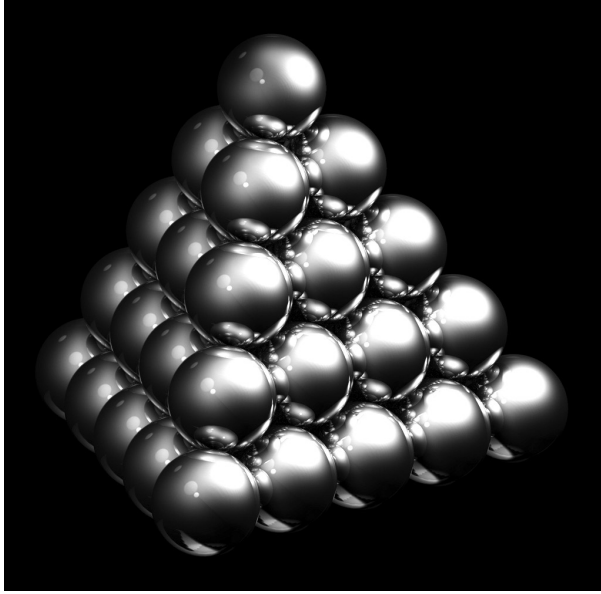


அணுவைப் பற்றி எப்படி அறிந்தாய்?

ஐசக் அஸிமோவ்



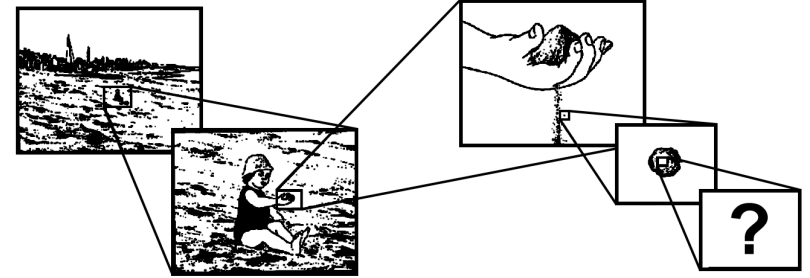
தமிழில்

இ.ஹேமபிரபா
பூ.கொ.சரவணன்
நா.இரா.கௌதம்
சூ.அருண்குமார்
வ.விஷ்ணு

1. அணு பற்றிய கருத்துரு

நீங்கள் கடற்கரை மணல்மேட்டில் விளையாடி இருப்பீர்கள். ஒரு கைப்பிடி மணலை அள்ளி, அதில் இருக்கும் சிறிய மணல் துகளை உடைத்தால் இன்னும் சிறிய மணல் துகள் கிடைக்கும். இப்படி உடைத்துக்கொண்டே போனால் எதில் போய் முடியும்?

வேறு ஒரு உதாரணத்தை எடுத்துக்கொள்வோம், ஒரு தாளை இரண்டாக கிழியுங்கள். இரண்டை நான்காக, நான்கை எட்டாக இப்படி கிழித்துக்கொண்டே இருக்க முடியுமா?



கிட்டத்தட்ட இரண்டாயிரத்து ஐந்நூறு ஆண்டுகளுக்கு முன்பு அதாவது கி.மு. 450ல், லெசிப்பஸ் என்னும் கிரேக்க தத்துவ அறிஞர் இதைப்பற்றி சிந்தித்தார். ஒரு பொருளை உடைத்துக்கொண்டே போனால், ஒரு கட்டத்தில் உடைக்க முடியாத ஏதாவது ஒரு பொருளோடு அது முடிய வேண்டும் என்று அவர் நினைத்தார்.

அவருடைய மாணவனான டெமாக்கரிட்டஸ் என்பவரும் இதே வழியில் சிந்தித்தார். கி.மு.380ல் அவர் தன்னுடைய கருத்துக்களைத் தொகுத்து 72 புத்தகங்களை எழுதி இருந்தார். “உடைக்கப்பட முடியாதவை” என்னும்

பொருள்படும் கிரேக்க சொல்லான “அடாமஸ்” என்பதை முதன்முதலாக வழக்கிற்கு கொண்டுவந்ததும் இவர்தான். பின்பு ஆங்கிலத்தில் இச்சொல் “ஆ(ட்)டம்” என்று வழங்கப்பட்டது.

டெமாக்கரிட்டஸ் தன் கருத்துக்களில், இந்த உலகம் முழுவதும் அணுக்களால் ஆனவை. வெவ்வேறு அணுக்கள் உண்டு. அணுக்களை ஆக்கவோ அழிக்கவோ முடியாது. அணுக்களின் அமைப்பைப் பொருத்தே பொருட்களின் தன்மை மாறுபடுகிறது என்றார்.

அவரின் இந்த கருத்துக்களுக்கு எந்த சான்றும் இல்லை. அவர் இதை யுகித்திருந்தார் – அவ்வளவே. ஆனால், மற்ற கிரேக்க தத்துவஞானிகளுக்கு இதில் உடன்பாடில்லை. அதனால், “அணுவியல்” கருத்து பலரிடமும் சென்று புகழடையவில்லை.

மேலும், அக்காலத்தில் அச்சுப்பொறிகள் இல்லை. எல்லாப் புத்தகங்களும் கையால் எழுதப்பட்டவையே. டெமாக்கரிட்டஸின் கருத்துக்கள் பலராலும் ஏற்றுக் கொள்ளப்படாததால் மிக குறைவான புத்தகங்களே வழக்கில் இருந்தன. காலப்போக்கில் அவையும் அழிந்து போயின. ஆதிகால புத்தகங்களில் அவரைப்பற்றி உள்ள குறிப்பு இருந்ததால் டெமாக்கரிட்டஸின் பெயர் நமக்கு தெரிகிறது.

டெமாக்கரிட்டஸின் புத்தகங்கள் முழுவதுமாக அழிவதற்கு முன்பே எபிக்ரஸ் என்னும் கிரேக்க தத்துவ அறிஞர் அப்புத்தகங்களைப் படித்து அணுவியலாளர் ஆனார். கி.மு.360ல் ஏதன்சிலும், கிரீசிலும் ஒரு பள்ளியைத் தொடங்கினார். முதன்முதலாக அந்தப் பள்ளி பெண்களையும் கல்வி கற்க அனுமதித்து மிகப் பிரசித்திப்

பெற்ற கல்வி மையமாக உருவானது. அணுவியலை பயிற்று வித்தது மட்டுமல்லாமல், அதைப்பற்றி கிட்டத்தட்ட 300 புத்தகங்களை எழுதினார். எனினும் இவருடைய புகழும் குறைந்து, புத்தகங்களும் அழிந்துபோயின.

ஆனால், அணுவைப் பற்றிய கருத்துரு மட்டும் அழிந்து போகவில்லை. எபிக்ரஸின் காலத்திற்கு பின்பு இருநூறு ஆண்டுகள் கழித்து, லூக்கரிட்டஸ் என்பவர் அணுவியலாளர் ஆனார். கி.மு.56ல் பொருட்களின் இயல்பு பற்றி டெமாக்கரிட்டஸ் மற்றும் எபிக்ரஸ் கூறிய கருத்துக்களை முன்வைத்து அவர் ஒரு நெடிய கவிதை எழுதினார்.

குட்டன்பர்க் அச்சுப்பொறி



ஆனால், எப்போதும்போல இவருடைய அணுவியல் பணிகளும் பிரசித்தி பெறவில்லை.

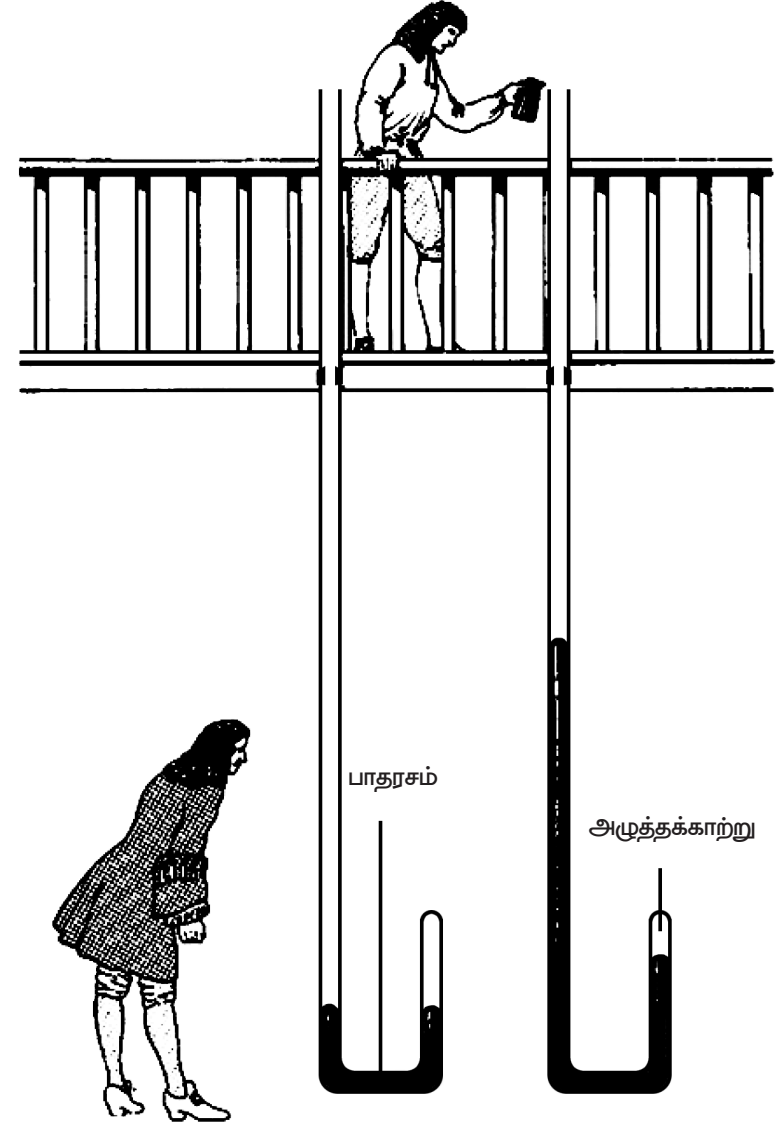
கி.பி.1417ல் யாரோ ஒருவர் வீட்டு பரணியில் இருந்த சிதைந்து போன ஓர் ஏட்டில் லூக்கரிட்டஸின் கவிதையைப் பார்த்து ஓரளவு மறுபதிப்பு செய்தார். அந்தக் காலகட்டத்தில் தொன்னூல்கள் பற்றிய ஆய்வுகள் முக்கியத்துவம் பெற்றிருந்ததால், லூக்கரிட்டஸின் கவிதை பலமுறை மறுபதிப்பு செய்யப்பட்டது. 1454ல், குட்டன்பர்க் அச்சப்பொறியைக் கண்டுபிடித்த பின்பு புத்தகங்களை மறுபதிப்பு செய்வது மிக மிக எளிதானது. புத்தகங்கள் அழிவதும் தடுக்கப்பட்டது.

இப்படியாக அணுவைப் பற்றிய கருத்துரு கொஞ்சம் கொஞ்சமாக அறிஞர்களால் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது. ஆனால், அணு என்று ஒன்று இருப்பதற்கான சான்று எதுவுமேயில்லை. சான்றுகள் தேவையென்றால் சோதனைகள் செய்து பார்க்க வேண்டும். சோதனை செய்வதால் மட்டுமே பிரபஞ்சத்தின் கோட்பாடுகளைப் புரிந்துகொள்ள முடியும் என்று சொன்னவர் காசண்டி.

காசண்டியின் கூற்றைப் புரிந்துகொண்டு “அணு” என்ற ஒன்று இருப்பதற்கான சாத்தியத்தை சோதனையின் மூலம் உலகுக்குக் கூறிய முதல் வேதியியலாளர் ராபர்ட் பாய்ல்.

ராபர்ட் பாய்லுக்கு காற்றின் தன்மைகளை அறிந்து கொள்வதில் மிகுந்த ஆர்வம். திடப்பொருளையும், திரவத்தையும் கையில் தொட்டுப்பார்த்து ஆராய்ச்சி செய்ய முடியும். ஆனால், காற்றைப் பற்றி ஆய்வு செய்ய தனி வழிமுறைகள் வேண்டும்.

ராபர்ட் பாய்ல் இந்த ஆய்வை 1662ஆம் ஆண்டு நடத்தினார்.



பாய்ல் சோதனை, 1662

ஐந்து மீட்டர் நீளமுள்ள “ J” வடிவம் கொண்ட ஒரு கண்ணாடிக் குழாயில் கொஞ்சம் பாதரசத்தை ஊற்றினார். அந்தக் குழாயின் சிறிய முனை மூடப்பட்டதாகவும், மற்றொரு முனை திறந்த மாதிரியும் இருந்தது. பாதரசத்தின் எடையின் உந்துதலால் சிறிய முனை பக்கம் அது கொஞ்சம் மேலெழும்பி நின்றது. பாதரசத்தை இன்னும் அதிகமாக அந்தக் குழாயில் ஊற்றினார். பாதரசத்தின் எடை குழாயினுள் இருந்த காற்றை அழுத்தப்படுத்தியது. பாதரசத்தின் எடையை அதிகரிக்க அதிகரிக்க உள்ளிருக்கும் காற்று இன்னும் அழுத்தப்பட்டதே தவிர, பாதரசம் மட்டுமே அந்தக் குழாயை முழுமையாக நிரப்பவில்லை.

காற்றின் மேல் செலுத்தப்படும் அழுத்தத்திற்கும், காற்றின் கொள்ளளவிற்கும் இருக்கும் நேர்மாறான தொடர்பை சொல்வதுதான் பாய்ல் விதியாகும்.

சரி, காற்று ஏன் சுருங்குகிறது?

பஞ்சை அழுக்கினால் சுருங்கும். ஏனென்றால் அதில் உள்ள சிறு சிறு துவாரங்களில் காற்று நிரம்பி இருக்கும். நாம் அதை அழுத்தும்போது காற்று வெளியேறும்; பஞ்சு சுருங்கும்.

அப்படியானால், காற்றும் சுருங்குகிறது என்றால் காற்றின் நடுவே காலி இடம் இருக்க வேண்டும். நாம் அழுத்தம் கொடுக்கும்போது காற்று (அதாவது, காற்றில் உள்ள பொருள்) அந்த காலி இடங்களை நிரப்பி, சுருக்கமடையும்.

அப்போது, காற்றில் உள்ள பொருள் என்னவாக இருக்கும் என்று பாய்ல் யோசித்தபோது தான், அவை அணுக்களாகத்தான் இருக்க முடியும் என்ற எண்ணம் வலுவடைந்தது. இது காற்றுக்கு மட்டுமல்லாமல்,

வாயு, திரவம், திடப்பொருள் என்று எல்லாவற்றிற்கும் பொருந்தும் என்றும் நம்பினார்.

தண்ணீரிலும், நீராவியிலும், பனிக்கட்டியிலும் அணுக்கள் இருக்கும். ஆனால், அணுக்களிற்குள் ஊடே இருக்கும் காலி இடத்தின் அளவு மாறுபடும் என்றும் அவர் நினைத்தார்.

2. அணுக்கள் இருப்பதற்கான ஆதாரங்கள்

அணுக்கள் இருக்கின்றன. சரி, வெவ்வேறு வகையான அணுக்கள் இருக்க முடியுமா?

இருக்கலாம் என்று நினைத்தார் டெமாக்கரிட்டஸ்.

பண்டைய கிரேக்கர்கள் இந்த உலகம் நான்கு வகையான அடிப்படை கூறுகளால் ஆனது என்று நம்பினர் – நிலம், நீர், காற்று, நெருப்பு இதுவும் வெற்று நம்பிக்கையே தவிர அவர்களிடம் சான்று இல்லை.

நிலத்தில் இருக்கும் அணுக்கள் கடினமானதாகவும், நீரில் இருப்பவை மென்மையாகவும், நெருப்பில் இருப்பவை கூர்மையானதாகவும், காற்றில் இருப்பவை சிறகுகளுடனும் இருக்கும் என்று அவர்கள் நம்பினார். அதாவது, ஒவ்வொரு பொருளின் தன்மைக்கேற்ப அணுவின் தன்மையும் இருக்கும் என்று அவர்கள் நினைத்தார்களே தவிர, அணுக்களின் கட்டமைப்பைப் பற்றி அவர்கள் யோசிக்கவில்லை.

ஆனால், பாய்ல் அப்படி நினைக்கவில்லை. ஒரு பொருளில் இருக்கும் அணுக்களைப் பற்றி தெரிந்து கொள்ள வேண்டுமானால் ஆராய்ச்சி மேற்கொள்ள வேண்டும் என்றார். வேதியியலாளர்கள், ஒரு பொருளை உடைத்து உடைத்து கடைசியில் இன்னமும் உடைக்க முடியாத ஒரு நிலைக்கு கொண்டு வர வேண்டும். அப்போதுதான் அந்த பொருளில் இருக்கும் அணுக்களைப் பற்றி தெரிந்து கொள்ள முடியும் என்றார்.

1661-ஆம் ஆண்டு, பாய்லின் புத்தகம் வெளிவந்த பின்பு உலகில் வேதியியல் விஞ்ஞானிகள் பலரும் மேற்கொண்ட ஆராய்ச்சியில் ஒரே நூற்றாண்டில் கிட்டத்தட்ட முப்பது தனிமங்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

ஒவ்வொரு தனிமத்திலும் ஒரே மாதிரி அணு இருக்குமா? அணு என்பதற்கு அழிவே கிடையாதா?

டெமாக்கரிட்டஸ் கூறியதுபோல் அணுக்களுக்கு அழிவே இல்லையென்றால், அவற்றின் கட்டமைப்பில் மட்டுமே மாற்றம் இருக்கமுடியும். அதாவது, ஒரு மரக்கட்டையை எரித்தால் அதிலிருந்த அணுக்கள் அழியாமல், சாம்பலாகவும் புகையாகவும் தம்முடைய அமைப்பை மாற்றிக்கொள்ளும். அப்படியென்றால் மொத்த எடையும் மாறி இருக்க வேண்டுமல்லவா?

லவாய்ஸியர் இதைத்தான் “பொருண்மை அழிவின்மை விதி”யின் மூலம் உலகுக்கு உரைத்தார்.

இது உண்மையென்றால் இன்னொரு சோதனையும் செய்து பார்க்கலாம். ஒரு வினை புரிவதற்கு முன்பும் பின்பும் பொருட்களின் மொத்த எடையைப் பார்த்துதான் “பொருண்மை அழிவின்மை விதி” கண்டறியப்பட்டுள்ளது. அதாவது, மரக்கட்டையின் எடையும், அதை எரித்த பின்பு கிடைத்த புகை மற்றும் சாம்பலின் எடையும் சமமாக இருந்தது.

அதற்கு பதிலாக, புகையின் எடையை தனியாக, சாம்பலின் எடையை தனியாக அளந்து பார்த்தால் என்ன?

பிரவுஸ்ட் என்பவர் இந்த சோதனையை நடத்தினார். (பிரவுஸ்ட் ஃபிரான்சு நாட்டு விஞ்ஞானி, ஆனால் 1789-ல் எழுந்த ஃபிரான்சு புரட்சி காரணமாக அவர் ஸ்பெயின் நாட்டிற்கு சென்று தன்னுடைய ஆராய்ச்சியைத் தொடர்ந்தார். லவாய்ஸியர் அப்படி செய்யாததால் ஆராய்ச்சியைத் தொடர முடியாமல் 1794ஆம் வருடம் புரட்சியில் இறந்தும் போனார்.)

பிரவுஸ்ட் செய்த சோதனையில் தாமிரம், ஆக்ஸிஜன் மற்றும் கார்பன் ஆகியவற்றை வேதிவினையின் மூலம்

ஒன்றிணைத்து காப்பர் கார்பனேட் என்னும் “சேர்மம்” கிடைக்கும் என்று கண்டறிந்தார் (ஒன்றுக்கும் மேற்பட்ட தனிமங்கள் ஒன்றிணைந்து கிடைப்பது சேர்மம் ஆகும்).

5 கிராம் தாமிரம், 4 கிராம் ஆக்ஸிஜன் மற்றும் 1 கிராம் காப்பன் ஆகியவற்றை வேதிவினைக்கு உட்படுத்தி 10 கிராம் காப்பர் கார்பனேட்டை பெற்றார் பிரவுஸ்ட். மொத்த எடை மாறக்கூடாது என்பதில் கவனமாக இருந்தார். $5 + 4 + 1 = 10$ என்னும் விகிதாச்சாரத்தில் வேறு எந்த மாற்றம் செய்தாலும் காப்பர் கார்பனேட் கிடைக்கவில்லை. அப்படியே காப்பர் கார்பனேட் கிடைத்தாலும் அவர் எடுத்துக்கொண்ட வினைபொருளில் மீதம் இருந்தது.

காப்பர் கார்பனேட் மட்டுமல்லாமல் எல்லா சேர்மத்திற்கும் இது பொருந்தும் என்றும் அவர் கண்டுபிடித்தார். இதுவே 1799-ல் பிரவுஸ்டால் உணர்த்தப்பட்ட “அறுதி விகித சம விதி” யாகும் (law of definite proportions).

லவாய்ஸியரும், பிரவுஸ்டும் அணு ஆராய்ச்சியாளர்கள் இல்லையென்ற போதிலும், அவர்களுடைய சோதனைகள் அணு இருப்பதற்கான சான்றாக அமைந்தது.

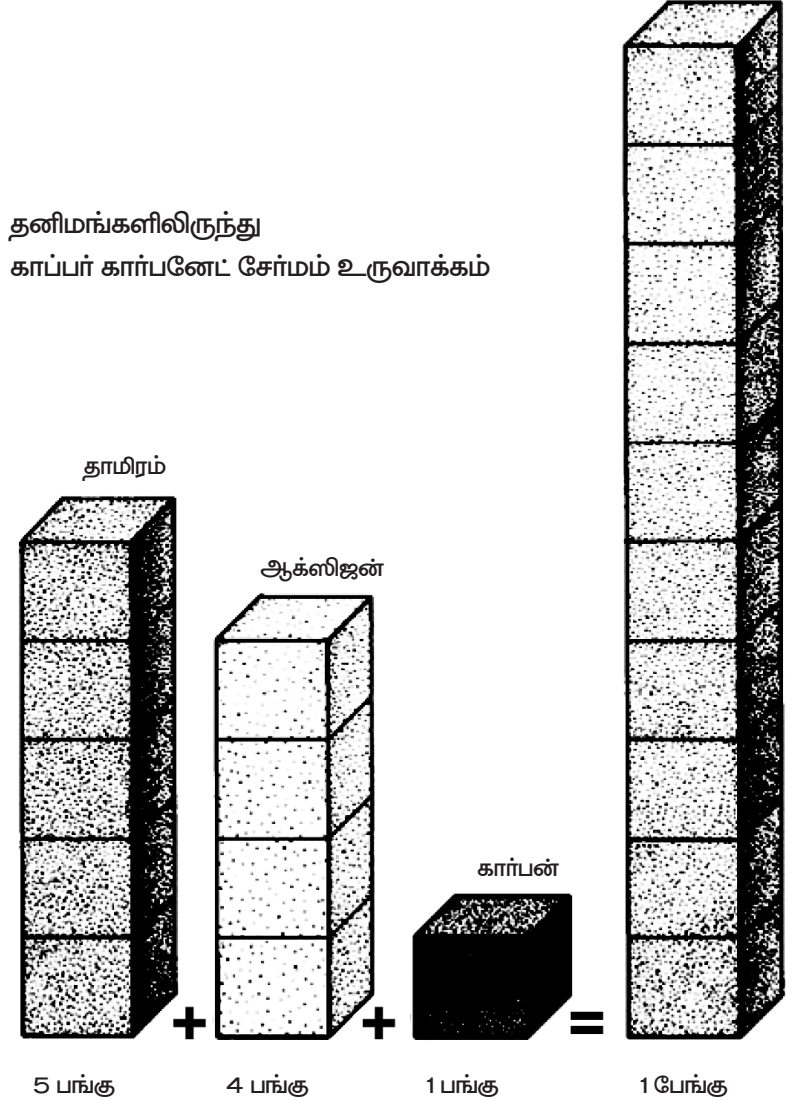
அணுக்களுக்கும், லவாய்ஸியர் மற்றும் பிரவுஸ்ட் கூறிய விதிகளுக்கும் உள்ள தொடர்பை உணர்ந்தவர் ஆங்கில வேதியியலாலரான ஜான் டால்டன். இதைப் பின்பற்றி டால்டனும் பல சோதனைகள் நடத்தினார்.

அவர் வாயுக்களின் மீது ஆர்வம்கொண்டு நடத்திய சோதனைகளின் மூலம் ஓர் உண்மை புலப்பட்டது. இரண்டு தனிமங்கள் வெவ்வேறு விகிதத்தில் வினை புரியும்போது வெவ்வேறு சேர்மம் கிடைத்தது.

அதாவது, 3 கிராம் காப்பன் 8 கிராம் ஆக்ஸிஜனுடன் இணையும்போது ஒரு சேர்மத்தையும், 4 கிராம்

காப்பர் கார்பனேட்

தனிமங்களிலிருந்து
காப்பர் கார்பனேட் சேர்மம் உருவாக்கம்



ஆக்ஸிஜனுடன் இணையும்போது மற்றொரு சேர்மத் தையும் தந்தது.

(3 கிராம் கார்பன் + 8 கிராம் ஆக்ஸிஜன் = 11 கிராம் கார்பன் டையாக்சைடு; 3 கிராம் கார்பன் + 4 கிராம் ஆக்ஸிஜன் = 7 கிராம் கார்பன் மோனாக்சைடு)

விகிதங்கள் வெவ்வேறாக இருந்தாலும் பாருங்கள், ஆக்ஸிஜனுடைய எடை இரண்டின் மடங்கில்தான் அதிகரித்துள்ளது. அப்படியென்றால், கார்பன் டையாக்சைடில் ஒரு கார்பன் அணு இரண்டு ஆக்ஸிஜன் அணுக்களுடனும், கார்பன் மோனாக்சைடில் ஒரு கார்பன் அணு ஒரு ஆக்ஸிஜன் அணுவுடனும் வினைபுரிந்திருக்கும் என்று அவர் நினைத்தார்.

இதேபோல, ஹைட்ரஜனும் கார்பனும் வெவ்வேறு விகிதத்தில் இணைந்து மீதேன், ஈத்தேன் போன்ற சேர்மங்களைத் தந்தன.

இதுவே 1803-ல் வெளிவந்த டால்டனின் “பன் விகித சம விதி” யாகும்.

இதைத்தொடர்ந்து 1808-ல் அணுக்களுக்கும், இந்த விதிகளுக்கும் உள்ள தொடர்புகளை முன்வைத்து ஒரு புத்தகம் எழுதினார். இதன்பின்பு “அணு” என்ற ஒன்றுள்ளது என்று எல்லோராலும் ஏற்றுக்கொள்ளப் பட்டது. அணு கோட்பாட்டிற்கான மொத்த பெருமையும் டால்டனையே சாரும்.

டெமாக்கரிட்டசும், எபிக்ரசும் “அணு” இருக்கிறது என்று கூறும்போது ஏற்றுக்கொள்ளாதவர்கள் இப்போது ஒப்புக்கொள்வதன் காரணம் டால்டனிடம் சான்றுகள் இருந்ததே.

3. அணுக்களின் எடை

எல்லா அணுக்களும் ஒரே வகை கிடையாதென்றால், அணுக்களிடையே வேறுபாட்டைக் கொண்டுவருவது எது? இதைப்பற்றி முதன்முதலில் சிந்தித்தவரும் ஜான் டால்டன்தான்.

இதுவரை நாம் பார்த்த சோதனைகளில் எல்லாம் பொருளின் எடையைத்தான் அளந்தனர். அதற்கு பதிலாக அணுவின் எடையை அளக்க முடியுமானால் அணுக்களைப் பற்றி நன்றாக அறிந்துகொள்ள முடியுமல்லவா?

ஆனால், அதற்கான நேரடி எடை அளக்கும் முறை எதுவும் அப்போதில்லை. அப்படியென்றால், ஒருவகை அணுவின் எடையை மற்றொரு வகை அணுவைப் பொருத்து சொல்லலாமல்லவா?

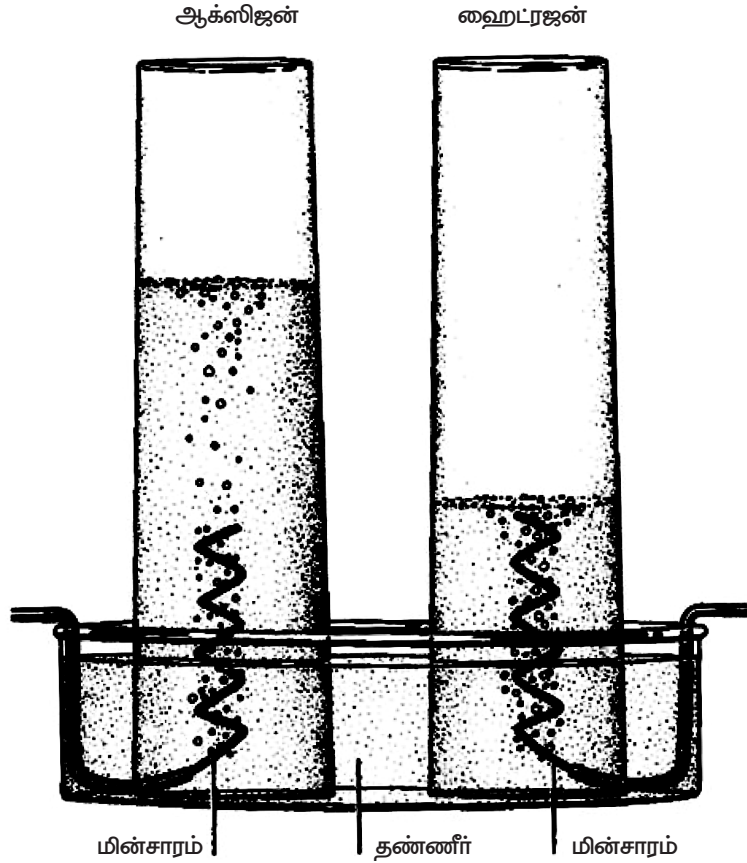
அதாவது, ஒரு கிராம் ஹைட்ரஜன் எட்டு கிராம் ஆக்ஸிஜனோடு இணைந்து தண்ணீரைத் தருகிறது. ஒரு ஹைட்ரஜன் அணு ஒரு ஆக்ஸிஜன் அணுவோடு சேர்ந்து தண்ணீரைத் தரும் என்று வைத்துக் கொண்டால், ஆக்ஸிஜன் அணு ஹைட்ரஜன் அணுவை விட எட்டு மடங்கு அதிக எடையைக் கொண்டிருக்கும்.

ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடையைப் பொருத்தே மற்ற அணுக்களின் எடையைக் கண்டுபிடிக்க முயன்றார் டால்டன். ஏனெனில், ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடை மற்ற அணுக்களின் எடையை விட மிக மிகக் குறைவாக இருந்தது.

ஆனால், டால்டனின் கணிப்பில் ஒரு பிழை இருக்கிறதுதானே. அதாவது, ஒரு ஹைட்ரஜன் அணு

ஒரு ஆக்ஸிஜன் அணுவுடன் இணைந்து தண்ணீரைத் தரும் என்று அவர் நினைத்தார். உண்மையில், இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஒரு ஆக்ஸிஜன் அணுவுடன் இணைந்துதானே தண்ணீரைத் தருகிறது!

1800-ஆம் ஆண்டு அலெக்சாண்ட்ரோ வால்டோ என்னும் இத்தாலிய விஞ்ஞானி முதன்முதலாக மின்கலங்களை



வடிவமைத்தார். மின்கலங்கள் உற்பத்தி செய்த மின்சாரம் ஒரு சில பொருள்களில் மட்டும்தான் பாய்ந்தது. அதற்கான காரணங்களை கண்டுபிடிப்பதற்கு விஞ்ஞானிகள் முயன்றனர்.

வில்லியம் நிக்கோலஸ் என்னும் ஆங்கிலேய விஞ்ஞானி மின்சாரத்தைத் தண்ணீரில் செலுத்தினார். தண்ணீர் ஹைட்ரஜனாகவும், ஆக்ஸிஜனாகவும் பிரிந்தது. அவற்றை குடுவைகளில் தனித்தனியாக சேமித்தார். அதன்மூலம் வெளிவந்த உண்மை டால்டனின் கணிப்பு தவறு என்று உணர்த்தியது. அதாவது, ஹைட்ரஜனின் கொள்ளளவு ஆக்ஸிஜனின் கொள்ளளவை விட இருமடங்கு அதிகமாய் இருந்தது.

இதையடுத்து, 1809-ஆம் ஆண்டு கே லூசாக் என்னும் ஃபிரஞ்சு விஞ்ஞானி வாயுக்கள் எப்போதும் முழு எண்களால் குறிப்பிடத் தகுந்த மாதிரியான குறிப்பிட்ட கொள்ளளவில் தான் ஒன்று சேர்ந்து வினைபுரியும் என்று கண்டறிந்தார். இதுவே “சேருங் கன அளவு விதியாகும் (Law of combining volumes).

ஒரே கொள்ளளவென்றால் அந்த வாயுக்களில் இருக்கும் துகள்களும் ஒரே அளவுதானே இருக்க முடியும்? அப்படியானால், இந்தத் துகள்கள் கண்டிப்பாக அணுவாகவோ இல்லை வெவ்வேறு அணுக்கள் சேர்ந்த மூலக்கூறாகவோ இருக்கவேண்டும். 1811-ஆம் ஆண்டு அவகாதுரோ கூறிய இந்த கருத்திற்கு “அவகாதுரோ கருதுகோள் (Avagadro's hypothesis)” என்று பெயர்.

அவகாதுரோவின் கருதுகோள் உண்மையென்றால், ஜான் டால்டன் கூறியது தவறாகும். அதாவது, தண்ணீரைப் பிரிக்கும்போது ஹைட்ரஜனின் கொள்ளளவு ஆக்ஸிஜனின்

கொள்ளளவைவிட இரண்டு மடங்காய் இருக்கிறது. அப்படியென்றால், இரண்டு மடங்கு அதிக ஹைட்ரஜன் துகள்கள் - அதாவது, ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஆக்ஸிஜன் அணுக்களை விட இரு மடங்கு அதிகமாக இருக்கும்.

இந்தக் கருத்தை வேதியியலாளர்கள் பலரும் ஏற்றுக்கொண்டனர். ஆனால், அதன்பின்பு அவகாதுரோவின் கருதுகோள் பெரிதும் ஆராயப்படாமல் கிடப்பில் போடப்பட்டது.

இன்னொரு மிகப்பெரிய பிரச்சினை வேதியியலாளர்களிடையே காணப்பட்டது - நிறைய தனிமங்கள், சேர்மங்கள், மூலக்கூறுகள் கண்டுபிடித்திருந்தனர். அவற்றை குறிப்பிடுவதில் மிகுந்த சிரமம் இருந்தது.

கொஞ்சம் நினைத்துப் பாருங்கள். தண்ணீரைக் குறிப்பிட வேண்டுமானால் 2 ஹைட்ரஜன் + 1 ஆக்ஸிஜன் என்று சொல்ல வேண்டும். எவ்வளவு அயர்ச்சியான வேலை இது!

ஜான் டால்ட்னே இதற்கொரு முடிவைத் தந்தார். ஒவ்வொரு அணுவிற்கும் ஒவ்வொரு குறியீடு தந்தார்.

1813-ல் ஸ்வீடன் நாட்டு விஞ்ஞானியான பெர்ஸீலியஸ் தந்த குறியீடுகள் இன்னும் எளிதாக இருந்தது. அதாவது, ஒவ்வொரு தனிமத்தையும் அதன் முதல் எழுத்தை வைத்து குறிப்பிடுவது. மூலக்கூறுகளையும், சேர்மங்களையும் கூட தனிமங்களின் குறியீடுகளை வைத்தே குறிப்பிடலாம்; கூடவே தனிமங்களின் விகிதாச்சாரத்தையும் சேர்த்து குறிப்பிட்டால் போதும்.

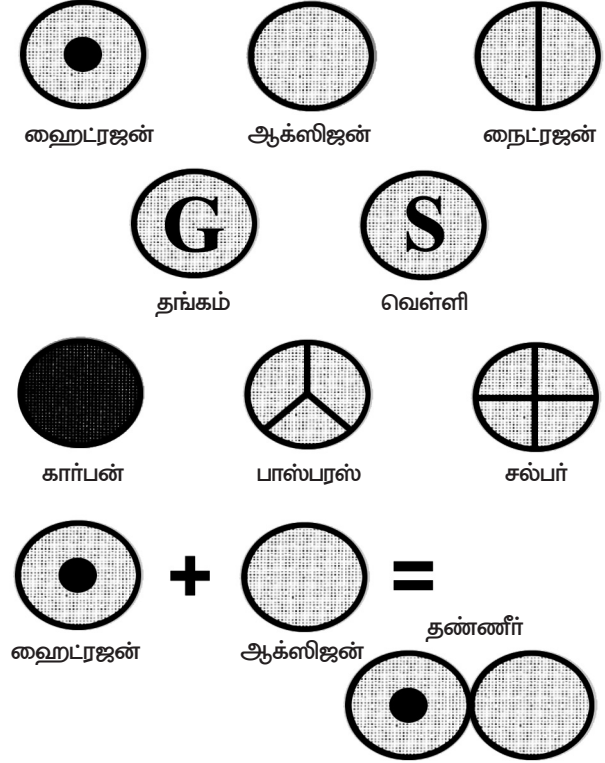
H - ஹைட்ரஜன் அணு

H₂ - ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறு

O - ஆக்ஸிஜன் அணு

H₂O - தண்ணீர்

CO - கார்பன் மோனாக்சைடு



தனிமங்களுக்கான டால்ட்னின் குறியீடுகள்

இந்தக் குறியீட்டு முறை மிக எளிதாக இருந்ததால், எல்லோரும் இதைப் பின்பற்றினர்.

பெர்ஸீலியஸ் குறியீடுகள் தந்தது மட்டுமல்லாமல் நிறைய சோதனைகள் செய்து வெவ்வேறு அணுக்களின் எடையையும் கண்டுபிடித்தார். அவற்றை ஓர் அட்டவணை போட்டும் விஞ்ஞான உலகிற்கு உதவினார். ஆனால், அவர் அவகாதுரோ கருதுகோளைப் பயன்படுத்தாததால் ஒரு சில அணுக்களின் எடையை சரியாகக் கணிக்கவில்லை.

1850-ஆம் ஆண்டின் இறுதியில் பல்வேறு குழப்பங்கள் நிலவின. பலரால் ஹைட்ரஜன் அணுவிற்கும், ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறிற்கும் உள்ள வேறுபாட்டை தெளிவாக புரிந்துகொள்ள முடியவில்லை. இவ்வளவு குழப்பங்கள் தருகிறதே! ஒருவேளை அணு கோட்பாடே உண்மையில்லாமலும் இருக்கலாம் என்று பலவாறான கருத்துக்கள் எழுந்தன.

ஜெர்மன் வேதியியலாலரான கெகுலே என்பவர் இதற்கொரு தீர்வு கண்டார். உலக விஞ்ஞானிகளை ஐரோப்பாவிற்கு அழைத்து, எல்லாருடைய கருத்துக்களையும் கேட்டு அதன் மூலம் உண்மையை அறிந்தால் என்ன என்று அவர் நினைத்தார்.

1860-ஆம் ஆண்டு “முதல் வேதியியல் அகில உலக மாநாடு” ஜெர்மனியில் நடந்தது. இதுவே முதன்முதலில் நடந்த அகில உலக விஞ்ஞானிகளின் மாநாடாகும்.

இத்தாலியைச் சேர்ந்த கன்னிசாரோ என்பவர் அவகாதுரோ கருதுகோளின் நுட்பங்களை நன்கறிந்தவர். அந்த மாநாட்டில் அவகாதுரோ கருதுகோளைப் பற்றி தெள்ளிய உரை ஒன்றை ஆற்றியதோடல்லாமல் அதைப் பற்றிய கட்டுரைகளை அச்சடித்து விஞ்ஞானிகளுக்கு விநியோகித்தார்.

இது நன்கு செயல் புரிந்தது. பலரும் அவகாதுரோ கருதுகோளைப் புரிந்துகொண்டு தங்கள் சோதனைகளில் பயன்படுத்தத் தொடங்கினர்.

பெல்ஜியத்தைச் சேர்ந்த ஜீன் ஸ்டாஸ் என்பவர் பெர்ஸீலியஸ் செய்த சோதனைகளை இன்னும் துல்லியத்துடன் செய்தார். அதன்மூலம், ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவின் எடை ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடையை விட 15.88 மடங்கு அதிகம் 16 மடங்கு அல்ல என்று கண்டுபிடித்தார்.

ஆக்ஸிஜன் அணுவானது ஹைட்ரஜன் அணுவை விட நிறைய தனிமங்களுடன் வேதிவினை புரிந்ததால் அவர், ஆக்ஸிஜன் அணுவின் எடையை பதினாறாகவே வைத்துக்கொண்டு ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடையை 1.008 என்று குறிப்பிட ஆரம்பித்தார். அணுக்களின் எடையைக் கண்டறிந்த ஸ்டாஸ், அதன்மூலம் உலகின் முதல் நவீன ஆவர்த்தன அட்டவணையையும் உருவாக்கினார்.

4. அணுக்களின் கட்டமைப்பு

அணுக்களின் எடையைக் கண்டுபிடிக்கும் பெரிய போராட்டம் நிறைவு பெற்றுவிட்டது. அத்தோடு எல்லா பிரச்சினைகளும் முடியவில்லை.

1824-ஆம் ஆண்டு வான் லீபெக் மற்றும் ஃபெடரிக் வோலர் ஆகிய இரு ஜெர்மன் விஞ்ஞானிகளும் வெவ்வேறு சேர்மங்களில் ஆய்வுபுரிந்து கொண்டிருந்தனர். ஆனால், இருவரின் சேர்மங்களிலும் ஒரே வகையான அணுக்கள், ஒரே விகிதத்தில் இணைந்திருந்தன.

அப்போதைய வேதியியலை வழி நடத்திய பெர்செலியஸிடம் இந்த விஷயம் கூறப்பட்டது. அவர் தன்னுடைய ஆய்வுக்கூடத்தில் மீண்டும் ஒருமுறை சோதனை செய்து பார்த்தார். அவருக்கும் அதே முடிவுதான் கிட்டியது.

பெர்செலியஸ் இவ்வகை சேர்மங்களுக்கு ‘சம விகுதி’ என்று பொருள்படும் “ஐசோமர்ஸ்” என்னும் பெயரைச் சூட்டினார்.

இதன்பின்பு தான் அணு கட்டமைப்பு முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாக மாறியது. பெரும்பாலும் கார்பன் அணுவைக் கொண்ட மூலக்கூறுகள் ஐசோமர்களாக இருந்தன. கரிமச் சேர்மங்களில் கார்பன் அணுக்களே பிரதானமாக இருந்ததால் அவை பெரும்பாலும் ஐசோமர்களாக இருந்தன. இந்த சேர்மங்கள் மனித உடலின் கிட்டத்தட்ட எல்லா செயல்பாடுகளிலும் பங்குபெற்று இருந்ததால் இவற்றைப் பற்றிய ஆய்வு முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாக அமைந்தது.

சிறிய சேர்மங்களில் அணு கட்டமைப்பைக் கண்டறிவது விஞ்ஞானிகளுக்கு சிரமத்தை அளிக்கவில்லை. ஆனால், கரிமச் சேர்மங்கள் பலவும் நூற்றுக்கும் மேற்பட்ட அணுக்களைக் கொண்டு கட்டமைக்கப்பட்டவை. அணுக்கள் மிக மிக சிறியவை என்பதால் ஒரு சேர்மத்தில் ஆயிரம் அணு இருந்தாலும் அதை கண்ணால் பார்க்க முடியாது. அப்படியென்றால், அணு கட்டமைப்பைக் கண்டறிய என்னதான் வழி?

எட்வார்ட் ஃபிரான்க்லாந்து (Edward Frankland) என்னும் ஆங்கிலேய வேதியியல் நிபுணரே இந்தப் பாதையில் முதல் காலடியை எடுத்து வைத்தார். கரிமச் சேர்மங்களில் குறிப்பிட்ட உலோக அணுக்களை சேர்த்துப் பார்த்ததில், ஒரு சேர்மத்தில் எப்போதும் ஒரே அளவான உலோக அணுக்கள் தான் அமையும் என்பதை அறிந்தார்.

இந்த ஆய்வின் முடிவில், அவர் “கூடுகை எண்” (valence number) என்னும் கருத்தை முன்வைத்தார். அதாவது, ஒருவகை அணு ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையிலேயே மற்ற அணுக்களுடன் இணையும்.

உதாரணமாக, ஹைட்ரஜன் கூடுகை எண் 1 என்பதால், அது ஒரே ஒரு அணுவுடன்தான் இணையமுடியும். ஆக்ஸிஜனின் கூடுகை எண் - 2. எனவே ஒரு ஆக்ஸிஜன் அணுவால் இரண்டு அணுக்களுடன் இணைய முடியும்.

1858-ல் ஸ்காட்லாந்து வேதியியலாளரான அர்ச்சிபால்ட் ஸ்காட் கூப்பர் அணு பிணைப்பு என்ற ஒரு கருத்தை முன்வைத்தார். அதாவது அணுக்களுக்கு இடையே “பிணைப்பு” இருப்பதால்தான் மூலக்கூறுகளையும், சேர்மங்களையும் நம்மால் காணமுடிகிறது என்றார்.

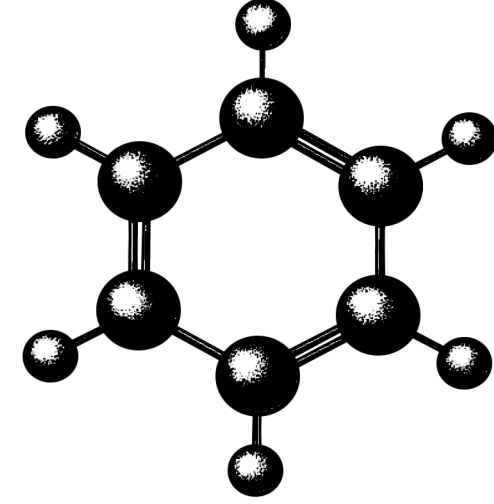
அணு பிணைப்பை முன்வைத்து எவ்வாறு மூலக்கூறு குறியீட்டை எழுதுவது என்றும் இவரே கூறினார். உதாரணத்திற்கு, ஹைட்ரஜன் அணுவிற்கு கூடுகை எண் - 1. அதை "H" - என்று குறிப்பிடலாம். இரண்டு அணுக்களை கொண்டிருப்பதால் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறை "H-H" என்று குறிப்பிடலாம்.

கார்பன் மோனாக்சைடில் ஒரு பிணைப்பு பயன்படுத்தப்படாமல் இருப்பதால், C=O என்று எழுதலாம். எனினும், கார்பன்மோனாக்சைடு எளிதில் ஆக்ஸிஜனை எடுத்துக்கொண்டு கார்பன் டைஆக்ஸைடாக மாறிவிடும்.

கரிமம்சாரா சேர்மங்களில் இந்த கொள்கையைப் பொருத்தினாலும், கரிம சேர்மங்களின் கட்டமைப்பைக் கண்டுபிடிப்பது மிகுந்த சிரமத்தை அளித்தது. "கெகுலே" தன்னால் இயன்ற அளவிற்கு நிறைய சேர்மங்களின் வடிவத்தை கண்டுபிடித்து அவற்றை 1858-ஆம் ஆண்டு வெளியிட்டார்.

தன்னுடைய கண்டுபிடிப்புகள் சரியான பாதையில்தான் செல்கிறதா என்றறிய, கெகுலேவிற்கு சேர்மங்களின் நிறை துல்லியமாகத் தேவைப்பட்டது. அகில உலக வேதியியல் மாநாட்டில் கன்னிசாரோ நிறை சம்மந்தப்பட்ட பிரச்சனையைத் தீர்த்ததும், கெகுலேவிற்கு தன்னுடைய வழி சரியான வழி என்று புலப்பட்டது.

கெகுலே தன்னுடைய "கூடுகை எண் கொள்கையை" வெளியிட்டதும், அணு கட்டமைப்பு ஆராய்ச்சி ஜோராக நடந்தது. ஆனாலும், எல்லா விஞ்ஞானிகளுக்கும் புரியாத புதிராக இருந்தது "பென்ஸீன் - C₆H₆" என்னும் மூலக்கூறு. ஆறு கார்பன் அணுக்களையும், ஆறு ஹைட்ரஜன்



பென்ஸீன் மூலக்கூறின் மாதிரி அணு கூட்டமைப்பு

அணுக்களையும் கெகுலே சொன்ன கருதுகோளின்படி யாராலும் இணைக்க முடியவில்லை.

எதேச்சையாக 1865-ஆம் ஆண்டு இந்த முடிச்சையும் கெகுலேவே அவிழ்த்தார். ஒருநாள் குதிரைகள் பூட்டப்பட்ட வண்டியில் பயணம் செய்துகொண்டு இருக்கும்போது அப்படியே தூங்கிப்போனார். கனவில், அவர் முன் கார்பன் அணுக்கள் சுழன்றுகொண்டிருந்தன. திடீரென்று கார்பன் அணுக்கள் ஒன்றன் வாலை மற்றொன்று பிடித்துக்கொண்டு வளையங்களாக வலம்வந்தன. கெகுலேவிற்கு விடை கிடைத்துவிட்டது.

1874-ஆம் ஆண்டு, டச் வேதியியலாலான வான்ட் ஹாஃப், 3Dயில் எப்படி அணு கட்டமைப்பைக் குறிப்பிடுவது என்பதை எடுத்துரைத்தார். கணிப்பொறி வந்தபின்பு இந்த வேலை இன்னும் முன்னேற்றம் அடைந்தது.

5. அணுக்கள் - நிதர்சனமான உண்மை

1800-களின் இறுதியில் கிட்டத்தட்ட அணுக்கொள்கை எல்லாப் போராட்டங்களையும் முடித்திருந்தது.

கெகுலேவின் கருதுகோளின்படி பல சேர்மங்களின் அணு கட்டமைப்பைக் கண்டறிந்திருந்த விஞ்ஞானிகள், செயற்கை சேர்மங்களையும் உருவாக்கினர். வாசனை திரவியங்கள், மருந்துகள், சாயங்கள் என்று இவ்வகை சேர்மங்கள் பெரிதும் கவனத்தை ஈர்த்தன.

என்னதான் அணு, சேர்மம் என்று ஆராய்ச்சி வளர்ந்துகொண்டே போனாலும், யாரும் அதுவரை அணுவை கண்ணால் பார்த்ததில்லை. 3D மாதிரிகளை உருவாக்குவதில் பெரும் சிரத்தை எடுத்துக்கொண்ட வான்ட் ஹாஃபின் நெருங்கிய நண்பரான ஆஸ்வால்ட் கூட அணு ஆராய்ச்சிக்கு முக்கியத்துவம் கொடுக்கக்கூடாது என்றார். அணுக்கொள்கையானது உலகின் கட்டமைப்பை புரிந்துகொள்வதில் உதவியதே தவிர அதை அதற்குமேல் கண்டுகொள்ளக்கூடாது என்றார்.

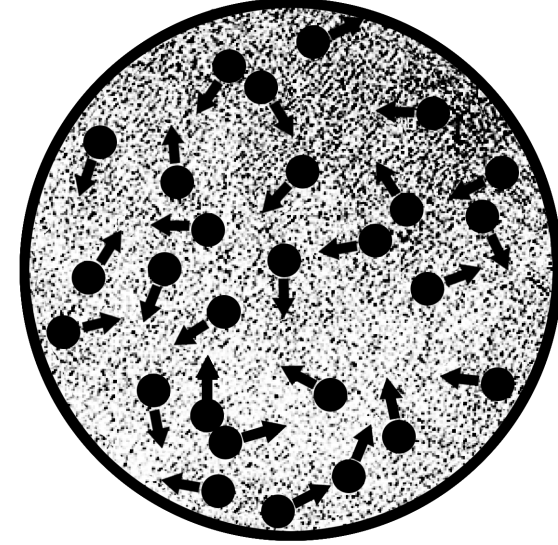
1827-ஆம் ஆண்டு ஸ்காட்லாந்தில் ராபர்ட் பிரவுன் என்னும் தாவரவியல் அறிஞர் நுண்ணோக்கியை வைத்து தண்ணீரில் உள்ள மகரந்த தூள்களை ஆராய்ந்துகொண்டு இருந்தார். மகரந்த தூள்கள் சீரற்ற முறையில் ஓடிக்கொண்டிருந்தன. இவை உயிருள்ளவை என்பதால் இப்படி நகர்ந்துகொண்டே இருக்கின்றன என்று பிரவுன் நினைத்தார்.

இத்தோடு நில்லாமல், சாயத் துகள்களிலும் இதே சோதனையை நடத்திப் பார்த்ததில், அவையும் நிற்காமல்

அணுவைப் பற்றி எப்படி அறிந்தாய்?

இயங்கிக் கொண்டே இருந்தன. ஆனால், உயிரற்ற இந்தப் பொருட்கள் இயங்குவதற்கான காரணத்தை அவரால் கண்டுபிடிக்க முடியவில்லை. இந்த இயக்கத்திற்கு பெயர் “பிரவுனியன் இயக்கம்”.

கிட்டத்தட்ட முப்பது ஆண்டுகள் கடந்த பின்னரும், இதற்கான காரணத்தை விஞ்ஞானிகளால் கணிக்க முடியவில்லை.



பிரவுனியன் இயக்கம்

1860-ன் வாக்கில், ஸ்காட்லாந்து கணித மேதையான ஜேம்ஸ் கிளார்க் மேக்ஸ்வெல் வாயுக்களின் இயல்பைப் பற்றி ஆராய்ச்சி மேற்கொண்டிருந்தார்.

அவரின் கருத்துப்படி, வாயுக்களில் உள்ள அணுக்கள் நிறுத்தாமல் இயங்கிக் கொண்டே இருக்கும். வெப்பநிலை அதிகரித்தால் இந்த இயக்கம் அதிகரிக்கும்.

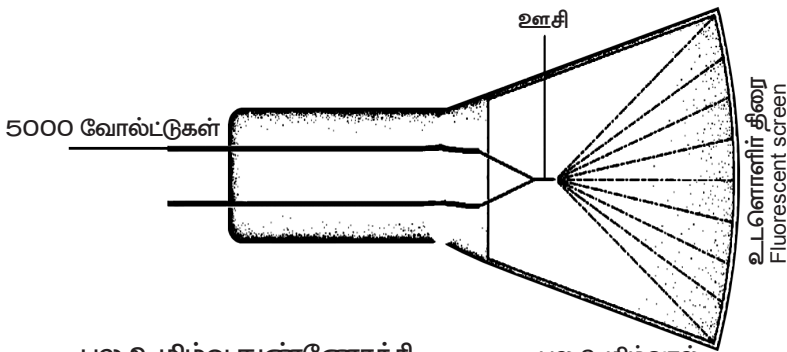
வாயுக்களில் மட்டுமல்லாமல் திரவங்களிலும் இதே நிலைதான். என்ன, வாயுக்களை விட இங்கு இயக்கம் குறைவாக இருக்கும் அவ்வளவுதான்.

இதனால், தண்ணீர் போன்ற திரவத்தில் கலந்திருக்கும் சிறு சிறு துகள்களும் இயக்கமடையும். அதாவது, மூலக்கூறுகளின் இயக்கம் எல்லா திசையிலிருந்தும் நடைபெற்றாலும் அவை சீராக இருக்காது. எனவே, துகள்கள் தொடர்ந்து நகர்ந்துகொண்டே இருக்கும்.

இதுவே பிரவுனியின் இயக்கத்திற்கான காரணம்.

ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன் பிரவுனியன் இயக்கத்தைக் கையில் எடுத்தார். துகள்களின் அளவைப் பொறுத்து அவற்றின் இயக்கம் மாறுபடும் என்று அவர் கூறினார். அதாவது, சிறிய துகள்கள் அதிக இயக்கமும், வேகமும் கொண்டிருக்கும் என்றும், பெரிய துகள்கள் அதற்கு முரணாக செயல்படும் என்றும் சொன்னார்.

துகள்களின் அளவு, திரவ மூலக்கூறுகளின் அளவு, குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் துகள்கள் பயணப்



புல உமிழ்வு நுண்ணோக்கி (Field emission microscope)

புல உமிழ்வால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட அணுக்களின் பிம்பம்

பட்டுள்ள தொலைவு மற்றும் இன்னும் சில முக்கிய காரணிகளை முன்வைத்து அவர் ஒரு சிக்கலான சமன்பாட்டை வருவித்தார். மூலக்கூறின் அளவைத் தவிர மற்ற எல்லா மதிப்புகளையும் தர முடிந்தால், மூலக்கூறின் அளவை கணக்கிடலாம்.

1908-ஆம் ஆண்டு, ஜீன் பேப்டைஸ் பெர்ரின் என்னும் ஃபிரான்சு நாட்டு விஞ்ஞானி இந்த ஆய்வை செய்ய முடிவெடுத்தார். தண்ணீரில் “ரம் ரெசின்” என்னும் சிறு சிறு துகள்களைப் போட்டார். புவியீர்ப்பு விசையானது துகள்களை கீழ்நோக்கி இழுக்கும்; பிரவுனியின் இயக்கமோ துகள்களை மேல்நோக்கி இழுக்கும்.

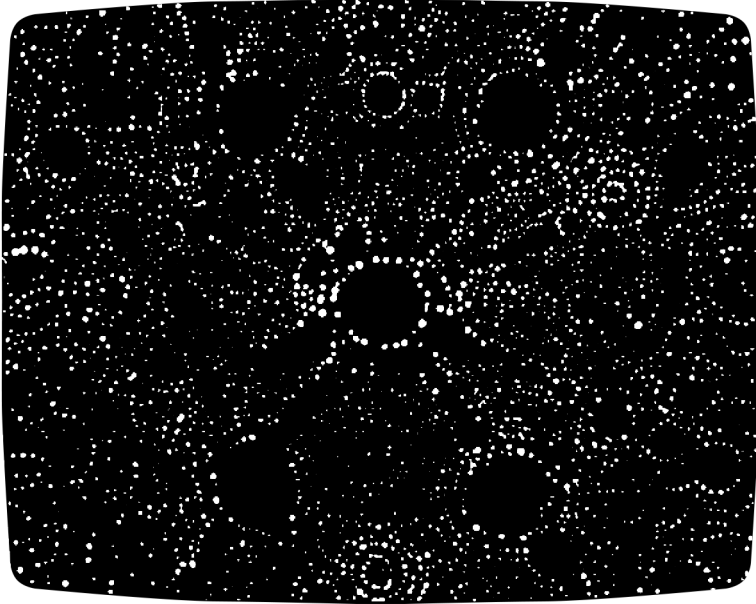
பெர்ரினால் இப்போது ஒவ்வொரு உயரத்திலும் உள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கையைக் கூற முடிந்தது. இதனால் ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாட்டில் உள்ள எல்லா காரணிகளுக்கும் மதிப்புக் கொடுத்து கணக்கிட முடிந்தது.

உலகிலேயே முதன்முதலாக, நீரின் மூலக்கூறின் உரு அளவைக் கணக்கிட முடிந்தது. ஒரு சென்டிமீட்டரில் 1/100,000,000 பங்கு எவ்வளவு வருமோ அந்த அளவுதான் மூலக்கூறின் அளவு இருக்கும் என்று கண்டறியப்பட்டது.

இப்போது அணுக்களே இருக்காது என்று கூறி வந்த ஆஸ்ட்வால்ட் பின்வாங்க வேண்டிய நிலை வந்தது. அணுக்களையும், மூலக்கூறுகளையும் நேரில் பார்க்க முடியாவிட்டாலும், பிரவுனியின் இயக்கம் அணுக்களின் இருப்பை உணர்த்தியது.

1936-ஆம் ஆண்டு, ஜெர்மன் விஞ்ஞானியான முல்லர் என்பவர், “புல உமிழ்வு நுண்ணோக்கியைக்” கண்டு பிடித்தார். காற்றில்லாத வெற்றிடத்தில், சூடாக்கப்பட்ட ஒரு மெல்லிய ஊசி முனையை பொருளின் மேல் நகர்த்த

வேண்டும். அப்போது அந்த ஊசி முனையில் இருந்து வெளிவரும் துகள்கள் பொருளின் கீழ் உள்ள ஒளி உமிழ்வு திரையில் படும்போது நமக்கு அணுக்களின் பிம்பம் கிடைக்கும். 1950-களில் முல்லர் இந்த நுண்ணோக்கியை மேலும் செம்மைப்படுத்தி, அணுக்களை எளிதில் படம் பிடித்தார்.



டங்ஸ்டன் படிகத்தில் உள்ள அணுக்கள் புல உமிழ்வு நுண்ணோக்கியின் திரையில் படம் பிடிக்கப்பட்டுள்ளது

இப்படியாக அணுக்களே இல்லையென்று நடத்தப்பட்ட போராட்டங்கள் முடிவுற்று, 1800-களுக்கு மேல் அணுக்கூறுகளும், அணுக்களின் உட்கருவும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இன்றைய விஞ்ஞானத்தின் இந்த வித்தைகளைப் பற்றி அறிய இன்னுமொரு கட்டுரை எழுத வேண்டும்.

சர்வதேச அணு நிறை							
தனிமங்கள்	குறியீடு	அணு எண்	அணு நிறை	தனிமங்கள்	குறியீடு	அணு எண்	அணு நிறை
Actinium	Ac	89	227.02779*	Neodymium	Nd	60	144.24
Aluminium	Al	13	26.98154	Neon	Ne	10	20.179
Americium	Am	95	243.06139*	Neptunium	Np	93	237.0482
Antimony	Sb	51	121.75	Nickel	Ni	28	58.71
Argon	Ar	18	39.948	Niobium	Nb	41	92.9064
Arsenic	As	33	74.9216	Nitrogen	N	7	14.0067
Astatine	At	85	209.98704*	Nobelium	No	102	255.093*
Barium	Ba	56	137.33	Osmium	Os	76	190.2
Berkelium	Bk	97	247.07032*	Oxygen	O	8	15.9994
Beryllium	Be	4	9.012118	Palladium	Pd	46	106.4
Bismuth	Bi	83	208.9808	Phosphorus	P	15	30.97376
Boron	B	5	10.81	Platinum	Pt	78	195.09
Bromine	Br	35	79.904	Plutonium	Pu	94	244.06424*
Cadmium	Cd	48	112.41	Polonium	Po	84	208.98244*
Calcium	Ca	20	40.08	Potassium	K	19	39.0983
Californium	Cf	98	251.07961*	Praseodymium	Pr	59	140.9077
Carbon	C	6	12.011	Promethium	Pm	61	144.91279*
Cerium	Ce	58	140.12	Protactinium	Pa	91	231.0359*
Cesium	Cs	55	132.9054	Radium	Ra	88	226.0254
Chlorine	Cl	17	35.453	Radon	Rn	86	222*
Chromium	Cr	24	51.996	Rhodium	Rh	75	186.2
Cobalt	Co	27	58.9332	Rhodium	Rh	45	102.9055
Copper	Cu	29	63.546	Rubidium	Rb	37	85.4678
Curium	Cm	96	247.07038*	Ruthenium	Ru	44	101.07
Dysprosium	Dy	66	162.50	Samarium	Sm	62	150.4
Einsteinium	Es	99	254.08805*	Scandium	Sc	21	44.9559
Erbium	Er	68	167.26	Seelenium	Se	34	78.96
Europium	Eu	63	151.96	Silicon	Si	14	28.0855
Fermium	Fm	100	257.09515*	Silver	Ag	47	107.868
Florine	F	9	18.998403	Sodium	Na	11	22.9898
Francium	Fr	87	223.01976*	Strontium	St	38	87.62
Gadolinium	Gd	64	157.25	Sulfer	S	16	32.06
Gallium	Ga	31	69.737	Tantalum	Ta	73	180.9479
Germanium	Ge	32	72.59	Technetium	Tc	43	96.9062*
Gold	Au	79	196.9665	Tellurium	Te	52	127.60
Hafnium	Hf	79	178.49	Terbium	Tb	65	158.9254
Helium	He	2	4.00260	Thallium	Tl	81	204.37
Holmium	Ho	67	164.9304	Thorium	Th	90	232.0381
Hydrogen	H	1	1.0079	Thullium	Tm	69	168.9342
Indium	In	49	114.82	Tin	Sn	50	118.69
Iodine	I	53	126.9045	Titanium	Ti	22	47.90
Iridium	Ir	77	192.22	Tungsten	W	74	183.85
Iron	Fe	26	55.847	Uranium	U	92	238.029
Krypton	Kr	36	83.80	Vanadium	V	23	50.9415
Lanthanum	La	57	138.9055	Xenon	Xe	54	131.30
Lawrencium	Lr	103	256.099*	Ytterbium	Yb	70	173.04
Lead	Pb	82	207.2	Yttrium	Y	39	88.9059
Lithium	Li	3	6.941	Zinc	Zn	30	65.38
Lutetium	Lu	71	174.967	Zirconium	Zr	40	91.22
Magnesium	Mg	12	24.305	Element 104+		104	257*
Manganese	Mn	25	54.9380	Element 105+		105	260*
Mendelevium	Md	101	258*	Element 106+		106	263*
Mercury	Hg	80	200.59	Element 107+		107	258*
Molybdenum	Mo	42	95.94				

* The mass of the isotope with the longest known half - life

+ Names for elements 104-107 have not yet been approved by the IUPAC. The USSR has proposed Kurchatovium (Ku) for element 104, and Bohrium (Bh) for element 105. The United States has proposed Rutherfordium (Rf) for element 104, and Hahnium (Ha) for element 105.