற்றுத் தொலைவில் வைக்கப்பட்டிருந்த திரையில் அலைக்குறுக்கீட்டு நிகழ்வைப் புலப்படுத்திய ஒளிமான, பொறி வைத்துச் சோதித்தபோது, ஒரே ஒரு துளை வழியாக வருவதே தன் வழக்கம் என்பதுபோல் திரையில் அலைக்குறுக்கீட்டு நிகழ்வைப் புலப்படுத்தவில்லை. இது என்ன நடப்பு! நாம் பொறிவைத்துச் சோதிக்கிறோம் என்ற செய்தி அந்தப் பொல்லாத ஒளிமானுக்கு எப்படித் தெரிந்தது?

இந்தக் கட்டத்தில்தான் ஜான் வீலர் என்ற அறிஞர் நம் நாடகத்தில் நுழைகிறார். மேலே விவரிக்கப்பட்ட சோதனையைச் சற்றே மாற்றியமைத்தால் என்ன என்று வீலர் சிந்தித்தார். பொறியை ஏற்பாடாக வைத்த பிறகு, ஒளிமானைப்

பார்த்து, 'இப்பொழுது நீ இருதுளைகள் கொண்ட அட்டையைக் கடந்து போ' என்று சொன்னால் அது நமக்குப் போக்குக் காட்டிவிட்டு, ஒரு துளை வழியாக மட்டுமே சென்று, தான் ஒரு சாதாரணமான துகள்தான் என்று நடிக்கிறது. நாம் அதைக் கொஞ்சம் ஏமாற்றிப் பார்க்கலாமே! பொறி எதுவும் வைக்காமல் ஒளிராணைச் செல்லவிட்டு, அது அட்டையின் மறுபுறம் வந்தபிறகு, சட்டென்று ஒரு பொறியை வைத்து, ஒளிரான் எந்தத் துளை வழியாக மறுபுறத்தை வந்து சேர்ந்தது என்று கண்காணித்தால்.....? நாம் பொறிவைக்கப் போகிறோம் என்று தெரியாமல், அந்த ஒளிரான் அலையுருக் கொண்டு, இரண்டு துளைகள் வழியாகவும் அட்டையைக் கடந்து மறுபுறம் வந்து திரையை நோக்கிச் செல்லும்போது கையும் களவுமாக அதைப் பிடித்து, 'ஏ பயலே! எங்கனையா ஏமாற்றப் பார்க்கிறாய். உன் துகள் ஒப்பனை கலைந்துவிட்டதே. நீ அலைதான் என்று தெரிந்துகொண்டுவிட்டோமே. மாட்டிக் கொண்டாய்'. என்று கேட்டு, அதை அவமானப்பட வைத்துவிடலாமே. இப்படித்தான் வீலர் சிந்தித்தார். அவர் சிந்தித்தவாறே, மிக நுட்பமாக 1984, 85 ஆகிய ஆண்டுகளில், முதலில் குறிப்பிட்டதுபோல், மேரிலேன்ட், ம்யூனிக் என்ற இரண்டு பல்கலைக்கழகங்களில் சோதனைகள் நிகழ்த்தப்பட்டபோது, ஒளிரானும், எதிரானும் அறிவியல் உலகை மேலும் அதிர்ச்சியடையச் செய்தன. ஆம்! இரண்டு துளைகள் கொண்ட அட்டையை ஒளிரான் (அல்லது, எதிரான்) கடந்த பிறகு நாம் பொறியைக் கொண்டு வந்து நிறுத்தினாலும், அது திரையில் அலைக் குறுக்கீட்டைப் புலப்படுத்தாமல் தப்பித்துக்கொண்டது. அதாவது, நாம் பிறகு பொறிவைக்கப் போகிறோம் என்று எப்படியோ முன்கூட்டியே தெரிந்துகொண்டு, அது அட்டையைக் கடக்கும்போதே, மிகுந்த அடக்க ஒடுக்கத்துடன், அலைத்தன்மை இன்றித் துகளாகவே ஒரே ஒரு துளை வழியாக மட்டும் நுழைந்து சென்று அறிவியல் உலகை அயரச் செய்தது. என்ன அடாவடித்தனம்! அதாவது, பிறகு நடக்கப் போகும் ஒன்றை (பொறிவைக்கப் போகிறார்கள் என்பதை), முன்கூட்டியே எப்படி ஒரு துகள் அறிந்து கொள்கிறது? இடம், காலம் போன்றவைகளுக்குத் துகள்கள் கட்டுப்படுவதில்லையோ? ஒளிரான், எதிரான் மட்டுமன்றி, நேரான், சீரான், முழு அணு போன்றவையும் இப்படியே நடந்துகொள்கின்றன என்பது பல சோதனைகளில் தெளிவாகியது.

குறிப்புகள்:

1. Allyn Aspect, J. Dalibard, and G. Roger, *Physical Review Letters* 49, 1982, page 1804.
2. *Physical Review*, 47, 1935, page 777
3. D. Bohm, *Physical Review* 85, 166 (1952).
J.S. Bell, *Physics* 1, 195 (1964).

29. நேரம் தொடங்கிய நேரம்

அ - விலிருந்து ஃ வரை வந்துவிட்டோம். எவ்வளவு விரைவாக ஓடி வந்துவிட்டோம்! இன்னும் ஏறக்குறைய பதினாறு ஆண்டுகள் வரலாறு பாக்கி உள்ளதே! இந்தப் பதினாறு ஆண்டுகளில் இயல்பியல் நிகழ்ச்சிகள் ஐந்து மட்டுமே குறிப்பிடத்தக்கவை. அவற்றில் நாலு நிகழ்ச்சிகள் பற்றி வெகு சுருக்கமாகக் கூறிவிடலாம். ஆனால் ஐந்தாவது நிகழ்ச்சி மட்டும் விரிவாக விளக்கப்பட வேண்டியது. அது ஓர் இயல்பியல் துறையைச் சார்ந்த நிகழ்ச்சி என்றாலும், தனித்துறையாகவே வளர்ந்துவிட்ட இன்னொரு துறையில் பெரும் தொடர்புடையதாகையால், அந்தத் துறையின் ஒரு நூற்றாண்டு வளர்ச்சியை விரிவாக நோக்கவேண்டியுள்ளது.

முதல் நிகழ்ச்சி: 1981-ஆம் ஆண்டில், ஹன்ஸ் ஜி. டெஹ்மெல்ட் என்பவர், பால் என்பவருடன் சேர்ந்து, ஓர் எதிரானையும், ஓர் அணுவையும், தனிமைப்படுத்திப் புலத்தேர்வுக்கு உட்படுத்துவதில் வெற்றி கண்டார்¹. இந்த வெற்றி, 1989-ஆம் ஆண்டில், அவர்களுக்கு நோபெல் பரிசைப் பெற்றுத் தந்தது.

இரண்டாவது நிகழ்ச்சி: உச்சியுள்ளான் இருப்புக்கான சான்று, 1984-ஆம் ஆண்டு, 'ஸர்ன் சோதனைக் கூடத்தில் கண்டறியப்பட்டதாகச் சொல்லப்பட்டாலும், 1994-ஆம் ஆண்டுதான், 'ஃபர்மி கூடத்தில் உச்சியுள்ளான் புலத்தேர்வுக்கு உள்ளாகி, உறுதியாக நிறுவப்பட்டது².

மூன்றாவது நிகழ்ச்சி: 1996-ஆம் ஆண்டு லாஸ் அலாமாஸ் என்ற இடத்தில் மேற்கொள்ளப்பட்ட ஒரு சோதனையில் ஒரு நிகழ்வு புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டது³. அதுவரை சுமார் மூன்று ஆண்டுகளாக நடைபெற்றுக் கொண்டிருந்த அச்சோதனையில், உற்றான்கள் மட்டுமே உள்ள ஒரு கதிர்வகையில், எற்றான்கள் ஏற்படுத்தும் நிகழ்வுகள் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டன. அதாவது உற்றான்கள் அதிக அளவு அதிர்வுக்கு ஆளாகி, எற்றான்களாக மாறுகிற மெய்மையை இந்த நிதழ்வுகள் விளக்கின. அச்சோதனையில் இதுபோல 22 நிகழ்வுகள் புலப்பட்டன. இதே சோதனையில் எற்றான், உற்றான் ஆகிய இரண்டில் ஏதோ ஒன்று மிகமிகச் சிறிய அளவு கனம் உடையதாக இருக்கவேண்டும் என்பதும் தெளிவாகியது. அந்த கனம், சுமார் 0.3 அல்லது 0.4 எதிரான் வோல்ட் என்று கணிக்கப்பட்டது. அதாவது சுமார் ஐந்து லட்சம் எதிரான் வோல்ட் கனமுடைய எதிரான் துகளோடு ஒப்பு நோக்கினால், அதைவிட சுமார் பத்து லட்சம் மடங்கு குறைந்த கனம் உடையதாக

எற்றான்-உற்றான் இருக்கக்கூடும் என்பது தெளிவாகியது. கனமே இல்லாதவை எனக் கருதப்பட்ட உற்றானும், எற்றானும் மிகச் சிறிய அளவு கனமுடையவையாக இருக்கக்கூடிய வாய்ப்பை அறிவியல் உலகம் ஏற்றுக்கொண்டது.

நாலாவது நிகழ்ச்சி: எதிரான் வளிமத்தை ஆற்றல் வாய்ந்த காந்தப் புலத்தின் நேர்க்குறுக்கு வாட்டத்தில் செலுத்தினால் 1/5 அளவு மின்பொதிவு கொண்ட துகள் புலப்பாட்டுக்கு உட்பட்டதாக 1999-ஆம் ஆண்டில் வெளியான ஓர் ஆய்வுத்தாளில் சொல்லப்படுகிறது⁴. 1/3 அளவை விடக் குறைந்த அளவு மின்பொதிவு கொண்ட துகள் உண்டு என்பது நிறுவப்பட்டதாகச் சொல்ல முடியவில்லை. ஆனால், அதற்கான வாய்ப்பு இருப்பதுபோலத் தோன்றுகிறது.

ஐந்தாவது நிகழ்ச்சி: இது சுருக்கமாகச் சொல்லப்பட முடியாது. காரணம், ஏற்கனவே சொன்னதுபோல், தனித்துறையாகவே வளர்ந்துவிட்ட ஓர் ஆய்வின் வரலாற்றை அறிந்துகொண்டால்தான் இந்த நிகழ்ச்சியின் தாக்கம் நமக்குப் புரியும். அந்தத் துறை, அகன்று விரிந்த பேரண்டங்களைப் பற்றிய ஆய்வு. ஆங்கிலத்தில் 'காஸ் மாலஜி' எனப்படுகிறது. தமிழில் 'பேரண்ட இயல்' எனப்படலாம். திருவள்ளுவரைப் பின்பற்றி இத்துறையை 'வியனுலகியல்' என்றழைப்பது மேலும் சிறப்புடையதாக இருக்கும். இப்பொழுது மிகவும் சுருக்கமாக, இந்த நூலின் நோக்கத்திற்கும், நிலைக்கும் ஏற்ப, 'வியனுலகியல்' வரலாற்றை இங்கே விளங்கிக்கொள்ள முற்படலாம்.

இரண்டாயிரத்து ஐநூறு ஆண்டுகளுக்கு முன்பே பைதாகரஸ் முன்மொழிந்த சில கூற்றுகளையும், பிறகு ப்லேட்டோ, அரிஸ்டாட் டுல், அப்பொலேநியஸ் போன்றோர் செய்த விரிவுகளையும் உள்ளடக்கி, விண்பரப்பின் அமைப்பை ஒரு முறைப்பாட்டின் கீழ்க் கொண்டுவந்த பெருமை, டாலமி என்ற க்ரேக்க அறிஞரையே சேரும். சுமார் 1800 ஆண்டுகளுக்கு முன் அவர் எழுதிய 'அல்மேகஸ்ட்'⁵ என்ற நூலில் சொல்லப்பட்ட வியனுலகியல் கருத்துகளே பதினாறாம் நூற்றாண்டு வரை, அதாவது, டாலமிக்குப் பிறகு கிட்டத்தட்ட 1400 ஆண்டுகள், ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட கருத்துகளாய் விளங்கின. டாலமி விவரித்தபடி புவிக்கோளத்தையே, கதிரவன் உட்பட, மற்ற கோள்கள் அனைத்தும் சுற்றி வருவதாகக் கொள்ளப்பட்டது. புவிமையப் படிவம் என்பதாக இது குறிப்பிடப்பட்டது. இந்தப் படிவம் தவறென்று சுட்டிக்காட்டிக் கதிரவனையே புவியுள்ளிட்ட மற்ற கோள்கள் எல்லாம் சுற்றி வருகின்றன என்று 16-ஆம் நூற்றாண்டில் முன்மொழிந்தவர் போலன்ட் நாட்டைச் சேர்ந்த கோப் பர்நிகல் என்பவர். 'விண்வெளிக் கோளங்களின் சுழற்சிகள்' என்ற அவருடைய நூல் 1543-ஆம் ஆண்டு வெளியிடப்பட்டது⁶. அவர் வெளியிட்ட கதிர்மையப் படிவம் 'கோப் பர்நிகல் புரட்சி' என்றே குறிப்பிடப்படுகிறது. அதன்பிறகு இட்டலி நாட்டைச் சேர்ந்த ப்ரூனோ என்பவரும் கீலிலேயோ என்பவரும் அடுத்த

75 ஆண்டுகளுக்குள் கதிர்மையப் படிவத்தை ஆதரித்து மேலும் சான்றுகளோடு நூல்கள் வெளியிட்டனர். 1584-ஆம் ஆண்டு ப்ரூனோவின் நூல் வெளியானது. அதன் தலைப்பு, 'வரம்பின்மை, அண்டம், உலகம்'. கோப்'பர்நிகஸ் முன்மொழிந்த கதிர்மையக் கூற்றுக்கு ஒருபடி மேலே சென்று கதிரவனைப் போலவே ஒவ்வொரு விண்மீனைச் சுற்றியும் பல கோள்கள் சுழன்று கொண்டிருக்கின்றன என்ற கருத்தை ப்ரூனோ அந்த நூலில் வெளியிட்டார். அந்தக் கருத்துகள் கிருஸ்துவ சமயக் கோட்பாடுகளுக்கு முரண்பட்டிருந்தன. அதனால் 1600-ஆம் ஆண்டு, ரோம் நகரில், அவர் உயிரோடு எரித்துக் கொல்லப்பட்டார். அவரைத் தொடர்ந்து கேலிலேயோ, 1632-ஆம் ஆண்டு 'இரண்டு பேருலக முறைப்பாடுகள் பற்றிய உரையாடல்'⁷ என்ற நூலை வெளியிட்டார். தொலைநோக்கியின் உதவியோடு அவர் கண்டு, கணித்திருந்த விவரங்களின்படி, கோப்'பர்நிகஸின் கதிர்மையப் படிவமே மெய்மையை விவரிப்பதாக அவர் அந்நூலில் அறிவித்திருந்தார். இதற்காக அவர் துன்புறுத்தப்பட்டார். தண்டனைக்கு அஞ்சி அவர்தம் கருத்துகளைத் தாமே மறுக்கவும் நேர்ந்தது. ஆனாலும் மீதி வாழ்நாள் முழுவதும் அவர் வீட்டுக் காவலிலேயே கழிக்கவேண்டியதாயிற்று.

அடுத்து வந்தவர் கெப்லெர் என்ற 'ஜர்மன் அறிஞர். இவர் கதிர்மையப் படிவத்தின் கணித நுட்பங்களை வகுத்தளித்தார்⁸. கதிரவனைச் சுற்றிக் கோள்கள் வலம்வரும் சுற்றுப் பாதைகள் எல்லாம், வட்டப் பாதைகள் அல்ல என்றும், அவையெல்லாம் முட்டை அல்லது கோளவடிவப் பாதைகள் என்றும் அவர் கணித்துரைத்தார். இவ்வாறாகக் கோள்களின் இயக்க விதிகளுக்குக் கணித அடிப்படை வகுத்தளித்த பெருமை கெப்லெரையே சாரும்.

கெப்லெரைத் தொடர்ந்து வந்தவர் உலகின் தலைசிறந்த அறிவியல் வல்லுநர்களில் ஒருவரான ஐஸக் ந்யூட்டன். 1687-ஆம் ஆண்டு, அவர் எழுதிய 'இயற்கை மெய்யியலின் கணிதக் கோட்பாடுகள்'⁹ என்ற நூல் வெளியிடப்பட்டது. உலகின் மிகச் சிறந்த நூல்களில் ஒன்றாக அது இன்றும் கொண்டாடப்படுகிறது. தாம் கண்டுபிடித்து நிறுவிய புறியீர்ப்பாற்றலின் எதிர்ப்பங்குத் தற்பெருக்க விதியின் அடிப்படையில் கதிரவனை வலம்வரும் கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகளை அவர் மிகவும் நுட்பமாக அந்த நூலில் கணித்து, விவரித்திருந்தார்.

இந்தப் பின்னணியில்தான், வியனுலகியல், இருபதாம் நூற்றாண்டில் அடியெடுத்து வைத்தது. அதை 'வியனுலகியல்' என்று குறிப்பிடுவது கூட அவ்வளவு பொருத்தம் இல்லை. காரணம், ஆங்கிலத்தில் 'மில்லி வே' எனப்படும் பால்வெளி அண்டம் மட்டுமே உலகம் என்றும், அதற்கு வெளியில் எதுவும் கிடையாது என்றும் அறிவியல் உலகம் நம்பிக் கொண்டிருந்தது. எனவே அந்த காலகட்டத்தில்

விண்வெளி அமைப்பினைப் பற்றிய ஆய்வை 'ஓரண்ட இயல்' என்றே குறிப்பிடலாம். ஓரண்ட இயல், பேரண்ட இயலாக விரிவுபெற்றதும், பேரண்டமே விரிவடைந்து கொண்டிருப்பதாக நிறுவப்பட்டதும் இருபதாம் நூற்றாண்டின் புரட்சிகரமான இரண்டு கருத்தோட்டங்கள்.

இந்த நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில் கூட ஓரண்டக் கொள்கையே அறிவியல் உலகை ஆட்கொண்டிருந்தது. நாமிருக்கும் புவிக் கோளம், நாம் காணும் கதிரவன், விண்மீன்கள் ஆகியவற்றை உள்ளடக்கிய பால்வெளி அண்டமே முழு உலகம் என்ற இந்த ஓரண்டக் கொள்கை, முதன்முதலாக 1700-ஆம் ஆண்டிலேயே இமேனுவெல் கன்ட்¹⁰ என்ற ஜர்மன் அறிஞரால் மறுக்கப்பட்டும், பால்வெளி அண்டத்தின் வெளியே வேறு அண்டங்கள் உள்ளன என்பது நிறுவப்படாததால், ஓரண்டக் கொள்கையே ஏற்படையதாக நிலவியது. விண்வெளியில், மிகத் தொலைவில் தென்பட்ட புகைமண்டலங்கள் பால்வெளி அண்டத்தின் எல்லைக்கு அப்பால் உள்ள அண்டங்களே என்று கன்ட் தெரிவித்திருந்தாலும், அக்கூற்று அறிவியல் அடிப்படையில் நிறுவப்படாமலேயே இருந்தது. 1918-19 ஆண்டுகளில், ஹார்லோ ஷேப்லி என்ற அறிஞர் தொலைநோக்கியால் கண்டறிந்த புலத்தெரிவுகளின் அடிப்படையில், பால்வெளி அண்டத்தின் பரப்பளவை ஏறக்குறையச் சரியாகக் கணித்தார்¹¹. மேலும் நாம் காணும் கதிரவன், அதன் சுற்றுக் கோள்கள் ஆகியவை அடங்கிய கதிர்மைய முறைப்பாடு பால்வெளி அண்டத்தின் மையப் பகுதியில் இல்லாமல், பால்வெளி அண்டத்தின் ஒரு மூலையில் இருப்பதையும் அவர் நிறுவினார். இவ்வளவு சரியான தீர்வுகளை முன்மொழிந்த அவர், தவறான ஒரு கூற்றையும் முன்மொழிந்தார். பால்வெளி அண்டத்தின் வெளியே இருப்பவையாகத் தென்பட்ட புகைமண்டலங்கள், பால்வெளி அண்டத்தை மையமாகக்கொண்டு, அதைச் சுற்றிச் சுற்றி வருகின்றன என்பதே அந்தத் தவறான கூற்று. ஆனால் ஹெபர் க்யூட்டிஸ் என்பவரும் வேறு சிலரும் இந்தக் கூற்று தவறானதென்று வாதிட்டனர்¹². அந்தக் காலகட்டத்தில்தான், ஓர் அறிவியற் புரட்சி நிகழ்ந்தது. இருபதாம் நூற்றாண்டின் புரட்சிகரமான அறிவியற் கருத்துகளில் ஒன்று வெளிப்பட்டதும் அப்போதுதான். அந்த நேரத்தில்தான், எட்வின் ஹபுல் என்பவர் தொலைநோக்கிப் புகைப்படங்கள் பல எடுத்து, ஏற்கனவே நிறுவப்பட்ட சில கணித முறைப்படி மேலே சொல்லப்பட்ட புகைமண்டலங்கள் சிலவற்றின் தொலைவுகளைக் கணித்தார்¹³. அவர் அப்படிக் கணித்த மதிப்புகளில் இருந்து, ஷேப்லியின் கூற்று தவறென்று நிறுவப்பட்டது. அதாவது, அந்தப் புகைமண்டலங்களும், நம் பால்வெளி அண்டத்தைப் போலவே கதிர்மைய முறைப்பாடுகள் பலவற்றை உள்ளடக்கிய அண்டங்களே என்பது தெளிவானது. பல அண்டங்களில் நம் பால்வெளி அண்டமும் ஒன்று என்று நிறுவப்பட்டது.

இதைத் தொடர்ந்து ஹ'புல், தம் இணை-சோதனையாளர் மில்டன் ஹுமேஸன் என்பவரோடு சேர்ந்து வெளியிட்ட இன்னொரு கண்டுபிடிப்பே¹⁴, மேற்சொன்னவாறு இருபதாம் நூற்றாண்டின் புரட்சிக் கருத்துகளில் ஒன்றானது. அந்தக் கண்டுபிடிப்பை மூன்று கூற்றுகளாக நாம் எளிதில் விளங்கிக்கொள்ளலாம்;

1. அண்டங்கள் நம்மை விட்டு விலகிச் செல்கின்றன.
2. அவை விலகிச் செல்லும் விரைவு, அவற்றின் தொலைவுடன் நேர்ப்பங்குத் தொடர்புடையது.
3. வியனுலகமே விரிந்துகொண்டிருக்கிறது.

அதாவது, ஒன்றை விட்டு ஒன்று விலகி, எல்லா அண்டங்களும் விரிந்துகொண்டே போகின்றன. விலக, விலக, அவை விலகும் விரைவு மேலும் மேலும் அதிகரித்துக் கொண்டே போகிறது. மொத்தத்தில் பல அண்டங்களை உள்ளடக்கிய வெட்டவெளியாகிய பேரண்டம் அல்லது வியனுலகமே விரிந்து கொண்டிருக்கிறது.

இந்தக் கொள்கையை 'விரிவியனுலகக் கொள்கை', அல்லது, மேலும் எளிமையாக, 'விரிவெளிக் கொள்கை' என்றே நாம் குறிப்பிடலாம். வியனுலகமே எப்படி விரிந்து கொண்டிருக்கிறது என்பது ஓர் எடுத்துக்காட்டின் மூலம் விளக்கப்படுகிறது. நிறைய புள்ளிகள் கொண்ட ஒரு பலூன், காற்று நிரப்பப்பட்டால் பெரிதாக உப்பும். அப்போது, அதன் மேற்புறத்தில் உள்ள புள்ளிகள் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று விலகிச் செல்வது புலப்படும்; புள்ளிகளும் விரிந்து பெரிதாகும்; அவற்றிடையே உள்ள இடைவெளிகளும் வளர்ந்து விரியும். இப்படித்தான் வெட்டவெளியே விரிவடைந்துகொண்டிருக்கிறது. அதில் உள்ள அண்டங்கள் விலகிச் செல்வனபோல் புலப்படுகின்றன. இதுதான், ஹ'புல் கண்டுபிடிப்புகளில் இருந்து பெறப்பட்ட விரிவெளிக் கொள்கை.

மீண்டும் பலூன் எடுத்துக்காட்டை நோக்குவோம். அதன் மேற்புறம் விரிவடையும் போது, அதில் உள்ள புள்ளிகள் விலகிச் செல்லுமல்லவா? அப்போது புள்ளிகளுக்கு இடையில் உள்ள இடைவெளி வளரும் அல்லவா? அதில் ஒரு சீர்மை புலப்படும். இரண்டு புள்ளிகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவும் வேறு இரண்டு புள்ளிகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவும் எப்பொழுதும் ஒரே பங்குத்தொடர்பில்தான் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டு: புள்ளி 'அ'-வுக்கும் 'ஆ'-வுக்கும் இடையே இயல்பு நிலையில் உள்ள தொலைவு 1 செ.மீ. என்றும், 'இ'-க்கும் 'ஈ'-க்கும் இடையே 2 செ.மீ. என்றும், 'அ'-வுக்கும், 'ஈ'-க்கும் இடையே 5 செ.மீ. என்றும் வைத்துக்கொண்டால், இத்தொலைவுகள் 1 : 2 : 5 என்ற பங்குத்தொடர்பில் உள்ளவை. அந்த பலூன் விரிந்து,

ஒரு கட்டத்தில், 'அ-ஆ' இடைப்பட்ட தொலைவு 3 செ.மீ. ஆனால், அதே கட்டத்தில் 'இ-ஈ' தொலைவு 6 செ.மீ. என்றும், 'அ-ஈ' தொலைவு 15 செ.மீ. என்றும் அளந்து பார்க்காமலேயே சொல்லிவிடலாம். இப்படித்தான் வெட்டவெளி விரிவதால் அண்டங்கள் இடையே உள்ள தொலைவுகள் அமைகின்றன என்று விரிவெளிக் கொள்கை விவரிக்கின்றது. மேலும், ஒரு புள்ளியின் தொலைவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க, அது விலகிச் செல்லும் விரைவும் அதிகரிப்பதாகத் தோன்றும். நம்மை விட்டு விலகி ஓடும் அண்டங்களின் ஒளி, வேகமுடுக்கம் காரணமாக நீளலைப் பகுதிக்கு மாறிச் செங்கதிர்களைப் புலப்படுத்தும். இந்நிகழ்வை நாம் 'செந்திரிபு' என்று அழைக்கலாம். அதிகத் தொலைவிலுள்ள அண்டங்களின் செந்திரிபு அதிகம் காணப்பட்டதால், மேற்சொன்ன அடிப்படையில் விரிவெளிக் கொள்கை வகுக்கப்பட்டது. வெட்டவெளியே விரிவதால், மிகத் தொலைவிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்களின் அலைநீட்டம் விரிந்து காணப்படுகிறது. அலைநீட்டம் விரிவதென்றால், அந்த அலைகளின் நீளம் அதிகரிப்பது என்றே பொருள். விளைவு, செந்திரிபு. இதுதான் விரிவெளிக் கொள்கையின் விளக்கம்.

ஒன்று விரிகிறது என்றால், அந்த விரிவுக்கு ஒரு தொடக்கம் இருந்திருக்க வேண்டும். இந்தச் சிந்தனையால் உந்தப்பட்டுச் சில அறிஞர்கள், வெட்டவெளியாகிய வியனுலகமே ஒரு புள்ளியாக இருந்து, விரியத் தொடங்கி, இன்று பல கோடிகோடிக் கி.மீ. பரப்பளவாக விரிந்து காணப்படுவதாக விளக்குகின்றனர். அந்தத் தொடக்கநிலை, நீள, அகல, உயரங்கள் போன்ற அலகுமதிப்பு எதுவும் அற்ற மிகமிகச் சிறிய புள்ளி என்பதாக அவர்கள் உருவகிக்கின்றனர். அதை, 'ஸிங்குலேரிடி' என்று குறிப்பிடுகின்றனர். இதன் தமிழாக்கம் 'ஒருமை நிலை' என்பதாக இருந்தாலும், கருத்துப் பொருத்தம் கருதி அந்த நிலையைப் 'புள்ளிநிலை' என்றே அழைப்போம். அப்படிப்பட்ட புள்ளிநிலை திடீரென்று வெடித்துச் சிதறி விரிவடையத் தொடங்கியதாகக் கருதப்படுகிறது. அந்த முதல்வெடிப்பு ஆங்கிலத்தில் 'பிக் பேங்' என்றழைக்கப்படுகிறது. அதை 'முதல்வெடிப்பு' என்றே இந்நூலில் குறிப்பிடலாம்.

அண்டங்களுக்கு இடையே இப்பொழுது உள்ள தொலைவுகள், அவை விரியும் வேகம் ஆகியவற்றை வைத்துக் கணக்கிட்டு, இந்த வியனுலகின் வயது சுமார் 1500 கோடி ஆண்டுகள் என்று கணக்கிடப்படுகிறது.

வியனுலகம் பிறந்த கணத்தில் இருந்து என்னென்ன நடந்தது என்பதை விவரிக்கும் படிவங்கள் பல முன்மொழியப்பட்டன. இவற்றுள், 1922-ஆம் ஆண்டு அலெக் ஜே*ன்`டர் ஃ ப்ரீட்மென் என்ற ரஷ்யச் சிந்தனையாளர் முன்மொழிந்த

படிவங்கள் குறிப்பிடத்தக்கவை¹⁵. ஐன்ஷ்டைனுடைய பொதுச்சார்புக் கொள்கையின் சமன்பாடுகளில் இருந்தே ஃப்ரீட்மென் தம்முடைய வியனாலகப் படிவங்களை எளிதில் பெற முடிந்தது. ஐன்ஷ்டைனுடைய பொதுச்சார்புக் கொள்கையின் சமன்பாடுகள் வெளி விரிவதாகச் சுட்டிக் காட்டின என்றும், அதனால் அவற்றைத் திருத்தும் பொருட்டு, ஐன்ஷ்டைன் வியனாலக நிலையெண் ஒன்றை அச்சமன்பாடுகளில் புகுத்தினார் என்றும், ஏற்கனவே இந்நூலில் குறிப்பிடப்பட்டது. அப்படிப்புகுத்தப் பட்ட நிலையெண்ணை விலக்கி வைத்துவிட்டு நோக்கியபோதுதான் ஃப்ரீட்மென் படிவங்கள் பெறப்பட்டன. அவர் மூன்று படிவங்களை முன்மொழிந்தார். ஒன்று: விரிந்து கொண்டிருக்கும் வியனாலகம் முடிவே இல்லாமல் விரிந்து கொண்டே இருப்பது. இப்படிவத்தைத் 'திறந்தவெளிப் படிவம்' எனலாம். இரண்டு: விரிந்து கொண்டிருக்கும் வியனாலகம் விரைவு குன்றிச் சுருங்கத் தொடங்கி மீண்டும் புள்ளிநிலையாக முடங்கிவிடுவது. இப்படிவத்தை 'மூடு படிவம்' எனலாம். மூன்று: முதலிரு படிவங்களுக்கும் இடைப்பட்ட படிவம். இதன்படி விரிவின் விரைவு குன்றுமே தவிர, மீண்டும் சுருங்குவது என்பது கிடையாது. இதைத் 'தட்டைப் படிவம்' எனலாம்.

மேற் சொன்ன மூன்று படிவங்களின் படையும், வியனாலகம் ஒரு புள்ளிநிலையில்தான் தோன்றியிருக்க வேண்டும் என்பது மட்டும் உறுதி. அப்படிப்பட்ட ஒரு புள்ளிநிலை மிகுந்த ஆற்றலோடு வெடித்துச் சிதற, அதில் இருந்துதான் நாமின்று காணும் வியனாலகம் தோன்றி, விரிந்து கிடக்கிறது என்று கணித அடிப்படையில் ஒரு படிவத்தை முதலில் 1948-ஆம் ஆண்டில் முன்மொழிந்தவர் ஜார்ஜ் கேமெள என்பவர்¹⁶. இந்தக் கொள்கையை மறுத்த ஃப்ரெட் ஹோயல் என்பவர், இக்கொள்கையைக் கிண்டல் செய்து, இதை 'பிக் பேங்' என்று கேலி செய்யப்போய், அந்தப் பெயரே கேமெள வகுத்த கொள்கைக்கு நிலைத்துவிட்டது. அதைத்தான் முதல்வெடிப்புக் கொள்கை என்றழைக்க நாம் முடிவு செய்துள்ளோம். ஹோயல் கிண்டல் செய்த முதல்வெடிப்புக் கொள்கையே இன்று பெரும்பாலான அறிஞர்களால் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டுவிட்ட வியனாலகியல் கொள்கையாக நிலவுகிறது.

ஐன்ஷ்டைனுடைய பொதுச்சார்புச் சமன்பாடுகளில் இருந்து இன்னொரு கருத்தும் பெறப்பட்டது. 1916-ஆம் ஆண்டிலேயே அக்கருத்தை முன்மொழிந்தவர் கார்ல் ஷ்வார்ட்ஸ்ஷில்ட் என்பவர். அவர் செய்த கணிப்புகளை அவரே ஐன்ஷ்டைனுக்கு அனுப்பி வைத்தார். அதைச் சரிபார்த்து ஐன்ஷ்டைன் 1916-ஆம் ஆண்டில் அதை ஓர் அறிவியற் கழகத்தில் தாமே வழங்கினார். அந்தக் கணிப்புகளின் அடிப்படையில் ஓர் உண்மை வெளிப்பட்டது. அதாவது, ஐன்ஷ்டைன் கொள்கையின்படி பொருண்மை, அதாவது, கணம் முதலிய பொருட்தன்மைகள் கொண்ட பொருள், எங்கெல்லாம் உள்ளதோ, அங்கெல்லாம் கால-வெளி என்ற தொடர்விரிவே வளைந்து விடுகிறது.

ஷ்வார்ட்ஸ்ஷில்ட், இதிலிருந்து இன்னொன்றைச் சுட்டிக் காட்டினார். எந்தப் பொருண்மையும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குக் கீழ் அழுக்கி ஒடுக்கப்பட்டால், அதனால் அதன் அருகாமையில் கால-வெளித் திரை மிகவும் வளையப் பெற்று, அந்தப் பொருண்மையையே சுற்றி வளைத்துச் சிறைப்படுத்திவிடுகிறது. அப்படிச் சிறைப்பட்ட பொருண்மை, வியனூலகில் இருந்து துண்டிக்கப்பட்டு, எந்த ஒரு தொடர்பும் இல்லாததாகத் தனிமைப்படுகிறது. அதிலிருந்து, ஒளி உட்பட, எதுவும் தப்பிச் செல்ல இயலாது. ஒரு பொருளை, இவ்வாறு, தனிமைச் சிறையில் தள்ளிவிடும் கீழ்மட்ட அளவை ஒரு வட்டத்தின் ஆரமாகக் கற்பித்து, அதை 'ஷ்வார்ட்ஸ்ஷில்ட் ஆரம்' என்று வழங்குகிறார்கள். எடுத்துக்காட்டாக, இந்த ஆரம் கதிரவனுக்கு 2.9 கி.மீ. என்றும், புவிக்கோளத்துக்கு 0.88 செ.மீ. என்றும் கணிக்கப்பட்டது. அதாவது, கதிரவனை 2.9 கி.மீ. அல்லது 2,90,000 செ.மீ. அளவுக்கு ஒடுக்கி முடக்கினால், அது, மேற்சொன்னவாறு உலகத்தோடு உள்ள தொடர்புகள் யாவும் துண்டிக்கப்பட்ட ஒரு தனிமைச் சிறையில் தள்ளப்படும்; அதிலிருந்து, ஒளி உட்பட, எதுவும் தப்ப முடியாது; அதிலிருந்து எந்தத் தகவலையும் வெளியுலகம் அறிந்து கொள்ள வாய்ப்பே இல்லை; அது இருக்கிறது என்ற தகவலைக் கூட உலகம் உணர வாய்ப்பில்லாமல் போய்விடும். 0.88 செ.மீ. ஆரத்துக்குள் புவிக்கோளம் சுருக்கப்பட்டால் அதற்கும் அதே கதி நேரும். இதுதான் ஷ்வார்ட்ஸ்ஷில்ட் முன்மொழிந்த கொள்கை. இதைக் கணிக்கும் குறள்நெறியை இப்பொழுது நோக்குவோம். இந்த ஆரத்தை 'எஸ் ஆரம்' எனக் கொண்டு 'எஸ்' என்று குறியீடு செய்துகொள்ளலாம். புவியீர்ப்பாற்றலின் நிலையெண்ணை 'புவி' என்றும், ஒளியின் வேகத்தை 'ஒ' என்றும், ஒரு பொருளின் கனத்தைக் 'க' என்றும் கொண்டால்:

$$\text{எஸ்} = \frac{2 \times \text{புவி} \times \text{க}}{\text{ஒ}^2}$$

சந்திரசேகர் என்ற இந்திய விஞ்ஞானி, 1930-ஆம் ஆண்டில் ஒரு கூற்றை முன்மொழிந்தார்¹⁷. நமது புவிக்கோளத்தின் அளவுக்கு மிகவும் சுருங்கிய நிலையில் ஒரு விண்மீன் நிலையாக இருக்கவேண்டுமானால், கதிரவனின் கனத்தைக் காட்டிலும் 1.4 மடங்குக்குமேல் கனமுள்ளதாக அது இருக்கக் கூடாது என்பதே அந்தக் கூற்று. அதைவிட கனமாக அது இருந்தால், அது உருக்குலைந்து போய்விடும். 1967-ஆம் ஆண்டு, ஒருவகையான விண்மீன் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகே இந்தக் கூற்றின் நுட்பம் தெளிவாகியது. இந்தக்கண்டுபிடிப்பைச் செய்தவர்கள் ஜோஸெலின் பெல் என்பவரும், ஹ்யூவிஷ் என்பவரும் ஆவார்கள்¹⁸. அவர்கள் விண்வெளியில் ஒரு குறிப்பிட்ட விண்மீன் அமைப்பைப் புலத்தேர்வு செய்துகொண்டிருந்தபோது, அந்த அமைப்பின் ஒரு

குறிப்பிட்ட பகுதியிலிருந்து ஒரே சீரான கால இடைவெளியில், விட்டுவிட்டு நீளலைக் குறியீடுகள் புறப்பட்டு வரும் நிகழ்வைக் காண நேர்ந்தது. ஏதோ தொலைதூரத்தில் உள்ள ஒரு கோளில் வசிக்கும் உயிரினங்கள் அனுப்பும் செய்திகளோ என்று முதலில் வியந்தனர். போகப் போக அவர்களுக்கு உண்மை புரிந்தது. அவர்களுக்குக் கிடைத்த குறியீடுகளைத் தொகுத்துக் கணித்துப் பார்த்ததில் சுமார் ஆறு மைல் விட்டம் அளவே உள்ள ஒரு மிகச்சிறிய விண்மீனில் இருந்துதான் அத்தகைய துடிப்புகள் வெளிப்பட்டன என்று தெரியவந்தது. அந்த விண்மீன் ஏற்கனவே பொதுச்சார்புக் கொள்கை பற்றிய அதிகாரத்தில் கூறப்பட்டது போன்ற ஒரு விண்மீன் என்பதும் தெளிவாகியது. இந்த மிகச்சிறிய விண்மீன் சரியாக 4/3 வினாடிகளுக்கு ஒரு முறை சுழல்வதாகவும், அந்தச் சுழற்சியின் விரைவால் மேற்சொன்ன அலைக்குறியீடுகள் வெளிப்படுகின்றன என்றும் அவர்கள் தெளிவு செய்தார்கள். இப்படிப்பட்ட மிகச் சிறிய, துடிக்கும் விண்மீன்கள் ஆங்கிலத்தில் 'பல்சார்ஸ்' எனப்படுகின்றன. தமிழில் 'துடிமீன்கள்' எனச் சொல்லலாம். இவை 'சீரான விண்மீன்கள்' என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. மிகமிகப் பெரிய விண்மீன்களின் மையப்பகுதிகள் மிகவும் பொருளடர்த்தி உடையவையாகவும் மிகவும் வெப்பநிலை உடையவையாகவும் இருக்கின்றன. அந்தச் சூழ்நிலையில் கனம்குறைந்த அணுக்கள் ஒன்றோடு ஒன்று ஒன்றிப்போய் கனம்மிகுந்த அணுக்களாக மாறிவிடுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு கரியியம் கரு, மெக்னியமாகவும், பிறகு சிலிக்கியமாகவும், பிறகு கந்தகமாகவும், இறுதியில் இரும்பியமாகவும் மாறுகிறது. இரும்பியமாக மாறிய பிறகு இந்த ஒன்றியத் திரிபு, அதாவது, இரண்டு அணுக்கள் ஒன்றி இன்னொன்றாகும் நிகழ்வு, தொடரமுடியாது. அந்த நிலையில் அந்த விண்மீனின் மையம் கூடுதல் ஆற்றல் பெற ஒரே வழி, அது அப்படியே உருக்குலைந்து போவதுதான். அந்தப் பெரிய விண்மீனின் மையம் மேற்சொன்ன நிலையை அடைந்ததும் 1⁻¹⁰ வினாடிக்குள் 70 மைல் விட்டம் உள்ள கோளமாக அப்படியே சுருங்கிவிடுகிறது. இந்தச் சுருக்கத்தின் காரணமாக மிகமிகப் பெரிய அளவில் ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. அப்படி வெளிப்படும் ஆற்றல் மையப் பகுதியைச் சுற்றியுள்ள மற்ற பகுதிகளைப் பலகோடி மைல்கள் தொலைவுக்கு விரட்டி விடப் போதுமானதாக இருக்கிறது. ஒரு கணத்தில், ஒரு மிகப் பெரிய விண்மீன் சுக்கு நூறாகச் சிதறிவிடும் இந்த நிகழ்ச்சி நடந்துவிடுகிறது. அந்தச் சிதறலுக்குப் பிறகு மிகவும் சுருங்கிய அதன் மையப் பகுதி மட்டுமே தொடர்ந்து நீடிக்கிறது. அதிலுள்ள அணுக்களெல்லாம் நெருக்கப்பட்டு, அவற்றில் உள்ள நேரான்களும், எதிரான்களும் நொறுக்கப்பட்டு, அப்பகுதியில் வெறும் சீரான்கள் மட்டுமே மிஞ்சுவதால், அது 'சீரானமீன்' என்றும் வழங்கப்பட்டது. இதுவே துடிமீனாக 1967-ஆம் ஆண்டு புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டது. இந்தக் கண்டுபிடிப்புக்குப்

பிறகு நூற்றுக்கணக்கான துடிமீன்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

பொதுச்சார்புக் கொள்கையையும், எஸ் ஆரக் கணிப்பையும் இணைத்து நோக்கிய போது இன்னொரு புதிரான கருத்து உருவானது. பொதுச்சார்புக் கொள்கையின்படி நான்கு முனைகளிலும் இழுத்துக் கட்டப்பட்ட ஒரு கனமான துணியின் நடுவே ஒரு கனமான கல்லை வைத்தால் அந்தக் கல் இருக்குமிடம் ஒரு குழியாக மாறும். அந்தத் துணியில் ஒரு முனையிலிருந்து ஒரு பந்தை ஓடவிட்டால் அது அந்தக் குழியைச் சுற்றிக்கொண்டு போகும். இப்பொழுது அந்தக் கனமான கல்லுக்குப் பதில் அதே அளவும், அதைவிட 100 மடங்கு அதிக கனமும் உள்ள ஓர் இரும்பு உருண்டையை வைத்தால் அந்த இடம் சிறிய குழியாக ஆவதுடன் நின்றுவிடாமல் அந்தத் துணியே கிழிந்து போய்விடக்கூடும். எனவே, காலவெளித் திரையில் மிகக் குறுகிய இடத்தில் மிகவும் கனமான ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டால் அந்த இடம் கிழிந்து பெரிய குழியாக மாறிவிடும். இதைத்தான் எஸ் ஆரக் கணிப்பு சுட்டிக்காட்டியது. விண்வெளியில் இருக்கின்ற கனம் மிகுந்த விண்மீன்கள் மிகமிகச் சிறிய அளவுடையவையாகச் சுருங்கிவிடும்போது, கன - அடர்த்தி தாங்காமல் அந்த இடத்தில் கால - வெளித்திரை கிழிந்து, ஒரு மிகப்பெரிய குழி அங்கே உருவாகி விடக்கூடும். கதிரவன் போன்ற ஒரு சராசரி விண்மீனை அதன் எஸ் ஆரமாகிய 2.9 கி.மீ. அளவுக்குச் சுருக்குவது என்பது அந்தக் காலகட்டத்தில் கற்பனை கூட செய்து பார்க்க முடியாத ஒன்றாக இருந்தது. ஆனால் 10 கி.மீ. ஆரம் மட்டுமே உள்ள துடிமீன்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டபோது, மேலும் சுருக்கம் அடைந்து எஸ் ஆரம் அளவுக்குக் குறுகிவிட்ட விண்மீன்கள் இருப்பதற்கான வாய்ப்பை அறிவியல் உலகம் நம்பத் தொடங்கியது. அப்படி எஸ் ஆரம் அளவு ஒரு விண்மீன் சுருங்குவதால் அந்த இடத்தில் ஏற்படும் குழி 'கருங்குழி' எனப்படுகிறது. இந்தப் பெயர் 1968-ஆம் ஆண்டில்தான் ஜான் வீலரால் சூட்டப்பட்டது¹⁹. ஒளி உட்பட, எதுவும், எந்தத் தகவலும், ஒரு கருங்குழியை விட்டுத் தப்பிச் செல்ல முடியாது. ஒரு கருங்குழிக்கு மிக அருகில், அதன் எஸ் ஆரச் சுற்றுக்குள் செல்லும் எந்தப் பொருளும் அக்கருங்குழியால் விழுங்கப்பட்டு, அந்தத் தனிமைச் சிறையில் மாட்டிக்கொண்டுவிடும். அப்படி மாட்டிக்கொண்ட பொருளுக்கு மீட்சியே கிடையாது.

மேலே விவரித்தபடியே பல கருங்குழிகள் இருக்கவேண்டும் என்பதற்கான சான்றுகள் அண்மைக் காலத்தில் சேரத் தொடங்கியுள்ளன. ஒரு கருங்குழி புலப்பாட்டுக்கு உட்பட முடியாது. ஆனால் ஒரு விண்மீன், ஒரு கருங்குழியின் அருகே இருக்க நேரிட்டால், அந்த விண்மீனின் ஒரு பகுதி தொடர்ந்து காணாமல் போய்க்கொண்டே இருக்கும்; காரணம், சற்றே தொலைவில் உள்ள ஆள்விழுங்கிக் கருங்குழி மெல்ல அந்த விண்மீனின் வெளிச்சுற்றுப் பகுதிகளை ஈர்த்து விழுங்கிக்கொண்டே இருக்கும்.

இவ்வாறு ஒரு விண்மீனின் ஒரு பகுதி ஒரு கருங்குழியில் விழும்போது, அப்பகுதியில் ஒளிமயமான ஆற்றல் வெளிப்பாடு நிகழும். அண்டப் பெருவெளியில் இத்தகைய ஒளி வெளிப்பாடுகள் நிகழும் பகுதிகளுக்கு அருகிலெல்லாம் கருங்குழிகள் இருக்கவேண்டுமெனத் துணியலாம். இப்படிப்பட்ட சான்றுகள் மூலமே கருங்குழிகள் பல கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. 1994-ஆம் ஆண்டு, நமக்கு 5 கோடி ஒளியாண்டுகள் தொலைவில் உள்ளவோர் அண்டத்தின் மையத்தில் மிகவும் கன-அடர்த்தி உடைய கருங்குழி இருக்கவேண்டும் என மேலே சொன்னவாறு துணியப்பட்டது.

வயிறு புடைக்க உண்டால் ஏப்பம் விட்டுத்தானே ஆகவேண்டும்? கருங்குழியோ மலைவிழுங்கி! அது ஏப்பம் விடாமல் இருக்க முடியுமா? ஸ்டீஃபன் ஹாக்கிங் என்ற புகழ்பெற்ற விஞ்ஞானி, 1974-ஆம் ஆண்டு ஒரு கருத்தை முன்மொழிந்தார்²⁰. கருங்குழிகள் தங்கள் சுற்றுப்புற வெட்டவெளியைக் காட்டிலும் சற்றே கூடுதலான வெப்பநிலை கொண்டவையாக இருக்கவேண்டும் என்று கணித வழியில் அவர் நிறுவினார். தன் சுற்றுப்புறத்தை விடக் கூடுதல் வெப்பநிலை கொண்ட எப்பொருளும் வெப்பம் வெளிப்படுத்தியே ஆகவேண்டும் என்பது ஏற்கனவே நிறுவப்பட்ட விதி. இதற்குக் கருங்குழியும் விலக்கில்லை. கருங்குழியும், வெப்ப வடிவில் ஆற்றல் வெளிப்படுத்த வேண்டும் என்று அவர் தெளிவு செய்தார். அப்படி வெளிப்படும் வெப்பம் 'ஹாக்கிங் கதிர்வீச்சு' எனப்படுகிறது.

முதல்வெடிப்புக் கொள்கையை முறையாக வடித்துத் தந்த ஜார்ஜ் கேமெள இன்னொரு கருத்தையும் சொல்லியிருந்தார். ஒரு புள்ளி வெடித்து, எல்லாத்திசைகளிலும் சிதறி, அப்படியே அச்சிதறல்கள் விலகிக்கொண்டே இருக்கும் காட்சியைத்தானே முதல்வெடிப்புக் கொள்கை படம்பிடித்துக் காட்டுகிறது? அந்த முதல்வெடிப்பின் தாக்கம் அல்லது அதிர்ச்சி குறைந்துகொண்டே வந்துள்ளது. ஆனாலும் இன்னும் அந்த அதிர்ச்சி முற்றிலும் தீர்ந்துபோய்விடவில்லை. பேரண்டமாகிய வியனுலகின் மைய ஆழப்பகுதியில் இருந்து புறப்பட்ட கதிர்வீச்சு இன்னும் வந்த வண்ணம் இருக்கிறது. நெடிய பயணத்தால் களைத்துப்போய் நுண்ணலைகளாய் வந்து சேரும் இந்தக் கதிர்கள் புலத்தேர்வுக்கு உட்பட்டால், முதல்வெடிப்புக் கொள்கை உறுதியாகிவிடும் என்று கேமெள குழுவினர் அறிவித்திருந்தனர். களைத்துப்போய் வரும் அக்கதிர்வீச்சின் இன்றைய வெப்பநிலையைக் கூட அவர்கள் கணித்திருந்தனர். அக்கணிப்பின்படி அந்த வெப்பநிலை சுமார் 3 கே. அதாவது முதல்சுழி நிலையை விட 3 புள்ளி (டிகிரி) அதிகம்.

1964-ஆம் ஆண்டு, பெல் சோதனைக் கூடத்தைச் சேர்ந்த பென்ட்சியஸ், வில்லன்²¹ ஆகிய இருவர், நியூ ஜர்ஸி நகரத்தில் 20 அடி விட்டமுள்ள தட்டர்ப்பி

ஒன்றை வைத்து வேறேதோ ஒரு சோதனையில் ஈடுபட்டிருந்தபோது, 'உஸ்' என்ற மெல்லிய ஒலி ஒன்று தொடர்ந்து வந்து இடையூறு செய்தது. முதலில் ஈர்ப்பியில் ஏதோ கோளாறு என்று அவர்கள் நினைத்து அதை நன்கு சோதித்துப் பார்த்தனர். பிறகு ஈர்ப்பியின் அடிவாரத்தில் உள்ள ஏற்பியின் அருகில் புறாக்கள் இருக்கக் கண்டு, அவற்றை விரட்டி விட்டு, அந்த இடத்தைத் தூய்மை செய்து பார்த்தபோதும், ஒலி தொடர்ந்தது. அப்பொழுதுதான் அவர்களுக்குப் புரிந்தது, முதல் வெடிப்பின் மிச்சக் கதிர்வீச்சைத் தாங்கள் செவிப்புலனால் நுகர்ந்துகொண்டிருக்கிறோம் என்பது!

இந்தக் கண்டுபிடிப்பைத் தொடர்ந்து ராபர்ட் டிக்கி என்பவர் அந்த ஒலியை வைத்து அக்கதிர்வீச்சின் வெப்ப நிலையைக் கணித்தார். விடை: 3 கே! பென்ட்சியஸ், வில்ஸன் ஆகிய இருவர்க்கும் 1978-ஆம் ஆண்டு, இந்தக் கண்டுபிடிப்புக்காக, நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

மேலே சொல்லப்பட்ட கதிர்வீச்சுக்கு ஆங்கிலத்தில் சூட்டப்பட்ட பெயரின் பொருள் பின்னணிக் கதிர்வீச்சு. ஆனால், முதல் வெடிப்பில் புறப்பட்டு இப்பொழுது நமக்குப் புலப்படுவதால், நாம் அவற்றை 'முதல் அலைகள்' என்றே அழைக்கலாம். முதலலைகள், முதல் வெடிப்புக் கொள்கையை உறுதி செய்தன. ஆனாலும், ஒரு சிக்கல் எழுந்தது. ஈர்ப்பியை எந்தக் கோணத்தில், எப்படித் திருப்பி வைத்தாலும், இந்த முதல் அலைகளின் வெப்பநிலை மட்டும் ஒரே சீராக 3கே அளவே இருந்தது. அதனால் என்ன? இவை எல்லாப் பக்கங்களில் இருந்தும் சமநிலையில் வருவதால்தான் இவை பேரண்டத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதியில் இருந்து மட்டும் வருவதில்லை என்று தெரியவருகிறது. அதனால்தான், இந்த அலைகள் பேரண்டத்தின் மைய ஆழப் பகுதியில் இருந்து வருகின்றன என்று ஒப்புக் கொள்ளப்படுகிறது. அதனால்தானே இந்த அலைகள் முதல் வெடிப்புக் கொள்கையை நிறுவிவிட்டன என்று நம்பப்படுகிறது. பின் இதில் என்ன சிக்கல்?

பேரண்டம் முழுமையும் ஒரே சீரான வெட்டவெளியாக இல்லாமல், அங்கங்கே பொருளடர்த்தி கொண்ட வெட்டவெளியாக இருக்கிறது. அது இப்படி இருக்கவேண்டும் என்றால், முதல் வெடிப்பில் வெளிப்பட்ட பொருண்மையின் அடர்த்தி, மிகவும் சீரான நிலையில் இருந்திருக்க முடியாது. அதில் சிறிய வேறுபாடுகள் இருந்திருக்கவேண்டும்; இந்த வேறுபாடுகளின் அளவு கூட மிகத் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இந்த அளவு, கிட்டத்தட்ட 1/1000 என்றறியப்பட்டது. அடர்த்தி வேறுபாட்டுக்கு ஏற்ப, நேர்ப்பங்குத் தொடர்பில், வெப்பநிலையும் மாறுபடவேண்டும் என்பது நிறுவப்பட்ட விதி. எனவேதான்,

முதலமைகள் வெப்ப மாறுபாடின்றி ஒரே அளவு வெப்பம் உடையவையாக உணரப்பட்டபோது சிக்கல் எழுந்தது.

1977-ஆம் ஆண்டு ஜார்ஜ் ஸ்மூட் என்பவர் தலைமையில் இயங்கிய குழுவினர், வெட்டவெளியின் அலைவீச்சில் வெப்பநிலை மாறுபாடு இருந்ததைப் புலத்தேர்வு செய்தனர். ஆனால் அவை முதலமைகளின் இயல்பான வெப்ப வேறுபாடில்லை என்பது உடனே உணரப்பட்டது. நமது பால்வெளி அண்டம் என்ற கப்பல், பேரண்டமாகிய பெருங்கடலில் முன்னேறும்போது, எதிர்ப்படும் அலைகளை ஊடுருவிச் செல்வதால், நம் அண்டத்தின் முன்னால் உள்ள அலைகளின் வெப்பநிலையைக் காட்டிலும், அதன் பின்னால் உள்ள வெப்பநிலை சற்றே குறைந்த அளவாக இருக்கக்கூடும். இந்த வேறுபாடுதான் 1977-ஆம் ஆண்டு புலனாயிற்று.

இந்தச் சிறிய வெற்றியால் ஊக்கமடைந்த ஸ்மூட், முதலமைகளின் இயல்பான வெப்பநிலை வேறுபாடுகளைக் கண்டுபிடிக்கும் முயற்சியில் ஈடுபட்டார். அதற்காக மிகவும் நுண்ணிய பொறி ஒன்றை அவர் வடிவமைத்தார். அந்த நுண்ணலை வேறுபாட்டு மானியில் இரண்டு ஈர்ப்பிகள் இருந்தன. அவற்றின் மூலம் விண்வெளியின் இருவேறு பகுதிகளுக்கு இடையே உள்ள வெப்ப வேறுபாட்டை வெகு துல்லியமாக அறிய முடியும். லட்சத்தில் ஒரு பங்கு என்ற அளவு வேறுபாட்டைக் கூட அந்த மானி உணர்த்தவல்லது. அந்த மானியில் மூன்று ஏற்பிகள் இருந்தன. அவை மூன்று வெவ்வேறு அலைப்பகுதிகளுக்குப் பண்பினை சேர்க்கப்பட்டிருந்தன. எந்த மூன்று அலைப்பகுதிகளில் பேரண்ட அலைகள், அண்டங்கள் வெளிப்படுத்தும் நுண்ணலைகளை விட ஆயிரம் மடங்குக்கு மேல் தீவிரமாக இருந்தனவோ, அந்த மூன்று பகுதிகளே தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டன.

அவ்வளவு நுட்பமாக வடிவமைக்கப்பட்ட மானியை விண்வெளியில் செலுத்த வேண்டியது அடுத்த கட்டநடவடிக்கை. அப்பொழுது பார்த்து, 1986-ஆம் ஆண்டு, அமெரிக்க விண்வெளி ஆய்வுக் கழகத்தின் 'சேலஞ்சர்' என்ற விண்கலன் விபத்துக்கு உள்ளாகி எழுவர் மரணமடைந்ததால், அரசியல் குழப்பத்தில் விண்வெளி ஆய்வு தொய்வடைந்திருந்தது. எனவே ஸ்மூட் சிறிது காலம் காத்திருக்க வேண்டியதாயிற்று. 1989-ஆம் ஆண்டு 'கோப்' என்ற செயற்கைக் கோளில் ஸ்மூட் வடிவமைத்த மானி பொறுத்தப்பட்டு, அது விண்வெளியில் ஏவி விடப்பட்டது. 1992-ஆம் ஆண்டு, ஸ்மூட், வெற்றிச் செய்தியை அறிவித்தார்²². சுமார் 10 கோடி ஒளியாண்டுகள் தொலைவுள்ள வெட்டவெளியைத் துழாவி ஆய்ந்த அவருடைய மானி, அப்பகுதிகளில் மிக நுண்ணிய வெப்ப வேறுபாடுகளைப் பதிவு செய்திருந்தது. வேறுபாட்டின் அளவு சுமாராகப் பத்துலட்சத்தில் ஆறு பங்கு என்று தெரியவந்தது. கணிக்கப்பட்டிருந்த அளவோடு இது மிகச் சரியாகப் பொருந்தியது.

எட்வின் ஹபுலின் கண்டுபிடிப்பும், ஸ்மூட் குழுவினரின் கண்டுபிடிப்பும் இருபதாம் நூற்றாண்டு வியனுலகியலின் சாதனைகளாகக் கருதப்படுகின்றன.

இந்தப் பின்னணியில், அறிவியற் சிந்தனையாளர்கள் முதல் வெடிப்புப் படிவத்தைச் செப்பனிட மேற்கொண்ட முயற்சிகளை நோக்கலாம். அப்படி எழுந்த கருத்தோட்டங்களில் இங்கே குறிப்பிடத்தக்க ஒன்று, 1980-ஆம் ஆண்டு ஆலன் கத் என்பவரால் முன்மொழியப் பட்டது²³. அந்தக் கருத்தோட்டத்தின்படி முதல் வெடிப்பு நிகழ்ந்த கணத்தில் ஒரு புள்ளி அளவே இருந்த உலகம், 10⁻²³ வினாடிகளுக்குள் இரண்டு அங்குலம் விட்டமுடைய ஒரு கோளத்தின் அளவு வளர்ந்து இருக்கவேண்டும். இது மிகவும் எளிய தகவலாகத் தோன்றலாம். ஆனால், அதன் தொடக்க அளவு ஒரு நேரான் அளவு என்று வைத்துக்கொண்டால் அது 10⁻¹⁷ சென்டி மீட்டர் என்பதைவிடக் குறைவாகவே இருந்திருக்கும். இந்த அளவிலிருந்து சுமார் 5 சென்டி மீட்டர் அளவு அது வளர்ந்தது என்று சொன்னால், அது தன் உருவில் நூறு கோடிக்கோடி அளவு வளர்ந்ததாக அர்த்தம். இந்த அளவு அது வளர்ந்திருக்கவேண்டுமென்றால் அதன் வளர்ச்சி தற்பெருக்க வளர்ச்சியாகவே இருந்திருக்கவேண்டும், அதாவது ஒரு கணம் என்பதை 10⁻³⁴ வினாடிகள் என்று வைத்துக்கொண்டால், முதற்கணத்தில் உலகத்தின் அளவு இரட்டிப்பாகும்; இரண்டாவது கணத்தில் அதன் அளவு நான்கு மடங்காகும்; மூன்றாவது கணத்தில் அதன் அளவு எட்டு மடங்காகும். இப்படியே கணம்தோறும் இரட்டிப்பாகிக்கொண்டு போகும் வளர்ச்சிதான் மேலே குறிக்கப்பட்டது. 10⁻³² வினாடிகளுக்குப் பிறகு இந்த வளர்ச்சி தற்பெருக்க வளர்ச்சியாக இல்லாமல் இயல்பான வளர்ச்சியாக மாறும். இதுதான் கத் முன்மொழிந்த படிவம். இந்தப் படிவத்தின் கணித விதிகளின்படி சீராக விரியும் வெட்டவெளியில் அங்கங்கே அண்டங்கள் தோன்றி இப்பொழுது நாம் காணும் நிலையில் அமையக்கூடும்.

வியனுலகம் பற்றிய ஆராய்ச்சியில் இன்னொரு புதிரையும் நாம் எதிர்கொள்ள வேண்டியிருக்கிறது. 1930-ஆம் ஆண்டிலேயே ஊர்ட் என்பவர் செய்த சில கணிப்புகளின் அடிப்படையில் நம்முடைய பால்வெளி அண்டத்தில் புலப்படும் பொருட்குவையைக் காட்டிலும் மூன்று மடங்கு பொருத்தினிவி, பேரண்டமாகிய வெட்டவெளியில் இருக்கக் கூடும் என்று தோன்றியது. ஃப்ரிட்டி ஜ்*விக்கி என்பவர், மேலும் சில சான்றுகளால் இதே துணிவை விளக்கினார். 1970 முதலாகத் தொடர்ந்த ஆண்டுகளில், வெரா ரூபின் என்பவரும், அவருடைய குழுவினரும், பல சோதனைகள் நிகழ்த்தி, எல்லா அண்டங்களிலும் புலப்பாட்டுக்கு உட்படாத பொருட்குவையே அதிகம் இருக்க வேண்டும் என்று நிறுவினார்கள்²⁴. மேலும் பல சோதனைகள் நிகழ்த்தப்பட்டபோது, பேரண்டத்தில் புலப்பாட்டுக்கு உட்படக்கூடிய பொருள்கள் 10% அளவே என்றும், புலப்பாட்டுக்கு உட்படாத பொருள்களே 90% அளவு உள்ளன என்றும் தெரிந்தது. இந்தப் புலப்படாத பொருள்கள்

நம் அண்டங்களில் உள்ள பொருள்களைப்போல் சாதாரண அணுக்களால் ஆனவையாக இருக்க வாய்ப்பில்லை. நேரான், சீரான், எதிரான்களால் அமையப்பெற்ற அணுக்கள்போல இல்லாமல், நாம் இதுவரை அறிந்துகொண்ட எந்தத் துகள் போலவும் இல்லாமல் இருக்கக்கூடிய இத்தகைய பொருள்கள், 'கருப்புப் பொருள்கள்' என்று பொருள்படும்படி ஆங்கிலத்தில் அழைக்கப்படுகின்றன. இவை எத்தகைய பொருள்கள் என்பது பற்றி இன்னும் தெளிவு பிறக்கவில்லை. இருந்தாலும் இத்தகைய பொருள்கள் வெறும் சிற்றான்களால் ஆன பொருள்களாக இருக்கக்கூடிய வாய்ப்பை ஒரு சிலர் முன்மொழிந்தனர். ஆனால் கனமே இல்லாத சிற்றான்கள் அப்படிப்பட்ட கருப்புப் பொருள்களாக இருக்க முடியாது என்பதால் அந்தக் கூற்று ஏற்றுக்கொள்ளப்படவில்லை. இந்தக் காலகட்டத்தில்தான், ஏற்கனவே குறிப்பிட்டதுபோல், சிற்றான்கள், மிகச்சிறிய கனமுடைய துகள்களாக இருக்கக்கூடிய வாய்ப்பு 1996-ஆம் ஆண்டு நிறுவப்பட்டது.

பேரண்டத்தையும் அதன் தோற்றத்தையும் சிற்றணு இயல்பியல் அல்லது துகள் இயல்பியல் மூலமாக விவரிக்கும் பல கூற்றுகள் இங்கே குறிப்பிடப்படவில்லை. இன்னும் சோதனைகள் மூலம் நிறுவப்படாமல் ஒரு தெளிவற்ற நிலையில் இருக்கும் அத்தகைய கூற்றுகள் படிப்பதற்கு விறுவிறுப்பாக இருக்கலாமே தவிர, அறிவியல் வரலாற்றில் இடம்பெறும் தகுதியைப் பெற்றுவிடவில்லை.

குறிப்புகள்:

1. “Coherent Spectroscopy on a Single Atomic System at Rest in Free Space III”, Hans Dehmelt, *Frequency Standards and Metrology*, ed., A. de Marchi, Springer, New York, 1989, page 15; & also, “Miniature Paul-Straubel Ion Trap with well- defined deep potential well”, Nan Yu, Hans Dehmelt, and Warren Nagourney, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 86, 5672, 1989.
2. *Physical Review Letters*, 74, 1995, page 2626.
3. *Physical Review C*, 54, 1996 page 2685.
4. M. Reznikov, et al., *Nature*, 399, 1999, page 183 & 284.
5. “Almagest”: Ptolemy, [English translation by Gerald J. Toomer, et al.,] Princeton University Press, 1998.
6. “The Revolutions of Heavenly Spheres”: Copernicus, [English translation by Charles G. Wallis], Prometheus Books, 1995.
7. “Dialogue Concerning The Two Chief world systems”, Galileo, [English translation by Stillman Drake], University of California Press, 1967

8. “*Kepler’s Geometrical Cosmology*”, Judith Veronica Field, University of Chicago Press, 1988.
9. “*The Mathematical Principles of Natural Philosophy*”, Sir Isaac Newton, [English translation by I. B. Cohen and A. Whitman], University of California Press, 1999.
10. “*Universal Natural History and Theory of Heaven*”, Immanuel Kant, [English translation by Ian C. Johnson].
11. “*Bulletin of The National Research Council*”, volume 2, 1921, page 171.
12. “*Bulletin of The National Research Council*”, volume 2, 1921, page 194.
13. “*Astrophysical Journal*”, volume 56, 1922, page 162 and page 400.
14. “*Astrophysical Journal*”, volume 69, 1929, page 103; also 1929, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, volume 15, page 168; & also, *Astrophysical Journal*, volume 74, 1931, page 43.
15. 1922, *Zeitschr. f. Phys.*, 10, page 377.
16. *The Evolution of the Universe*, Nature, 162, page 680 & also, *Physics of the Expanding Universe. Vol. 2, Vistas in Astronomy*, Pergamon Press, London and New York, 1956.
17. “*Principles of Stellar Dynamics*”, S. Chandrasekhar, Dover Publications, New York, 1942.
18. “*Nature*”, 217, 1968, page 709 and also “*Nature*”, 218, 1968, page 126.
19. “*Exploring Black Holes*”: John Wheeler and another, Benjamin/Cummings, 2000.
20. “*The Brief History of Time*”: Stephen Hawking, Bantam, 1998.
21. *Astrophysical Journal*, 142, 1965, page 419.
22. “*Wrinkles in Time*”: George Smoot and another, Marrow, William and Co, 1994.
23. “*The Inflationary Universe*”: Alan Guth and another, Persues Press, 1998.
24. *Astrophysical Journal* 159, 1970, page 379 and also “*Bright Galaxies, Dark Matter*”, by Vera Rubin, “Masters of Modern Physics Series”, Springer Verlag, AIP press, New York, 1997.

30. வியப்புரை

அறிவியல் வரலாற்றுக்கு முடிவுரை எழுத முடியாது. அது, முடியாத தொடர்கதை. பாரதி வியந்ததுபோல், வியந்துகொண்டே இருக்கத்தான் முடியும்:

கணந்தோறும் வியப்புக்கள் புதிய தோன்றும்!
கணந்தோறும் வெவ்வேறு கனவு தோன்றும்!
கணந்தோறும் நவநவமாங் களிப்புத் தோன்றும்!
கருதிடவும் சொல்லிடவும் எளிதோ? ஆங்கே
கணந்தோறும் ஒருபுதிய வண்ணம் காட்டிக்
காளிபரா சக்தியவள் களிக்கும் கோலம்
கணந்தோறும் அவள்பிறப்பாள் என்று மேலோர்
கருதுவதன் விளக்கத்தை இங்குக் காண்பாய்

கடந்த நூற்றாண்டு இயல்பியல், நமக்கு உணர்த்தும் மெய்மைகளில் இருந்து சில கேள்விகள் எழுகின்றன:

1. வரம்பற்றதாகக் கருதப்படும் வெட்டவெளி விரிந்துகொண்டே இருக்கிறது. அது விரிய, விரிய, அந்த விரிவுக்கு இடமளிக்கும் வெளியை நாம் எப்படி விளங்கிக்கொள்வது?
2. வெட்டவெளியின் இடையற்ற விரிவியக்கத்தால் ஏற்படும் அதிர்வுகளே ஆற்றல் பொட்டலங்களாய் அமைந்து கலைகின்றனவோ?
3. அப்படி அமைந்து, கலையும் ஆற்றல் பொட்டலங்களையே, அவற்றின் அதிர்வு - வேறுபாடுகளுக்கேற்ப, வேறுவேறு துகள்கள் என்று நாம் கணிக்கிறோமோ?
4. இவ்வாறு வடிவம் ஏற்கும் துகள்கள் தங்கள் வடிவ நிலைகளை உடனுக்குடனே இழக்க நேர்வதும், அப்படி வடிவமிழக்கவேண்டிய இயல்பை எதிர்த்துப் போராடி, மேலும் மேலும் தங்கள் ஆயுட் கணங்களை நீட்டித்துக்கொள்ள அவை முனைவதுமே, பொருள்களடங்கிய உலகம் தோன்றிய வரலாறோ?

5. துகள்கள், தங்கள் வாழ்நாட் கணங்களை நீட்டித்துக் கொள்ளும் முயற்சியில் அடைந்த பெரிய வெற்றியின் சின்னமே, சிதைவற்றதாகத் தோன்றும் நேரான் துகளோ?
6. ஓரளவு நிலையான வடிவம் பெற்று, நேரானாக முடிந்த பிறகும், அதிர்வுகளின் தாகம் தணியவில்லை. அந்த வடிவைக் கூட்டுப் பொருண்மையாகப் பல கோலங்களில் மாற்றி மாற்றி அமைத்து விளையாட ஆற்றலுக்கு ஏற்பட்ட முனைப்பே, வெவ்வேறு பொருள்களும், பிறகு உயிரினங்களும் தோன்ற அடிப்படையாக அமைந்ததோ?

மேலே தரப்பட்ட ஆறு கேள்விகளும் வியப்பின் வெளிப்பாடே. இப்பொழுது பாரதியின் வியப்பை மீண்டும் படித்து, அல்லது, படித்துப் படித்து, வியந்து கொண்டே இருக்கலாம். நேரானுக்கும் வாழ்நாட் காலம் உண்டு என்றும், அது, இந்த உலகின் வயதை விட மிகவும் நீண்ட காலம் என்றும் சிலர் கருதுகின்றனர். நேரான் சிதையும் நிகழ்வைப் புலத்தேர்வுக்கு உட்படுத்தும் முயற்சி, பெரிய அளவில், மிகுந்த செலவில், அங்கங்கே மேற்கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இன்னும் வெற்றி கிட்டவில்லை. நேரான் நிலைபெற்று நிற்கிறது. மனோன்மணியம் ஆசிரியர் சுந்தரம் பிள்ளையுடன் சேர்ந்து, நாமும் பாடி வியக்கலாம்:

“நெறியறியேன் ஆயிடினும் நேர் - நின்றல் நினதருளே.”

வரலாற்றுப் படிகள்

1896

1. ரொண்ட்கென், எக்ஸ் கதிர்கள் கண்டுபிடித்தார்.
2. பெக்ரல், கதிரியக்கம் என்ற நிகழ்வைக் கண்டுபிடித்தார்.
3. மின் - கயிறுகளின் துணையின்றி, நெடிய அலைநீட்டம் கொண்ட மின்காந்த அலைகளை, அட்லேன்டிக் மாக்கடலின் ஒரு கரையிலிருந்து, மறுகரைக்கு அனுப்பி, வானொலி என்ற சாதனம் உருவாக மார்கோனி காரணமானார்.
4. ஒளியலைகள் மீது மின்சாரமும், காந்த சக்தியும் ஏற்படுத்தும் விளைவுகளிலிருந்து, 'ட்லேமான் நிகழ்வு' எனப்படும் விளைவை, ட்லேமான், நிறுவினார்.

1897

5. எதிர்மின் கதிர்கள் துகள்களால் ஆனவை என்றும், அந்தத் துகள் ஒவ்வொன்றும் நீரியம் அணுவை விட 2000 முதல் 4000 மடங்கு வரை அளவில் சிறியவை என்றும் வைஷ்ட் அறிவித்தார்.
6. எதிர்மின் கதிர்களுக்கான மி/க (மி = மின்பொதிவு; க = கனம்) மதிப்பைக் கணிப்பது பற்றி, கௌஃப்மன் ஆய்வுத்தாள் வெளியிட்டார்.
7. மின்புலத்திலும், காந்தப் புலத்திலும், எதிர்மின் கதிர்கள் மேற்கொள்ளும் திசைத்திருப்பங்களை அளந்து, அவற்றின் வேறுபாடுகளிலிருந்து, எதிர்மின் துகளின் மி/க மதிப்பைக் கணித்து, அந்தக் கணிப்பிலிருந்து, எதிர்மின் துகள், மிகக்குறைந்த கனமுடையது என்று காட்டி, அந்தத் துகள் ஒரு புதிய பொருண்மை நிலையில் உள்ளது என்ற துணிபைத் தாம்ஸன் அறிவித்தார்.

1898

8. தானாகவே கதிரியக்கம் நிகழ்த்தும் 'தோரியம்' என்ற ஓர் அடிப்பொருளை, 'ஜர்மனியைச் சேர்ந்த ஜீ. சி. ஸ்மிட், ஃபிப்ரவரி மாதத்திலும், அதுபற்றி அறியாமலேயே, மேரி க்யூரி என்பவர் ஏப்ரல் மாதத்திலும், கண்டுபிடித்தனர்.
9. தாமே கதிர்வீச்சு நிகழ்த்தும் 'பொலோனியம்', 'ரேடியம்' என்ற மேலுமிரண்டு அடிப்பொருள்களை மேரி க்யூரி அம்மையாரும், அவர் கணவர் ப்ய(ர்) க்யூரி என்பவரும் சேர்ந்து ஜூலை, டிஸம்பர் மாதங்களில் கண்டுபிடித்தனர்.
10. ட்லேமான் விளைவில் சிறிய அளவு மாற்றம் புலப்பட்டதை கார்னூ என்பவர் அறிவித்தார்.

11. பெக்ரல் கதீர்களில் இரண்டு வகைகளேனும் உண்டு என்று ரதர் 'ஃபர்ட், தம்முடைய முதல் ஆய்வுத் தாளில் அறிவித்து, அவற்றுக்கு 'ஆல்ஃபா கதீர்கள்' என்றும், 'பீட்டா கதீர்கள்' என்றும் பெயர் சூட்டினார். இந்த நூலில் இவ்விரண்டு வகைகளும், 'அகரக் கதீர்கள்' என்றும், 'உகரக் கதீர்கள்' என்றும் முறையே அழைக்கப்படுகின்றன.

1899

12. எதிர்மின் துகளுடைய மின்பொதிவின் மதிப்பைக் கணித்து, மின்துகள் இருப்பைத் தாம்ஸன் நிறுவினார். அதுவே 'எதிரான்' என்று இந்நூலில் குறிப்பிடப்படுகிறது.
13. மின்னணுவாக்கல் என்ற நிகழ்வில், ஓர் அணு, இரண்டு கூறுகளாகப் பிளவு படுகிறது என்று தாம்ஸன் அறிவித்தார்.

1900

14. பெக்ரல் கதீர்களில் மூன்றாவது வகையான காமா கதீர்களை வில்லார் என்பவர் கண்டுபிடித்தார். இந்நூலில் இவை 'மகரக் கதீர்கள்' என்றழைக்கப்படுகின்றன.
15. கதீரியக்கத்தால் சிதையும் பொருள்களின் 'அரையாயுட் காலம்' என்பதை ரதர் 'ஃபர்ட் கணித்தார்.
16. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை விடக் குறைந்த அளவுகளில் ஆற்றல் உட்கொள்ளப் படுவதோ, வெளிப்படுத்தப்படுவதோ இல்லை என்றும், அந்தக் குறிப்பிட்ட அளவின் பெருக்கல் தொகைகளிலேயே ஆற்றல் - பரிமாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன என்றும் அறிவித்துத் துளிக்கொள்கையை மக்ஸ் ப்லங்க் நிறுவினார்.

1902

17. கதீரியக்கத்தால் ஓர் அடிப்பொருள் இன்னொரு புதிய அடிப்பொருளாகத் திரிந்து விடுகிறது என்ற பொருட்திரிபுக் கொள்கையை ரதர் 'ஃபர்ட் அறிவித்தார்

1903

18. யாரும் கண்டிராத 'அணு' என்பதன் மாதிரிப் படிவம் ஒன்றைத் தாம்ஸன் அறிவித்தார்.

1905

19. ஒளிமின் விளைவு என்ற நிகழ்வை விளக்க ஒளித்துகள் இருப்பை ஐன்ஷ்டைன் துணிபு செய்தார்.

20. இரண்டு ஆய்வுத் தாள்களில் தனிச்சார்புக் கொள்கையை ஐன்ஷ்டைன் நிறுவினார்.

1911

21. தம்முடைய மாணவர்கள் மார்ஸ்டென், கைகர் ஆகிய இருவர் துணையுடன் நிகழ்த்திய சோதனைகளிலிருந்து, அணுவுக்குள் மிகச்சிறிய மையக்கரு உண்டு என்பதை ரதர்ஃபர்ட் நிறுவினார்.

22. கதிர்வணைச் சுற்றிக் கோள்கள் சுழலுதல்போல், அணுவுக்குள் ஒரு மையக் கருவைச் சுற்றி மின்துகள்கள் சுழல்கின்றன என்ற 'கரு-மையப் படிவம்' ஒன்றை ரதர்ஃபர்ட் முன்மொழிந்தார்.

23. அணு-எடையில் மட்டும் வேறுபட்டு, மற்றபடி ஒன்றேபோல் இருக்கும் அடிப்பொருள்கள் உண்டு என்று அறிவித்து, 'ஐஸோடோப்ஸ்' என்று ஆங்கிலத்திலும், 'படிப்பொருள்கள்' என்று இந்த நூலிலும் அழைக்கப்படும் அணுவகையை ஸாடி நிறுவினார்.

1912

24. மின்மானி என்ற கருவியுடன் பலூன் பயணங்கள் மேற்கொண்டு விண்வெளிக் கதிர்கள் உண்டு என்ற மெய்மையை விக்டோர் ஹெஸ் என்பவர் நிறுவினார்.

25. நீர்த்துளிகளைப் பயன்படுத்தி மின்துகள்களின் மின்பொதிவைத் தாம்ஸன் கணித்ததை மேலும் செப்பனிட்டு, எண்ணெய்த் துளிகளைப் பயன்படுத்தி மிகவும் நுட்பமாக மின்துகளின் மின்பொதிவு மதிப்பை மில்லிக்கன் கணித்தார்.

1913

26. அணுவுக்குள், குறிப்பிட்ட பாதைகளிலேயே மின்துகள்கள் சுழல்கின்றன என்றும், ஒவ்வொரு பாதையிலும் மின்துகள் சுழல்வதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றல் வேறுவேறாக உள்ளது என்றும், ஒரு பாதையிலிருந்து இன்னொரு பாதைக்கு மின்துகள் இடம் பெயர்வதாலேயே ஒளி வெளிப்பாடு நிகழ்கிறது என்றும் துளிக்கொள்கையின் அடிப்படையில் புதிய அணுப்படிவம் ஒன்றை முன்மொழிந்து, அதன்படிக்கதிருக்குகளை விளக்க முடியும் என்று நீல்ஸ் போர் என்பவர் நிறுவினார்.

1914

27. குறிப்பிட்ட அளவுகளிலேயே மின்துகள்கள் ஆற்றலை வெளிப்படுத்தி, இழக்கும் நிகழ்வைச் சோதனைகள் மூலம் ஜேம்ஸ் ஃப்ரேங்க் என்பவரும்,

ஹெர்ட்ஜ்* என்பவரும் இணைந்து, 1912-14 ஆண்டுகளில் நிறுவினர். இதன் மூலம் ப்லங்க் வெளியிட்ட துணிபு நிறுவப்பட்டது.

1915.

28. போர் விவரித்த அணுப்படிவத்தில் சார்புக் கொள்கையைப் பொருத்தி விரிவான கதிருக்கியல் கொள்கை ஒன்றை ஜோ*மர்ஃபெல்ட் நிறுவினார்.
29. பொதுச்சார்புக் கொள்கை என்ற பெயரில், புரட்சிகரமான புவியீர்ப்புக் கொள்கை ஒன்றைப் பேருரைகள் மூலம் ஐன்ஷ்டைன் வெளியிட்டார்.

1916

30. ஐன்ஷ்டைனுடைய பொதுச்சார்புச் சமன்பாடுகளில் இருந்து, கோள்கள் போன்ற பெரிய பொருள் ஒன்று ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குக் கீழ் ஒடுக்கப்பட்டால், அதன் அருகாமையில் கால-வெளித் திரை மிகவும் வளைந்து, அப்பொருளையே சிறைப்படுத்திவிடும் நிகழ்வைக் காட்டக்கூடிய சமன்பாட்டினை ஷ்வார்ட்ஸ்ஷில்ட் என்பவர் நிறுவினார்.

1918-19

31. தொலைநோக்கியின் உதவியுடன் பால்வெளி அண்டத்தின் பரப்பளவை ஏறக்குறையச் சரியாக ஹார்லோ ஷேப்லி என்பவர் கணித்தார்.

1919

32. நீரியம் அணுக்கருவே அடிப்படையானது என்றும், மற்ற அடிப்பொருள்களின் அணுக்கருக்களெல்லாம் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட நீரியம் அணுக்கருக்களால் ஆனவையே என்றும் ரதர்'ஃபர்ட் நிறுவினார். நீரியம் அணுக்கருவுக்கு 'ப்ரோட்டான்' (இந்த நூலில் 'நேரான்') என்று பெயர் சூட்டப்பட்டது.
33. அணுக்கருவை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குமேல் அகரத்துகள்கள் நெருங்கிச் செல்ல நேர்ந்தால், மின்காந்தத் தொடர்பியக்கம் குறித்து வகுக்கப்பட்ட சமன்பாட்டின்படிச் சிதறாமல், வேறொரு புதிய புலத்தின் ஈர்ப்புக்கு உள்ளாவதை, ரதர்'ஃபர்ட், சோதனை மூலம் கண்டறிந்து, அந்தப் புதிய புலத்தின் எல்லையையும் கணித்தார்.

1920

34. அணுக்கருவில் நேரான் தவிர வேறு துகள் இருக்கக்கூடும் என்றும், அப்படிப்பட்ட துகள் மின்சீர்மை கொண்டதாக இருக்கலாம் என்றும் ரதர்'ஃபர்ட் முன் மொழிந்தார்.

1922

- 35 வியனுலகின் தோற்றம், வளர்ச்சி, முடிவு எப்படிப்பட்டவை எனக் குறிக்கும் படிவங்கள் மூன்றை அலெக் ஜே*ன்டர் ஃப்ரீட்மென் என்ற ரஷ்யச் சிந்தனையாளர் முன்மொழிந்தார்.

1923

- 36 .மின்காந்தக் கதிர்களான எக்ஸ் கதிர்கள், துகள்களால் ஆனவையே என்பதைச் சோதனை மூலம் ஆர்'தர் காம்ப்டன் நிறுவினார்.
37. துப்ராக்கி என்பவர் பொருள்கள் எல்லாமே அலைகளாகப் பரவுகின்றன என்ற துணிபை முன்மொழிந்ததோடு, பொருளலைகளின் அலைநீட்டங்களைக் கணிக்கக்கூடிய சமன்பாடொன்றை வகுத்தார்.

1923-24

38. எட்வின் ஹ'புல் என்பவர் தொலைநோக்கிப் புகைப்படங்கள் மூலம் பால்வெளி அண்டத்தின் வெளியே தென்பட்ட சில மண்டலங்களின் தொலைவுகளைக் கணித்தார்.

1924

39. சத்தியேந்திர நாத் போஸ் என்பவர் ஒளித்துகள் பற்றி ஒரு புதிய கணித முறையை அறிவித்தார். இந்த முறையைப் பொருட்துகள் களுக்கும் பொருத்திப் பார்த்து, பொருள்களும் அலைத்தன்மையை வெளிப்படுத்தலாம் என்று ஐன்ஷ்டைன் அறிவித்தார்.
- 40 கதிரடுக்குகளில் தோன்றும் நுட்பமான இழைபிரிவுகளைக் கணிக்க ஒரு புது முறையைப் பெளலி வகுத்துத் தந்தார்

1925

41. பெளலி, துகள்களுக்கான இட-ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கை ஒன்றை அறிவித்தார்.
- 42 .கதிரடுக்கு அதிர்வெண்களை அட்டவணைகளாக ஆக்கி, இரண்டு அட்டவணைகளைப் பெருக்கிப் பார்த்தபோது ஏற்பட்ட ஒரு முரண்பாட்டை ஹைஸன் 'பர்க் ஓர் ஆய்வுத்தாளில் அறிவித்தார்.
- 43 .ஹைஸன் 'பர்க் அறிவித்த கணித முறைப்பாடு, ஏற்கனவே நிறுவப்பட்டிருந்த ஒரு முறைப்பாடுதான் என்று தெளிந்து, அதை மேலும் விரிவு செய்து, மக்ஸ் பார்ன் என்பவரும், யார்டன் என்பவரும் ஒரு புதிய புலக்கொள்கை உருவாக

வித்திட்டனர். மேலும் அந்த முறைப்பாடு, ப்லங்க் நிலையெண்ணோடு தொடர்புற்றிருந்ததைக் காட்டும் ஒரு சமன்பாட்டினை அவர்கள் நிறுவினர்.

44. டேவிஸன் என்பவரும், கேர்மர் என்பவரும் நிகழ்த்திய சோதனையில், மின்துகள்கள், 'அலைபரவுதல்' என்ற விளைவைப் புலப்படுத்தின.

1926

45. ஹைஸன் 'பர்க் அறிவித்த சமன்பாட்டிலிருந்து நீரியம் அணுவுக்கான பா(ல்) மர்-ரிட்ஜ்* கதிரடுக்குகள் எளிதில் பெறப்படுவதைப் பௌலி நிறுவினார்.

46. ஷ்ருஓடிங்கர் என்பவர், அலைவடிவிலேயே எதிரான் சுழல்வதைக் காட்டும் அலைச்சமன்பாடு ஒன்றை அறிவித்தார்.

47. ஷ்ருஓடிங்கரின் அலைச் சமன்பாட்டிலிருந்து, எதிரான் அலைகள் மெய்யாகவே வாய்ப்புக் கூறு புள்ளிகளின் வடிவில் அமையப்பெற்ற அலைகள் என்ற புதிய கொள்கை ஒன்றை மக்ஸ் பார்ன் முன்மொழிந்தார்.

48. ஒளித்துகள் என்பதற்கு 'ஃ போட்டான்' (இந்த நூலில் 'ஒளிரான்') என்ற பெயரை ஜி. என். ல்யூவிஸ் வழங்கினார்.

49. க்லையன் என்பவரும், கார்டொன் என்பவரும் மின்துகள் இயக்கத்திற்குச் சார்புக் கொள்கையைப் பொருத்தி ஒரு சமன்பாட்டை அறிவித்தனர்.

1927

50. டேவிஸனும், 'ஜர்மரும் தங்கள் சோதனையைப் பல முறை நடத்தி, எதிரான்-அலைகள் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டன என்ற தீர்வை அறிவித்தனர்.

51. ஜார்ஜ் தாம்ஸன் என்பவர், தாம் நிகழ்த்திய சோதனைகளிலும் எதிரான்-அலைகள் புலத்தேர்வுக்கு உட்பட்டன என்றறிவித்தார்.

1928

52. துளிநிலை இயக்கவியலில், சார்புக் கொள்கையைப் பொருத்தி எதிரான்களின் இயக்க விதிகளைத் தெளிவுபடுத்தும் சமன்பாடு ஒன்றை டி ரேக் வகுத்தார். அச்சமன்பாடு, எதிரானின் தற்சுழற்சியையும் குறிப்பதாக அமைந்தது.

1929

53. ஹர்மான் வை'ல என்பவர் மின்பொதிவுப் பாதுகாப்புக்கும், சீர்மை என்ற கருத்தீட்டுக்கும் உள்ள தொடர்பைக் கணித முறையில் விளக்கினார்.

54 பேரண்டமே விரிந்துகொண்டிருப்பதாகப் புலத்தேர்வுகளின் அடிப்படையில் எட்வின் ஹ'புல் என்பவர் நிறுவினார்.

1930

55. உகரக் கதிர்வீச்சில், புலப்பாட்டுக்கு உட்படாத புதிய துகள்கள் வெளிப்படக்கூடும் என்று குறிப்பிட்டு, அத்துகள்கள் மின்சீர்மை கொண்டவையாக இருக்கும் என்பதையும், பௌலி முன் மொழிந்தார்.

56. லாரன்ஸ் என்பவர், சைக்லோட்ரான் என்ற பெரிய துகளூக்கி ஒன்றை வடிவமைத்தார்.

57. ஒரு விண்மீனின் அளவுக்கும், அதன் கனத்துக்கும் உள்ள தொடர்பைக் கணித்து, அந்தக் கணிப்பின்படி இருக்கவேண்டிய கனத்தைக் காட்டிலும் அதிக கனமுடைய விண்மீன்கள் நொறுங்கிவிடும் என்பதை, சந்திரசேகர் என்ற இந்திய விஞ்ஞானி உணர்த்தினார்.

1931

58. எதிர்மறை ஆற்றல் நிலையிலிருந்து மேலெழும்பி, உடன்பாட்டு ஆற்றல் நிலைக்கு ஓர் எதிர்மறை எதிரான் உயர்ந்தால், ஏற்கனவே இருந்த எதிர்மறை ஆற்றல் நிலை குழியாவதாக முன்பே அறிவித்திருந்த டிரேக், அந்தக் குழி, மெய்யாகவே ஒரு துகள் என்றும், அது நேர்மின் பொதிவு கொண்ட ஓர் எதிரான் என்றும் அறிவித்தார்.

59. டிரேக் முன்மொழிந்த புதிய துகள் போன்ற ஒரு துகள், முகில் கூடம் என்ற சாதனத்தில் விளைவித்த தடங்களின் புகைப்படம் அறிவியல் இதழ் ஒன்றில் வெளியானது. அந்தப் புதிய துகளைப் புலத்தேர்வு செய்து, அறிவித்தவர் கார்ல் ஆன்'டர்ஸன். அதுவே இந்நூலில் புதிரான் என்று குறிப்பிடப்படுகிறது.

1932

60. அணுக்கருவுக்குள், ஏறக்குறைய நேரான் துகளுக்குச் சமமான கனமுடையதும், மின்சீர்மை கொண்டதுமான புதிய துகள் ஒன்று ஜேம்ஸ் சேட்விக் என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அதுவே ஆங்கிலத்தில் "ந்யூட்ரான்" என்றும், இந்த நூலில் "சீரான்" என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

61. கார்க்ராஃப்ட் என்பவரும், வால்டன் என்பவரும் இணைந்து, தாங்கள் வடிவமைத்த பெரிய துகளூக்கியில் விரைவுந்து செய்யப்பட்ட துகள்கள் மூலம் அணுக்கரு மாற்றத்தை விளைவித்து, அந்த விளைவிலிருந்து, அ =

கலை² என்ற சமன்பாட்டை உறுதியாக நிறுவினர்.

1933

62. சீராணைச் சுற்றி காந்தப் புலம் விளைவதைச் சோதனை மூலம் ஓட்டோஷ்டேர்ன் என்பவரும், ஃப்ரிஷ்ச் என்பவரும் இணைந்து நிறுவினார்கள்.

1933-34

63. என்ரிகோ ‘ஃப்ரமி என்பவர் உகரக் கதிர்வீச்சைத் தெளிவுபடுத்தும் மெல்லாற்றல் இயக்க விதிகளை அறிவித்தார்.

1934

64. தற்சிதைவு நிகழ்த்தக்கூடிய புதிய அடிப்பொருள்களைச் சோதனைக் கூடத்தில், செயற்கையாக உருவாக்கும் முயற்சியில் ஐரீன் க்யூரியும், அவர் கணவர் ஜோலியோவும் வெற்றி கண்டனர்.
65. அணுக்கருவுக்குள், மையசக்திக்குக் காரணமாக ஒரு புதிய துகளின் பரிமாற்றம் அமையக்கூடும் என்றும், அத்துகள் எதிராணைவிட இருநூறு மடங்குக்கு மேல் கனமுடையதாக இருக்கவேண்டும் என்றும், நேர், எதிர், சீர் என மூன்று விதமான மின் பொதிவுகளுக்கு ஏற்ப, அந்தப் புதிய துகள் மூன்று வகைகளில் இருக்க வேண்டும் என்றும் உகாவா என்பவர் முன்மொழிந்தார். அதுவே, ‘மையான்’ என்று இந்த நூலில் அழைக்கப்படுகிறது.

1936

66. விண்வெளிக் கதிர்களில் எதிரான், புதிரான், ஒளிரான் ஆகிய துகள்கள் உண்டு என்பதை நிறுவக்கூடிய வகையில் சில சோதனை நிகழ்வுகள் பாபா, ஹைட்லெர் ஆகியோரால் புலத்தேர்வு செய்யப்பட்டன.

1936-37

67. உகாவா முன்மொழிந்த துகள் போலவே ஒரு புதிய துகள், விண்வெளிக் கதிர்களிலிருந்து உதிர்ந்து, புகைப்படத் தகட்டில் தடம்பதித்து, மறைந்ததைப் புலத்தேர்வு செய்து, ஆன்‘டர்ஸன் என்பவரும், நெடர்மையர் என்பவரும் அறிவித்தனர். இந்தத் துகள் உகாவா முன்மொழிந்த துகள் இல்லை எனப் பிறகு நிறுவப்பட்டு “மெஸான்” என ஆங்கிலத்தில் பெயரிடப்பட்டு, இந்த நூலில் “உதிரான்” என்றழைக்கப்படுகிறது.

1937

68. ஐஸோடோபிக் ஸ்பின் என்று ஆங்கிலத்திலும், நேர்சீர் சுழற்சி என்று இந்த நூ

லிலும் குறிக்கப்படும் கருத்தீட்டை, விக்னர் என்பவர் அறிமுகப்படுத்தினார்.

69. நேர், எதிர், சீர் என மூன்று வகை மையான்கள் இருக்கவேண்டும் என்பதைக் கெம்மர் என்பவர் காட்டினார்.

1946

70. ப்லேக்கெட் என்பவரால் வடிவமைக்கப்பட்டிருந்த பெரிய மின்காந்தக்கல் மூலம் திசைதிருப்பப்பட்ட விண்வெளித் துகள்கள், உறைபனிக் கூடம் என்ற சாதனத்துக்குள் வைக்கப்பட்டிருந்த புகைப்படத் தகட்டில் ஏற்படுத்திய விந்தையான தடங்களிலிருந்து புதியவகைத் துகள்கள் இருக்கவேண்டும் என்று ரா'சஸ்டர், பட்லர் என்றிருவர் அறிவித்தனர். இந்தத் துகள்கள், இந்நூலில் “விந்தைத் துகள்கள்” என்றழைக்கப்படுகின்றன.

1947

71. உகாவா முன்மொழிந்த துகள் சோதனை மூலம் புலத்தேர்வுக்கு உள்ளாகி நிறுவப்பட்டது. பவல் என்பவரும் அவருடைய இணைபணியாளர்களும் அச்சோதனையை நிகழ்த்தினார்கள். அந்தத் துகளே, இந்நூலில் “மையான்” எனப்படுகிறது. அது ஆங்கிலத்தில் “பயான்” எனப்படுகிறது.
72. ஜூன் மாதம், முதல் வாரத்தில் நடைபெற்ற ஷெல்டர் தீவு மாநாட்டில், துளிநிலை மின்காந்த இயக்கவியலின் கணிப்புகளில் விளைந்த சில முரண்பாடுகள் விவரிக்கப்பட்டன.

1948

73. ஷ்வீங்கர், “இயல்பாக்கல்” என்ற கணித முறைப்பாட்டின் மூலம், துளிநிலை மின்காந்த இயக்கவியலில் விளைந்த வரம்பின்மைகளை நீக்கி முறைப்படுத்தினார். இதே போன்ற முறைப்பாட்டை 1943-ஆம் ஆண்டிலேயே, டோமனாக என்ற ஐப்பானியர் வகுத்திருந்தும், அது அறிவியல் உலகின் மையத்தை 1948-ஆம் ஆண்டில்தான் எட்டியது. ஃபைன்மென் என்பவரும் இதே போன்ற முறையொன்றை, மேலும் எளிய முறையில் வகுத்துத் தந்தார்.
74. உலகமே ஒரு புள்ளியில்தான் தோன்றியிருக்கவேண்டும் என்றும், அந்தப் புள்ளிநிலை வெடித்துச் சிதறி, இப்பொழுது நாம் காணும் பேருலகமாய் விரிந்திருக்க வேண்டும் என்றும், ஜார்ஜ் கேமெள என்பவர் ஒரு படிவத்தை முன்மொழிந்தார். இந்தக் கொள்கையே ‘பிக் பேங்’ என்று அழைக்கப்படுகிறது. இந்த நூலில் இதுவே ‘முதல் வெடிப்பு’ எனப்படுகிறது.

1950

75. சீர்மையான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

1952

76. டானல்ட் க்வேஸர் என்பவர் 'புல் சேம்பர்' எனப்படும் சாதனத்தை வடிவமைத்தார். இதை 'நீர்க்குமிழிக் கூடம்' என்று தமிழில் அழைக்கலாம்.

1953

77. மரே கெல் மான் என்பவர் விந்தைக் குணம் என்ற அடிப்படையில் ஒரு புதிய துகள்முறைப்பாட்டினை வகுத்தார்.

78. டாலிட்ஜ்* என்பவர், விண்வெளிக்கதிர் பற்றிய ஒரு மாநாட்டில், சம கனமும், சம ஆயுட் காலமும் கொண்ட இரண்டு துகள்கள், சிதையும் விதத்தில் மட்டும் வேற்றுமை புலப்படுத்திய குழப்பத்தை விவரித்தார். இந்நூலில் இதுவே, "சிலம்பு-மணிக் குழப்பம்" என்று குறிப்பிடப்படுகிறது.

79. மின்பொதிவை மின்காந்தக் களமே பாதுகாக்கிறது என்ற கருத்தை நேரான்-சீரான் களத்துக்கும் பொருத்திக் கணித முறையொன்றை யாங், மில் ஆகியோர் இணைந்து வகுத்தனர். இம்முறையே, பிறகு, மின்-மென் புலங்களை இணைக்க உதவியது.

1955-56

80. ராபர்ட் ஹாஃப்டாட்டெர் தலைமையில் நடைபெற்ற சோதனைகளில், உள்ளமைப்பு கொண்ட துகள்களாகக் கருவான்கள் இருக்கக்கூடும் என்பதற்கான சான்று கிடைத்தது.

1956

81. சோதனை மூலம் சிற்றான் என்று மெய்யாகவே ஒரு துகள் இருப்பது நிறுவப்பட்டது. நிறுவியவர்கள், ரையன்ஸ் என்பவரும், கவன் என்பவரும்.

82. மெல்லியக்கங்களில் திசைச்சமனப் பாதுகாப்பு விதி மீறப்படுவதாக லீ, யாங் ஆகியோர் இணைந்து முன்மொழிந்தனர்.

1957

83. லீ, யாங் ஆகியோர் முன்மொழிந்தபடியே, மெல்லியக்கத்தில், திசைச்சமனப் பாதுகாப்பு விதி மீறப்படுவதைச் சோதனை மூலம் மூன்று குழுவினர், ஒரே நேரத்தில், நிறுவினர்.

1958

84. உதிரானுக்கென ஒன்றும், எதிரானுக்கென ஒன்றும் என்று இரண்டு விதமான சிற்றான்கள் இருக்கக்கூடுமோ என்ற வினாவை ஃபெய்ன் 'பர்க்' என்பவர் எழுப்பினார்.

1960

85. ஃபெய்ன் 'பர்க்' எழுப்பிய கேள்வியின்படி, இரண்டு விதமான சிற்றான்கள் இருக்கின்றனவா என்பதைத் தெளிவு செய்யக்கூடிய சோதனை ஒன்றின் செய்முறை விவரங்களை மெல்வின் ஷ்வர்ட்ஜ்* என்பவர் வெளியிட்டார்.

1962

86. சோதனை மூலம் இரண்டு வகையான சிற்றான்கள் உள்ளன என்று நிறுவப்பட்டது. இவையே இந்த நூலில், 'உற்றான்' என்றும், 'எற்றான்' என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. இவற்றுக்கு 'உற்' என்றும் 'எற்' என்றும் குறியீடுகள் தரப்பட்டுள்ளன.

1964

87. கெல்-மான் வகுத்த துகள்முறைப்பாட்டின்படி, எதிர்பார்த்த வண்ணமே ஒமேகா என்றழைக்கப்படும் துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்த நூலில், அந்தத் துகள், 'எதிர்ப்பாலை' எனப்படுகிறது.
88. மேலும் நுட்பமான மூன்று அடிப்படைத் துகள்களின் கூட்டமைப்புகளாக வல்லான்களெல்லாம் இருக்கக்கூடும் என்று, ஏறக்குறைய ஒரே நேரத்தில், கெல்-மான் என்பவரும், ஜ்வைக் என்பவரும் அறிவித்தனர். இவையே ஆங்கிலத்தில் 'க்வார்க்ஸ்' என்றும், இந்த நூலில் உள்ளான்கள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.
89. விந்தை உள்ளானுக்கு இணையாக மற்றோர் உள்ளான் இருக்கக்கூடும் என்று ப்யார்க்கன் என்பவரும், க் லேஷா என்பவரும் முன்மொழிந்தனர்.
90. முதல் வெடிப்பின் மிச்சக் கதிர்வீச்சைப் புலத்தேர்வு செய்து, பென்ட்சியஸ், வில்ஸன் என்ற இருவர் அறிவித்தனர்.

1965

91. ஏற்கனவே க்ரீன் 'பர்க்' என்பவர் தெரிவித்திருந்த ஒரு கருத்தை விரிவாக்கி,

ஜேன் என்பவரும், நம்பு என்பவரும் இணைந்து, உள்ளான்கள் மூன்று நிறங்களில் வரக்கூடும் என்பதாக ஒரு நிறவியல் முறைப்பாட்டை வகுத்துத் தந்தனர்.

1967-68

92. மின்காந்தக் களத்தையும், மெல்லியக்கக் களத்தையும் ஒருங்கிணைக்கக்கூடிய மின்-மென் கொள்கை ஒன்றை சலாம் என்பவரும், வைன் 'பர்க் என்பவரும் தனித்தனியே, முன்மொழிந்தனர்.
93. அதிவேகமாக எதிரான்கள் விரைந்து நேரான்களில் மோதிச் சிதறும் சோதனைகள் மூலம், உள்ளான்களின் மெய்மையை ஃப்ரிட்மென், கென்டால், டேலர் ஆகியோர் நிறுவினார்கள்.

1970

94. புலப்படும் பொருட்குவையைக் காட்டிலும், புலப்பாட்டுக்கு உட்படாத பொருட்குவையே பேரண்டத்தில் அதிகம் என்று சோதனைகள் மூலம் வெரா லூபின் என்பவர் நிறுவினார்.

1971

95. மின்-மென் கொள்கையில் விளைந்த வரம்பின்மைகளை நீக்கக்கூடிய புதிய இயல்பாக்கல் முறை ஒன்றை டி ஹூஃப்ட் என்பவர் வகுத்தார்.

1973

96. சீர்மென்சாரம் புலத்தேர்வுக்கு உட்பட்டது.
97. பிணைப்பான்கள் என்ற புதிய துகள்களின் பரிமாற்றத்தால், உள்ளான்களிடையே வலிமை வாய்ந்த தொடர்பியக்கம் விளைவதாகக் கொண்டு, துமியியல் போலவே, நிறவியல் அடிப்படையில் முழுமையான கருத்துப்படிவம் ஒன்றை, ஃப்ரிட்ஜ்* என்பவரும், கெல்-மான் என்பவரும் இணைந்து வகுத்துத் தந்தனர்.
98. மிக நெருக்கத்தில் கட்டுப்பாடின்றியும், ஓரளவுக்கு மேல் விலகிச் செல்லவே முடியாதபடி வலிமையான கட்டுக்கோப்பு உடையவையாகவும், ஆயுள் தண்டனைச் சிறைக் கைதிகள்போல் உள்ளான்கள் இருக்கின்றன எனக் கூறும் உள்ளான் படிவமொன்றை, டேவிட் பொலிட்ஸர், மற்றும்மிருவர் முன்மொழிந்தனர்.

1974

99. சோதனை மூலம், கவர்ச்சியுள்ளான் நிறுவப்பட்டது.

1975

100. 'கவர்ச்சி' என்ற குணத்தை வெளிப்படையாகக் காட்டும் துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.
101. எதிரான், உதிரான் ஆகிய இரண்டையும் தவிர மூன்றாவது வகை மெல்லான் ஒன்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இதுவே ஆங்கிலத்தில் 'டாவ்' என்றும், இந்த நூலில் 'முத்தான்' என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

1977

102. 'தளம்' என்ற புதிய வகை உள்ளான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

1978

103. டேஸி சோதனைக் கூடத்தில் எதிரான் -புதிரான் மோதலின் விளைவுகளிலிருந்து உள்ளான்களின் மெய்யிருப்பு, சோதனை மூலம் நிறுவப்பட்டது.

1979

104. 'தளம்' என்ற குணத்தை வெளிக்காட்டும் துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இந்த நூலில் கொன்றைத் துகள்கள் எனப்படும் இவை, ஆங்கிலத்தில் 'பீ மெஸ்ஸான்ஸ்' என்றழைக்கப்படுகின்றன.

1980

105. முதல் வெடிப்பு நிகழ்ந்த கணத்திலிருந்து சில கணங்கள்வரை அண்டத்தின் வளர்ச்சி தற்பெருக்க வளர்ச்சியாக இருந்திருக்கவேண்டும் என்றும், பிறகு அந்த வளர்ச்சி இயல்பான வளர்ச்சியாக மாறியிருக்கவேண்டும் என்றும், ஒரு படிவம், ஆலன் கத் என்பவரால் முன்மொழியப்பட்டது.

1981

106. ஹன்ஸ் ஜி. டெஹ்மெல்ட் என்பவர், பால் என்பவருடன் சேர்ந்து, ஓர் எதிரானையும், ஓர் அணுவையும், தனிமைப்படுத்திப் புலத்தேர்வுக்கு உட்படுத்துவதில் வெற்றி கண்டார்.

1982

- 107 ஆஸ்பெக்ட் சோதனை முடிவு வெளியாகி, ஈபிஆர் வாதத்தை முறியடித்து, துளிக்கொள்கையின் க்யோபென்ஹௌன் விளக்கத்தை நிறுவியது.

1983

- 108 மின்-மென் புலங்களை இணைக்கும் வகையில், அந்தப் புலங்களில் பரிமாற்றத்துக்கு உள்ளாவதாகக் கணிக்கப்பட்ட மூன்று துகள்களின் மெய்யிருப்பை, கார்லோருபையா என்பவரும், சைமன் ஷேன் டெர் மீர் என்பவரும் இணைந்து நிறுவினர். ஆங்கிலத்தில் W^+ , W^- , Z என்று குறிக்கப்படும் இவை, இந்த நூலில், ஒள⁺, ஒள⁻, ஃ என்றழைக்கப்படுகின்றன.

1984-85

109. இடம், காலம் போன்ற கட்டுப்பாடுகளுக்குத் துகள்கள் உட்படுவதில்லை என்று காட்டக்கூடியவாறு, எதிரான், ஒளிரான் போன்ற துகள்களைச் செலுத்தி இருதளைச் சோதனைகள், மேரிலென்ட், ம்யூனிக் ஆகிய பல்கலைக் கழகங்களில் நிகழ்த்தப்பட்டன.

1992

110. வெட்டவெளி என்பது ஒரே சீராக இல்லாமல், அங்கங்கே பொருளடர்த்தி கொண்டதாக இருப்பதால், முதலலைகளிலும் வெப்ப வேறுபாடு இருந்திருக்க வேண்டும் என்ற கணிப்புக்கு ஏற்ப, முதலலைகளின் வெப்ப வேறுபாட்டை, மிக நுட்பமாக, ஸ்மூட் என்பவர் கணித்து நிறுவினார்.

1994

111. உச்சியுள்ளான் சோதனை மூலம் நிறுவப்பட்டது.

1996

112. எற்றானாக உற்றான் மாறக்கூடிய வாய்ப்பையும், இரண்டில் ஒன்றேனும் மிகக்குறைந்த கனமுடைய துகளாக இருக்கக்கூடிய வாய்ப்பையும் குறிக்கும் சோதனை லாஸ் அலாமாஸ் என்ற இடத்தில் நிகழ்த்தப்பட்டது.

1999

113. 1/3 என்ற அளவைக் காட்டிலும் குறைந்த மின் பொதிவு கொண்ட துகள்கள் இருக்கக்கூடும் என்பதைக் காட்டும் சோதனை முடிவு வெளியிடப்பட்டது.

கலைச்சொற்கள்: அகர வரிசை
தமிழ் - ஆங்கிலம்
அ

அடிப்பொருள்	elements
அலைபரவுதல்	diffraction
அமைவு	organization
அலையடிவாரம்	trough
அலைக்குறுக்கீடு	interference
அலைக்குறுக்கீட்டு மானி	interferometer
அலையுச்சி	crest
அலைநீட்டம்	wave-length
அதிர்வெண்	frequency
அதிர்துளிகள்	oscillators
அலகு	dimension
அகல்மாயக் கோடு	latitude
அணுக்கரு	atomic nucleus
அடைப்புக் குறிகள்	brackets
அலைச்சமன்பாடு	wave-equation
அரை ஆயுட்காலம்	half-life
அடுக்குப் படிவம்	shell model
அளவையியல்	logic

ஆ

ஆற்றல் இழப்பின்மை விதி	law of conservation of energy
ஆரம்	radius

இ

இருதுளைச் சோதனை	double-slit experiment
இரும்பியம்	ferrum (iron)

இயங்காற்றல்	kinetic energy
இடப்பெயர்ச்சி	displacement
இட ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கை	exclusion principle
இழைபிரிவு	fine structure
இயல்பாக்கல்	normalization

ஈ

ஈரளவைக் கருத்தீடு	vector-concept
ஈர்ப்பி	antenna

உ

உறைபனிக் கூடம்	cloud chamber
உகரக் கதிர்கள்	beta rays
உறுதியின்மை	uncertainty
உயிரியம்	oxygen
உதிரான்	muon
உட்கோள் திறன்	power of absorption
உற்றான்	muon neutrino
உள்ளான்	quark
உள்ளான் படிவம்	quark model
உச்சியுள்ளான்	top quark

ஊ

ஊடகம்	medium
ஊதா முரண்பாடு/சிற்றலை முரண்பாடு	ultra-violet catastrophe

எ

எண்பெருக்கம்	power of eight
எண்குறுக்கம்	root of eight
எதிரான்	electron
எண்மானி	counter
எதிரியங்கி	reactor
எற்றான்	electron neutrino
எஸ் ஆரம்	Schwarzschild radius

எதிர்மின் கதிர்கள்
எதிர்மின் சக்தி
எதிர்முனை
எதிர்மின் செலுத்தி
எதிர்மின் அணுக்கள்
எதிர்ப்பங்குத் தொடர்பு
எதிர்த்துகள்

cathode rays
negative current
negative terminal
cathode
negative ions
inverse proportion
negative particle

ஒ

ஒளித்துகள் கூற்று
ஒளியலைக் கூற்று
ஒளிமூலம்
ஒளித்திருப்பம்
ஒளிமின் விளைவு
ஒளிரான்

corpuscular theory of
light
wave theory of light
source of light
deflection of light
photo-electric effect
photon

ஃ

ஃபிலோ குறுக்கம்

Fitzerald-Lorentz
contraction

ஃபர்மியான்கள்

fermions

க

கலவைகள்
கதிரியக்கம்
கதிரியம்
கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு
கதிரடுக்கியல்
கதிரடுக்கு
கருவான்கள்
கரியியம்
கனவான்கள்
கவர்ச்சி
கவர்ச்சி உள்ளான்
கவர்ச்சி நிரல்

mixtures
radiation/radio-activity
radium
black-body radiation
spectroscopy
spectrum
nucleons
carbon
baryons
charm
charmed quark
charmonium

கதிர்மையப் படிவம்
கருங்குழி
கருப்புப் பொருள்கள்
கதிரடுக்கு மானி
கணிப்பறுதியின்மை
கன இழப்பின்மை விதி

காப்புரிமைப் பதிவு
காந்தப் புலம்
காந்த ஆடிகள்
கீழுள்ளான்
குறள்நெறி
குறுஞ்சிவப்புக் கதிர்கள்
குறிப்புள்ளி
குறிஞ்சி
கூட்டுப் பொருள்கள்
கூறு
கோண்/பாகை

சமன்பாடு
சார்புக் கொள்கை
சாய்மான விசை
சிற்றணுத் துகள்கள்
சிற்றான்
சிலம்பு-மணிக் குழப்பம்
சிலிக்கியம்
சீர்கதி இயக்கங்கள்

சீரான்
சீர்மை
சீர் மென்சாரம்
சீர் துகள்

helio-centric model
black hole
dark matter
spectrometer
uncertainty principle
law of conservation of
mass
patent-registration
magnetic field
magnetic lens
down-quark
formula
infrared rays
bull's-eye
K-meson/kaon
compounds
group
degree of angle

சு

equation
theory of relativity
angular momentum
particles (sub-atomic);
neutrino
tao-theta paradox
silicon
uniformly accelerating
systems
neutron
symmetry
neutral current
neutral particle

சீரான்மீன்

neutron star

சுழலலைகள்

transverse waves

சுழி

zero

சுழல்சீர்மை

isotopic symmetry

செந்திரிபு

red shift

த

தற்பெருக்க வளர்ச்சி

inflation

தட்டைப் படிவம்

flat universe model

தளம்

bottom (quark)

தற்பெருக்கம்

square

தனிச்சார்புக் கொள்கை

special relativity

தற்சுழற்சி

spin

தற்சிதைவு

radioactivity

திசைமடக்கு

deflection

திசைச்சமனம்

parity

திறந்தவெளிப் படிவம்

open universe model

தீர்வு

conclusion/thesis

துணிபு

hypothesis

துருவ முனைப்பாக்கல்

polarization

துளிநிலைக்கொள்கை/துளிக்கொள்கை

quantum theory

துளிநிலை இயக்கவியல்

quantum mechanics

துளிநிலையெண்கள்/துளியெண்கள்

quantum numbers

துளிநிலை மின்காந்த இயக்கவியல் (துமியியல்)

quantum

electrodynamics (QED)

துளிமோசடி

quantum tunneling

துகள் பதிவுப் பொறி

particle detector

துடிமீன்

pulsar

துகளுக்கி

particle accelerator

தொடர்விரிவு

continuum

ப

பகைத்துகள்

anti particle

பாலை

omega

பால்வெளி அண்டம்

milky way

பிணைப்பாற்றல்
பிணைப்பான்கள்
பின்னொளிர் பொருள்கள்
புதிரான்
புலத்தேர்வு
புலத்தெரிவுகள்
புலக்கொள்கை
புவிமையக் கோடு
புவிமையப் படிவம்
புள்ளிநிலை
பொதுச்சார்புக் கொள்கை
பொருட்திரிபு

பொருண்மை
போஸான்கள்

ஹ

ஹாக்கிங் கதிர்வீச்சு

வ

வல்லான்கள்
வரம்பின்மை
வல்லியக்கங்கள்
வல்லாற்றல்
வளிமம்
வாய்ப்புக் கூறு
வாய்ப்புக்கூறு அலைகள்
வானொலிக் கதிர்கள்
விசை
விண்வெளிக் கதிர்கள்
விந்தைக் குணம்
விந்தைத் துகள்கள்
விந்தை எண்
வியனுலகியல்
விரிவெளிக் கொள்கை

binding energy
gluons
phosphorescent objects
positron
observation
sense data
field theory
equator
geocentric model
singularity
general relativity
transformation (of
matter)
material existence
bosons

Hawking radiation

hadrons
infinity
strong interactions
strong force
gas
probability
probability waves
radio rays
momentum
cosmic rays
strangeness
strange particles
strangeness number
cosmology
theory of expanding

விந்தையுள்ளான்/வீயுள்ளான்
 வெறுமைக் குழாய்
 வெப்ப நிலைகலன்
 வேக ஓடுக்கம்
 வேக முடுக்கம்
 வேரியம்

universe
 strange quark
 vacuum tube
 thermos flask
 deceleration
 acceleration
 nitrogen

ந

நாற்பெருக்கம்
 நான்கு 'ஃபர்மியான் விதி
 நிறவியல்

power of four
 law of four fermions
 quantum chromo
 dynamics
 permanent confinement
 theory

நிரந்தரச் சிறைக்கொள்கை

virtual particle

நிழல்துகள்
 நிலையளவை/நிலையெண்

constant
 longitudinal waves

நீளலைகள்

hydrogen

நீரியம்

நீர்த்துளிப் படிவம்

liquid drop model

நீள்மாயக் கோடு

longitude

நீர்மம்

liquid

நுண்நோக்கி

microscope

நுண்புலம்

ether

நூற்றுப்பங்கு

percentage

நெய்தல்

cascade (particle)

நேர்மின் சக்தி

positive electricity

நேர்முனை

positive terminal

நேரான்

proton

நேர்மின் செலுத்தி

anode

நேர்மின் அணுக்கள்

positive ions

நேர்ப்பங்குத் தொடர்பு

direct proportion

நேர்-சீர் சுழற்சி

isospin

நேர்த்துகள்

positive particle

நொச்சி

J/psi particle

ம

மக்னியம்

magnesium

மகரக் கதிர்கள்

gamma rays

மருதம்

lambda (particle)

மாறுகதி இயக்கங்கள்

accelerating

movements

மாறளவை

variable

மின்காந்தக் கோட்பாடு

electromagnetic theory

மின்கயிறு

electric wire

மின்விடுபாடு

electric discharge

மின்கலன்

electric cell

மின்சாரச் சீர்நிலை

electric neutrality

மின் அணுக்கள்

ions

மின்தூண்டுச் சுழல்

induction coil

மின்னோட்டம்

electric circuit

மின்துகள்/எதிரான்

electron

மின்பொதிவு

electric charge

மின்மானி

electrometer

மிச்ச மின்கசிவு

residual discharge

மின்-மென் கொள்கை

electro-weak theory

மின்-அணு ஆக்கல்

ionization

முழுமுதல் வெப்ப நிலை

absolute temperature

முறிவற்ற தொடர்நிலை

continuum

முப்பெருக்கம்

power of three

முரண் சூழல்

vacuum polarization

முத்தான்

tao

முற்றான்

tao neutrino

முதல் வெடிப்பு

big bang

முதல் அலைகள்

background radiation

முல்லை

sigma (particle)

மூடு படிவம்

closed model

மெல்லியக்கங்கள்

weak interactions

மெல்லாற்றல்

weak force

மென்சாரம்
மெல்லான்கள்
மேலுள்ளான்
மையான்
மையச் சுழல்சக்தி
மையசக்தி

weak current
leptons
up quark
pion
centrifugal force
nuclear/strong force

GLOSSARY OF TECHNICAL TERMS

ENGLISH - TAMIL

a

absolute temperature	முழுமுதல் வெப்பநிலை
accelerating movements	மாறுகதி இயக்கங்கள்
acceleration	வேக முடுக்கம்
angular momentum	சாய்மான விசை
anode	நேர்மின் செலுத்தி
antenna	ஈர்ப்பி
anti particle	பகைத்துகள்
atomic nucleus	அணுக்கரு

b

background radiation	முதல் அலைகள்
baryons	கனவான்கள்
beta rays	உகரக் கதிர்கள்
big bang	முதல் வெடிப்பு
binding energy	பிணைப்பாற்றல்
black hole	கருங்குழி
black-body radiation	கரும்பொருள்கதிர்வீச்சு
bosons	போஸான்கள்
bottom (particle)	தளம்
brackets	அடைப்புக் குறிகள்
bull's-eye	குறிப்புள்ளி

c

carbon	கரியியம்
cascade (particle)	நெய்தல்
cathode rays	எதிர்மின் கதிர்கள்
cathode	எதிர்மின் செலுத்தி
centrifugal force	மையச் சுழல்சக்தி

charm
charmed quark
charmonium
closed model
cloud chamber
compounds
conclusion/theory
conservation principle
constant

continuum
corpuscular theory of light
cosmic rays
cosmology
counter
crest

கவர்ச்சி
கவர்ச்சி உள்ளான்
கவர்ச்சி நிரல்
மூடு படிவம்
உறைபனிக் கூடம்
கூட்டுப் பொருள்கள்
தீர்வு
பாதுகாப்பு விதி
நிலையளவை /
நிலையெண்
தொடர்விரிவு
ஒளித்துகள் கூற்று
விண்வெளிக் கதிர்கள்
வியனுலகியல் / பேரண்டவியல்
எண்மானி
அலையுச்சி

d

dark matter
deceleration
deflection
degree of angle
diffraction
dimension
direct proportion
displacement
double-slit experiment
down-quark

கருப்புப் பொருள்கள்
வேக ஒடுக்கம்
திசைமடக்கு
கோண் / பாகை
அலைபரவுதல்
அலகு
நேர்ப்பங்குத் தொடர்பு
இடப்பெயர்ச்சி
இருதுளைச் சோதனை
கீழுள்ளான்

e

electric cell

மின்கலன்

electric charge
electric circuit
electric discharge
electric neutrality
electric wire
electro meter
electromagnetic theory
electron neutrino
electron
electro-weak theory
elements
equation
equator
ether
exclusion principle

மின்பொதிவு
மின்னோட்டம்
மின்விடுபாடு
மின்சாரச் சீர்நிலை
மின்கயிறு
மின்மானி
மின்காந்தக் கோட்பாடு
எற்றான்
எதிரான் / மின்துகள்
மின்-மென் கொள்கை
அடிப்பொருள்
சமன்பாடு
புவிமையக் கோடு
நுண்புலம்
இட ஒதுக்கீட்டுக் கொள்கை

f

fermions
ferrum (iron)
field theory
fine structure
Fitzerald-Lorentz contraction
flat universe model
formula
frequency

ஃபர்மியான்கள்
இரும்பியம்
புலக்கொள்கை
இழைபிரிவு
ஃபி-லோ குறுக்கம்
தட்டைப் படிவம்
குறள்நெறி
அதிர்வெண்

g

gamma rays
gas
general relativity
geocentric model

மகரக் கதிர்கள்
வளிமம்
பொதுச்சார்புக் கொள்கை
புவிமையப் படிவம்

gluons
group

பிணைப்பான்கள்
கூறு

h

hadrons
half-life
Hawking radiation
helio-centric model
hydrogen
hypothesis

வல்லான்கள்
அரை ஆயுட்காலம்
ஹாக்கிங் கதிர்வீச்சு
கதிர்மையப் படிவம்
நீரியம்
துணிபு

i

induction coil
infinity
inflation
infrared rays
interference
interferometer
inverse proportion
ionization
ions
isospin
isotopic symmetry

மின்தூண்டுச் சுழல்
வரம்பின்மை
தற்பெருக்க வளர்ச்சி
குறுஞ்சிவப்புக் கதிர்கள்
அலைக்குறுக்கீடு
அலைக்குறுக்கீட்டு மானி
எதிர்ப்பங்குத் தொடர்பு
மின்-அணு ஆக்கல்
மின் அணுக்கள்
நேர்-சீர் சுழற்சி
சுழல்சீர்மை

j

J/psi particle

நொச்சி

k

K meson/kaon (particle)
kinetic energy

குறிஞ்சி
இயங்காற்றல்

I

lambda (particle)
latitude
law of conservation of energy
law of conservation of mass
law of four fermions
leptons
liquid drop model
liquid
logic
longitude
longitudinal waves

மருதம்
அகல்மாயக் கோடு
ஆற்றல் இழப்பின்மை விதி
கன இழப்பின்மை விதி
நான்கு 'ஃபர்மியான் விதி
மெல்லான்கள்
நீர்த்துளிப் படிவம்
நீர்மம்
அளவையியல்
நீள்மாயக் கோடு
நீளலைகள்

m

magnesium
magnetic field
magnetic lens
material existence
mechanics
medium
microscope
milky way
mixtures
momentum
muon neutrino
muon

மக்னீசியம்
காந்தப் புலம்
காந்த ஆடிகள்
பொருண்மை
துளிநிலை இயக்கவியல்
ஊடகம்
நுண்ணோக்கி
பால்வெளி அண்டம்
கலவைகள்
விசை
உற்றான்
உதிரான்

n

negative current
negative ions
negative particle

எதிர்மின் சக்தி
எதிர்மின் அணுக்கள்
எதிர்த்துகள்

negative terminal
neutral current
neutral particle
neutrino
neutron star
neutron
nitrogen
normalization
nuclear / strong force
nucleons

எதிர் முனை
சீர் மென்சாரம்
சீர் துகள்
சிற்றான்
சீரான்மீன்
சீரான்
வேரியம்
இயல்பாக்கல்
மையசக்தி
கருவான்கள்

o

observation
omega
open universe model
organization
oscillators
oxygen

புலத்தேர்வு
பாலை
திறந்தவெளிப் படிவம்
அமைவு
அதிர்வுகளிகள்
உயிரியம்

p

parity
particle accelerator
particle detector
particles (sub-atomic)
patent-registration
percentage
permanent confinement theory
phosphorescent objects
photo-electric effect
photon
pion
polarization
positive electricity
positive ions

திசைச்சமனம்
துகளுக்கி
துகள் பதிவுப் பொறி
சிற்றணுத் துகள்கள்
காப்புரிமைப் பதிவு
நூற்றுப்பங்கு
நிரந்தரச் சிறைக் கொள்கை
பின்னொளிர் பொருள்கள்
ஒளிமின் விளைவு
ஒளிரான்
மையான்
துருவ முனைப்பாக்கல்
நேர்மின் சக்தி
நேர்மின் அணுக்கள்

positive particle
 positive terminal
 positron
 power of absorption
 power of eight
 power of four
 power of three
 principle
 probability waves
 probability
 proton
 pulsar
 quantum chromo dynamics
 quantum electro dynamics (QED)

 quantum numbers

 quantum theory

 quantum tunneling
 quark model
 quark

நேர்த்துகள்
 நேர்முனை
 புதிரான்
 உட்கோள் திறன்
 எண்பெருக்கம்
 நாற்பெருக்கம்
 முப்பெருக்கம்
 கொள்கை
 வாய்ப்புக்கூறு அலைகள்
 வாய்ப்புக் கூறு
 நேரான்
 துடிமீன்
 நிறவியல்
 துளிநிலை மின்காந்த
 இயக்கவியல் (துமியியல்)
 துளிநிலையெண்கள் /
 துளியெண்கள்
 துளிநிலைக்கொள்கை /
 துளிக்கொள்கை
 துளிமோசடி
 உள்ளான் படிவம்
 உள்ளான்

r

radiation
 radio rays
 radioactivity
 radium
 radius
 reactor
 red shift
 residual discharge
 root of eight

கதிரியக்கம்
 வானொலிக் கதிர்கள்
 தற்சிதைவு
 கதிரியம்
 ஆரம்
 எதிரியங்கி
 செந்திரிபு
 மிச்ச மின்கசிவு
 எண்குறுக்கம்

s

Schwarzschild radius
 sense data
 shell model
 sigma
 silicon
 singularity
 source of light
 special relativity
 spectrometer
 spectroscopy
 spectrum
 spin
 square
 strange particles
 strange quark
 strangeness
 strangeness number
 strong force
 strong interactions
 symmetry

எஸ் ஆரம்
 புலத்தெரிவுகள்
 அடுக்குப் படிவம்
 முல்லை
 சிலிக்கியம்
 புள்ளிநிலை
 ஒளிமூலம்
 தனிச்சார்புக் கொள்கை
 கதிரடுக்கு மானி
 கதிரடுக்கியல்
 கதிரடுக்கு
 தற்கழற்சி
 தற்பெருக்கம்
 விந்தைத் துகள்கள்
 விந்தையுள்ளான் / வீயுள்ளான்
 விந்தைக் குணம்
 விந்தையெண்
 வல்லாற்றல்
 வல்லியக்கங்கள்
 சீர்மை

t

tao neutrino
 tao
 tao-theta paradox
 theory of expanding universe
 theory of relativity
 thermos flask
 top quark
 transformation (of matter) theory
 transverse waves

முற்றான்
 முத்தான்
 சிலம்பு-மணிக் குழப்பம்
 விரிவெளிக் கொள்கை
 சார்புக் கொள்கை
 வெப்ப நிலைகலன்
 உச்சியுள்ளான்
 பொருட்திரிபுக் கொள்கை
 சுழலலைகள்

trough

அலையடிவாரம்

u

ultra-violet catastrophe

ஊதா முரண்பாடு / சிற்றலை
முரண்பாடு

uncertainty principle

கணிப்புறுதியின்மை /
உறுதியின்மை

uniformly accelerating systems

சீர்கதி இயக்கங்கள்

up quark

மேலுள்ளான்

v

vacuum polarization

முரண் சூழல்

vacuum tube

வெறுமைக் குழாய்

variable

மாறளவை

vector-concept

ஈரளவைக் கருத்தீடு

virtual particle

நிழல்துகள்

w

wave theory of light

ஒளியலைக் கூற்று

wave-equation

அலைச்சமன்பாடு

wave-length

அலைநீட்டம்

weak current

மென்சாரம்

weak force

மெல்லாற்றல்

weak interactions

மெல்லியக்கங்கள்

z

zero

சுழி

துணைநூற் பட்டியல்

- Anderson, David L. *The Discovery of the Electron*. Princeton, 1964.
- Andrade, E.N. da C. *Rutherford and the Nature of the Atom*. New York: Anchor, Doubleday, 1964.
- Asimov, Issac *Journey across the Sub Atomic Cosmos*, N.A.L., Dutton, 1992.
- Barnett, Lincoln. 'The Universe and Dr. Einstein.' Mentor Book, The New American Library, New York, 1952.
- Bell, John: *Speakable and unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1987.
- Bernal J.D., **Science in History**, Watts & Co., London, 1954.
- Bohr, Niels. *Atomic Theory and the Description of Nature*. London: Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1961.
- Bohr, Niels. **Essays 1958/1962 On Atomic Physics and Human Knowledge**. Interscience Publishers, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1963.
- Boorse, Henry A. and Motz, Lloyd eds. *The World of the Atom*, vols. I & II. New York: 1966.
- Born, Max. *Experiment and Theory in Physics*. Dover Publications, New York, 1956.
- Born, Max. *Physics in My Generation*. Pergamon Press Inc., London, 1956.
- Broglie, Louis de, *Physics and Microphysics*. Harper & Bros., New York, 1960.

- Brown, Laurie M. (ed.) *Renormalization: From Lorentz to Landau (and beyond)*. New York: Springer-Verlag, 1993.
- Cajori, Florian, *A History of Physics*. 1929; pb. New York: 1962.
- Cline, Barbara: *Men Who Made New Physics*, University of Chicago Press, Chicago, 1987.
- Coleman, James A., *Relativity for the Layman*, Revised Edition, Penguin Book Limited, 1969.
- Conn, G.K.T. and Turner H.D. *The Evolution of the Nuclear Atom*. London: 1965.
- Crowther, J.G.. *British Scientists of the Twentieth Century*. Routledge & Kegan Paul Ltd. London: 1952.
- Dampier W.C., *A History of Science*, Cambridge, 1942.
- Davies, Paul (ed.): *The New Physics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1989.
- Davies, P.C.W. *The Forces of Nature*, Cambridge University Press, 1979
- Einstein, Albert and Infeld, Leopold. *The Evolution of Physics*. New York: Essandess Paperback, Simon and Schuster, 1961.
- Faraday, Michael. *Experimental researches in electricity*. 3 vols. London: [1 & 2] Richard and John Edward Taylor; [3] Richard Taylor and William Francis, 1838, 1844, 1855.
- Feynman, Richard: *QED: The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press, Princeton, 1985. %
- Fries, D.E. and another, Ed., *Quarks and Nuclear Forces*, SPR Verlag, 1982.

- Fritzsche, Harald: *Quarks*, Penguin, London, 1992.
- Gamow, George. *Biography of Physics*. 1961; pb. New York: 1964.
- Gingerich, Owen. *The eye of heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler*. New York: American Institute of Physics, 1993.
- Gregory, J.C. *A Short History of Atomism from Democritus to Bohr*. London: 1931.
- Gribbin, John, *Q is for Quantum*, Phoenix Giant Paper Back Edition, Orion Books Limited, London, 1999.
- Gribbin, John, *In Search of Schrodinger's Cat: Quantum Physics and Reality*, Phoenix Giant Paper Back Edition, Bantam Books, New York, 1984.
- Heisenberg, Werner. *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*. New York: Harper Torchbooks, Harper & Bros., 1962.
- Hermann, Armin. *The Genesis of the Quantum Theory (1899-1913)*. Cambridge, MA: 1971.
- Hesse, Mary B. *Forces and Fields. The Concept of Action at a Distance in the History of Physics*. London: Thomas Nelson and Sons Ltd., 1961.
- Hetherington, Norriss S. (ed.) *Cosmology: Historical, literary, philosophical, religious, and scientific perspectives*. New York & London: Garland Publishing, 1993.
- Hoffmann, Banesh. *Albert Einstein: Creator and Rebel*. New York: 1972.
- Hoffmann, Banesh. *The Strange Story of the Quantum*. New York: Dover Publications, 1959.

- Holton, Gerald James and Duane H.D. Roller. *Foundations of Modern Physical Science*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1958.
- Jammer, Max. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. New York: 1966.
- Jammer, Max.: ‘Planck, Entropy, and Quanta, 1901-1906.’ *The Natural Philosopher Vol. 1*; ‘Einstein’s First Paper on Quanta.’ *The Natural Philosopher Vol. 2*; ‘Einstein and the Wave-Particle Duality.’ *The Natural Philosopher Vol. 3*. New York: Blaisdell Publishing Co., Ginn and Co., 1963 and 1964.
- Kramers, H.A. and Helge Holst. *The Atom and the Bohr Theory of Its Structure*. New York: Alfred A. Knopf Inc., 1926.
- Lederman, Leon. *God Particle*, Delta Paperback, Dell Publishing, New York, Reprint 1994.
- Lerner, Rita G. and another, Ed. *Encyclopedia of Physics*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., Massachusetts, 1981.
- Mann, Alfred K. and Cline, David B. (eds.) *Discovery of weak neutral currents: The weak interaction before and after*. Santa Monica, CA, February 1993. (AIP Conference Proceedings, 300) New York: AIP Press, 1994.
- Mason, Stephen F. *A History of the Sciences*, New revised edition, Collier Books, 1962.
- Miller, Arthur I. *Early quantum electrodynamics: A sourcebook*. New York: Cambridge University Press, 1994. Contents: “Frame-setting essay” by Miller, 3-118; papers by Dirac, Fierz, Heisenberg, Kramers, Pauli, Weisskopf.
- Pais, Abraham. *Inward Bound*, Clarendon Press, Oxford, 1986.

- Pais, Abraham. *Subtle Is The Lord*, Oxford University Press, Oxford, 1982.
- Parker, Sybil P. ed. *Mc Graw Hill Encyclopedia of Physics*, Mc Graw Hill, New York, 1983.
- Pasachoff, Jay M. and Kutner, Marc L. *Invitation to Physics*, W.W.Norton, New York and London, 1981.
- Penrose, Roger, et al., *The Large, the Small and the Human Mind*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- Russell, Bertrand. *The ABC of Relativity*. New Jersey: Essential Books, 1958.
- Schweber, Silvan S. *QED and the men who made it: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994.
- Spangenburg, Ray and another, *The History of Science from 1895 to 1945*, Universities Press (India) Limited, Hyderabad, India.
- Spangenburg, Ray and another, *The History of Science from 1946 to the 1990s*, Universities Press (India) Limited, Hyderabad, India.
- Thewlis J, ed. *Encyclopedic Dictionary of Physics* (Nine Volumes), Pergamon Press Limited, Oxford, 1964.
- Trigg, George L. *Crucial Experiments in Modern Physics*. New York: 1971.
- Tropp, Eduard A, et al., *Alexander A. Friedmann: The man who made the universe expand* [Translated by Alexander Dron and Michael Burov from Russian] New York: Cambridge University Press, 1993.
- Whittaker, Sir Edmund. *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 1: The Classical Theories. New York: Philosophical Library; Edinburg & London, Thomas Nelson and Sons, 1951.

- Wiener, Philip P. Winer, ed. *Dictionary of the History of Ideas* (Four Volumes), Charles Scribner's Sons, New York, 1973.

- Yang, Chen Ning: *Elementary Particles*. Princeton HP, 1961.

விஞ்ஞானிகளின் பெயர்கள் : அகரவரிசை

அ

அப்பொலேநியஸ் Appolonius

அரிஸ்டாட'டுல் Aristotle

ஆ

ஆபன்ஹை`மர், ரா`பர்ட் Oppenheimer, Robert

ஆ

ஆடம்ஸ், வால்டர் சிட்னி Adams, Walter Sydney

ஆன்`டர்ஸன், கார்ல் Anderson, Carl

ஆஸ்பெக்ட், அலைன் Aspect, Alain

இ

இவானியன்கா Ivanenko

உ

உகாவா, இதேகி Yukawa, Hidekki

உல்ஃப், தியோடர் Wolf, Theodore

ஊ

ஊர்ட் Oort

ஊலன்பெக் Uhlenbeck

எ

எடிங்டன், ஆர்`தர் எஸ். Eddington, Arthur S

எம்பேடக்லீஸ் Empedocles

எல்ஸ்டெர் Elster

ஐ

ஐரீன், க்யூரி Irene Curie

ஐன்ஸ்டைன், ஆல்`பர்ட் Einstein, Albert

ஓ

ஓக்கியாலினி Occhialini

க்

க்யூட்டிஸ், ஹெபர் Cutis, Heber

க்ரூக்ஸ், வில்லியம் Crookes, William

க்லையன் Klein

க்யூரி, ப்ய(ர்) Curie, Pierre

க்யூரி, மேரி Curie, Mary

க்யூரி, ?

க்

க்லேஷோ, ஷெல்டன் Glashow, Sheldon

க்லேஸர், டானல்ட் Glaser, Donald

க

கன்ட், இமேனுவெல் Kant, Immanuel

கவன், க்லைட் லோரென் Cowan, Clyde Loren

க

கத், ஆலன் Guth, Allen

கா

காக்ராஃப்ட், ஜான் Cockcroft, John

காம்ப்டன், ஆர்'தர் Compton, Arthur

கா

கார்டொன் Gordon

கெ

கென்டால், ஹென்ரி வே Kendall, Henry Way

கெப்லெர், யுஹேனஸ் Kepler, Johannes

கெம்மர் Kemmer

கெ

கெல்-மான், மரே Gel-mann, Murray

கே

கேய்லி Cayley

கே

கேர்மர் Germer

கே

கேமெள, ஜார்ஜ் Gamow, George

கேலிலேயோ Galileo

கை

கைகர் Geiger

கைடெல் Geitel

கோ

கோப் பர்நிகஸ், நிகோலே Copernicus, Nicholas

கோல்ஹோர்ஸ்டர் Kolhorster

கோன்வோர்ஸி Conversi

கௌ

கௌஃப்மன், வால்டர் Kaufmann, Walter

கௌ

கௌட்ஸ்மிட் Goudsmit

ச

சலாம், அப்துஸ் Salam, Abdus

ச

சந்திரசேகர், சுப்பிரமணியன் Chandrasekhar, Subramanian

சே

சேட்விக், ஜேம்ஸ் Chadwick, James

டீ

டீஸேமான் Zeeman

டீ

டீயூஃபே Duffay

டா

டாலமி Ptolemy

டா

டார்வின் Darwin

டால்டன், ஜான் Dalton, John

டா

டாலிட்ஜ்* Dalitz

டி

டிங், சேமுல் சாவ் சாங் Ting, Samuel Chau Chang

டி

டிக்கி, ராபர்ட் Dicky, Robert

டிமாக்ரிடஸ் Democritus

டிரேக், பால் ஆட்ரியன் மோரிஸ் Dirac, Paul Adrien Maurice

டெ

டெல்லர், எட்வர்ட் Teller, Edward

டெ

டெஹ்மெல்ட், ஹன்ஸ் ஜி. Dehmelt, Hans G

டே

டேலர், ரிச்சர்ட் எட்வர்ட் Taylor, Richard Edward

டே

டேவிஸன் Davisson

டோ

டோமனாக, ஷின் இச்சீரோ Tomonaga, Shin Ichiro

தா

தாம்ஸன், ஜே. ஜே. Thomson, J. J.

தாம்ஸன், ஜார்ஜ் Thomson, George

ந்

ந்யூட்டன், ஸர் ஐஸக் Newton, Sir Issac

ந

நஃபே Nafe

நம்பு, ஓய். Nambu, Y.

நி

நிஷிஜிமா Nishijima

நெ

நெடர்மெயர், ஸெத் Nedermeyer, Seth

நெல்ஸன் Nelson

நெஹர், விக்டர் Neher, Victor

நொ

நொ-எத்தர், எம்மி Noether, Emmy

ப்

ப்லேட்டோ Plato

பு

பயார்க்கன், ஜேம்ஸ் டேவிட் Bjorken, James David

புருனோ Bruno

புலேக்கெட் Blakett

பு

பவல், செஸில் ஃபுரேங்க் Powel, Cecil Frank

பு

படலர் Butler

பு

புரல், மார்டின் ல்யூவிஸ் Perl, Martin Lewis

பு

பாபா, ஹோமி ஜெ. Baba, Homi J.

பாம், டேவிட் Bohm, David

பாய்ல், ராபர்ட் Boyle, Robert

பா(ல்)மர் Balmer

பார்ன், மக்ஸ் Born, Max

பு

பிச்சோனி Piccioni

பு

பென்ட்சியஸ், ஆர்னோ Pencias, Arno

பு

பெக்கர், ஹெர்'பேர்ட் Becker, Herbert

பெக்ரல், ஆரி Bequerel, Henry

பெல், ஜான் Bell, John

பெல் ஜோஸெலின் Bell, Jocelyn

பே

பேத்`ஹ, ஹன்ஸ் Bethe, Hans

பை

பைத்தாகரஸ் Pythagoras

பை

பைலர் Byler

பொ

பொடோல்ஸ்கி Podolski

பொயின்கரே, ஆர்ரி Poincare, Henri

பொலிட்ஸர், டேவிட் Politzer, David

போ

போஞ்சீனி Pancini

போ

போத்`ஹ, வால்டெர் Bothe, Walter

போல்ஸ்மன் Boltzman

போர், நீல்ஸ் Bohr, Neils

போஸ், ஸத்யேந்த்ரநாத் Bose, Satyendranath

பௌ

பௌலி, வுல்ஃப்கங் Pauli, Wolfgang

ம

மஹ், எர்னஸ்ட் Mach, Ernest

மா

மார்கோனி Marconi

மார்லி Marley

மார்ஸ்டென் Marsden

மார்ஷக், ரா'பர்ட் Marshak, Robert

மி

மில்லிக்கன், ரா'பர்ட் ஆண்ட்ரூஸ் Milikan, Robert Andrews

மில்ஸ், ரா'பர்ட் Mills, Robert

மின்டிஸேயெஃப், திமித்ரி Mendeleif, Dimitri

மெ

மென்கோஸ்கி Minkowski

மே

மேக்ஸ்வெல், ஜேம்ஸ் க்'லர்க் Maxwel, James Clerk

மை

மைக்கல்ஸன் Michelson

மையர், யூலியூஸ் லோத்தார் Meyer, Julius Lothar

ய

யங், தாமஸ் Young, Thomas

யா

யாங், Yang

யார்டன் Jordan

யு

யுவல் நீமென் Yuval Neeman

யூ

யூக்லிட் Euclid

ர

ரதர்'ஃபர்ட், 'எர்னஸ்ட் Rutherford, Ernest

ரா

ரா'சஸ்டர் Rochester

ரி

ரிக்டர், 'பர்டன் Richter, Burton

ரிட்ஜ்* Ritz

ரூ

ரூபயா, கார்லோ Rubbia, Carlo

ரூ

ரூபின், வெரா Rubin, Vera

ரூம்கப்ஃப் Ruhmkopff

ரெ

ரெதர்'ஃபர்ட், ரா'பர்ட் Retherford, Robert

ரே

ரேய்லி, லார்ட் Rayleigh, Lord

ரொ

ரொன்ட்கென் Rontgen, Conrad Wilhelm

ரோ

ரோஸன் Rosen

ரை

ரைட்'பர்க் Rydberg

ரையன்ஸ், ஃப்ரெடெரிக் Reines, Frederik

ல்

ல்யூவிஸ், ஜி. என். Lewis, G.N.

ல

லண்டன், ஃப்ரிட்டி London, Fritty

லா

லாரன்ஸ், 'எர்னஸ்ட் ஆர்லேன்டோ Lawrence, Ernest Orlando

லீ

லீ Lee

லூ

லூயி து ப்ராக்லி Louis, de Broglie

லெ

லெய்டர்மென், லியான் Lederman, Leon

லெய்ஸிபஸ் Leissipus

லெவாய்ஸியர் Lavoisier

லே

லேனார்ட் Lenard

லே

லேம்ப், வில்லிஸ் Lamb, Willis

லோ

வில்ஸன் லோரென்ஜ்*, Wilson, Lorentz

வா

வா(ர்)லி Warley

வால்டன் Walton

வி

விக்னர் Wigner

வில்லார் Willard

வில்ஸன் ராபர்ட் Wilson, Robert
வில்ஸன், லோரென்ஜ்* Wilson, Lorentz

வீ
வீலர், ஜான் Wheeler, John
வீன் Vien

வு
வு Wu

வே
வேபர் Weber

வே
வேன் டெர் மீர், சைமன் Van der Meer, Simon

வை
வைல், ஹர்மான் Wyle, Herman
வைன்பர்க், ஸ்டீவன் Weinberg, Steven
வைஷ்ட் Weichert

ஹ்
ஹ்யூவிஷ், ஆன்டனி Hewish, Antony

ஹ
ஹ்புல், எட்வின் Hubble, Edwin

ஹா
ஹாக்கிங், ஸ்டீவன் Hawking, Stephen
ஹாஃப்டாட்ஹெர், ராபர்ட் Hofstadter, Robert

ஹி
ஹிட்டாஃப் Hittorf

ஹீ

ஹீகென்ஸ் Huygens

ஹூ

ஹூக், ராபர்ட் Hook, Robert

ஹூஃப்ட், ஜெரார்டஸ் டி Hoof, Gerardus t'

ஹூமேஸன், மில்டன் Humason, Milton

ஹெ

ஹெர்ட்ஜ்* Hertz

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஜ்* Helmholtz

ஹெஸ், விக்டோர் Hess, Victor

ஹே

ஹேன், எம். ஓய். Han, M.Y.

ஹை

ஹைட்லெர் Heitler

ஹைஸன் பெர்க், வேர்னர் Heisenberg, Werner

ஹோ

ஹோயல், ஃப்ரெட் Hoyle, Fred

ஸ்

ஸ்டைன்பர்கர், ஜேக் Steinberger, Jack

ஸ்தேலேதோப் Stoletov

ஸ்டோனி Stoney

ஸ்மிட், ஜி. சி. Smit, G.C.

ஸ்மூட், ஜார்ஜ் Smoot, George

ஸ

`ஸர்`பர், ரா`பர்ட் Serber, Robert

ஸா

ஸாடி, ஃப்ரெட்ரிக் Sody, Frederic

ஜ்*

ஜ்* விக்കி, ஃப்ரிட்ரிச் Zwicky, Fritty

ஜ்* வைக், ஜார்ஜ் Zweig, George

ஜ்* னோ, Zeno

ஜீ

ஜீன்ஸ் Jeans

ஜோ*

ஜோ*மர்ஃபெல்ட் Sommerfeld

ஜோ*லியோ Joliot

ஷ்

ஷ்டெஃப்ஹான் Steffan

ஷ்டேர்ன், ஓட்டோ Stern, Otto

ஷ்ருஓடிங்கர், எர்வின் Schrodinger, Erwin

ஷ்வீங்கர், ஜூலியஸ் Schwinger, Julius

ஷ்வர்ட்ஜ்*, மெல்வின் Schwartz, Melwin

ஷ்வார்ட்ஸ்ஸ்கில்ட், கார்ல் Schwarzschild, Karl

ஷே

ஷேப்லி, ஹார்லோ Shapely, Harlow

வானவில் பண்பாட்டு மையம்
வெளியீடுகள்

திருக்குறள் சிந்தனைகள்

நமக்குத் தொழில் கவிதை (கே. ரவி & ஷோபனா ரவி)

மின்னற் சுவை

உன்னோடு நான்

JUSTICE VERSUS NATURAL JUSTICE

LAW, LOGIC & LIBERTY