அலகு
9

அணு மற்றும் அணுக்கரு இயற்பியல் (ATOMIC AND NUCLEAR PHYSICS)

இயற்கை நிகழ்வுகள் அனைத்தும் சாத்தியமற்றது அல்லது அற்பமானது. புரிந்து கொள்ளும் வரை அவை சாத்தியமற்றது; புரிந்து கொண்ட பின் அற்பமானது.

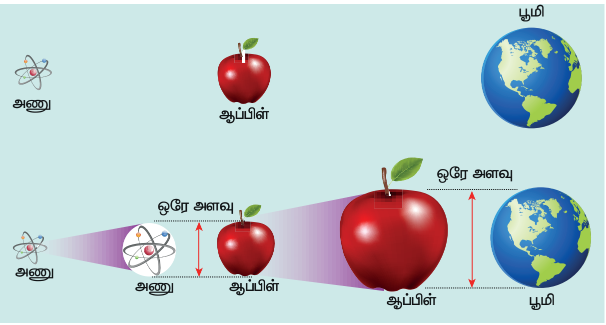
– எர்னஸ்ட் ரூதர்போர்டு

கற்றலின் நோக்கங்கள்

இந்த அலகில் மாணவர்கள் அறிந்து கொள்ள இருப்பது

- வாயுக்களின் வழியே மின்னிறக்கம்
- ஜே.ஜே. தாம்சன் ஆய்வின் மூலம் மின்னூட்ட எண்ணைக் கண்டறிதல்
- மில்லிகன் எண்ணெய்த்துளி ஆய்வின் மூலம் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட மதிப்பைக் கண்டறிதல்
- ஜே.ஜே. தாம்சன் மற்றும் ரூதர்போர்டு அணு மாதிரிகள்
- போர் அணு மாதிரியும் ஹைட்ரஜன் அணுவும்
- அணுவியல் நிறமாலையும் ஹைட்ரஜன் நிறமாலையும்
- அணுக்கருவின் அமைப்பு மற்றும் பண்புகள்
- அணு எண் மற்றும் நிறை எண்ணின் அடிப்படையில் அணுக்கருக்களின் வகைகள்
- நிறை குறைபாடு மற்றும் பிணைப்பாற்றல்
- பிணைப்பாற்றல் வரைபடத்திற்கும் நிலைத்தன்மைக்குமான தொடர்பு
- ஆல்பா, பீட்டா சிதைவுகள் மற்றும் காமா உமிழ்வு
- கதிரியக்கச் சிதைவு விதி
- அணுக்கரு பிளவு மற்றும் இணைவு
- அணுக்கரு உலைகளைப் பற்றிய அடிப்படைக் கருத்துகள்
- அடிப்படைத் துகள்களைப் பற்றிய பண்புசார் கருத்துகள்

9.1 அறிமுகம்



படம் 9.1 அணுவின் அளவுடன் ஆப்பிளின் அளவை ஒப்பிடுதல் மற்றும் ஆப்பிளின் அளவுடன் புவியின் அளவை ஒப்பிடுதல்

வெளியை (space) நிரப்புகின்ற எந்தப் பொருளும் பருப்பொருள் என அழைக்கப்படுவதை நாம் முந்தைய வகுப்புகளில் பார்த்தோம். பருப்பொருளானது திண்மம், திரவம் மற்றும் வளிமம் என மூன்று வகைப்படும். அருந்துவதற்கு நீர், வாகனங்களுக்கு பெட்ரோல், மூச்சுவிடுவதற்கு ஆக்சிஜன், சமையல் செய்வதற்கு கறைபடியாத எஃகு ஆகியவற்றை நம் அன்றாட வாழ்வில் பயன்படுத்துகிறோம். ஒரு பொருளைப் போன்று மற்றொன்று இருப்பதில்லை அதாவது, இயற்பியல் மற்றும் வேதிப் பண்புகள் பொருளுக்கு பொருள் வேறுபடுகின்றன. இவற்றைப் புரிந்துகொள்ள பொருள்களின் அடிப்படை உட்கூறுகளைப் பற்றி நாம் அறிந்து கொள்ள வேண்டும்.

பொருள் ஒன்று பிளக்கப்பட்டு அதனால் உருவாகும் பகுதிகள் மீண்டும் மீண்டும்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 141 04-03-2022 16:43:37

பிளக்கப்பட்டால், ஒரு கட்டத்தில் மேலும் பிளக்க இயலாத துளிமநிலையை அது அடையும். அத்தகைய சிறுதுரும்புப் பகுதி அணு எனப்படும்; கிரேக்க மொழியில் அணு (atom) என்றால் "பிளக்க இயலாதது" என்று பொருள். அணு ஒன்றின் அளவு மிக மிகச் சிறியதாகும். எடுத்துக்காட்டாக, (மிகவும் எளிமையான அணுவான) ஹைட்ரஜன் அணுவின் அளவு 10^{-10} m." அணுவை ஆப்பிளின் அளவிற்கு பெரிதாக்கினால், ஆப்பிளானது புவியின் அளவிற்கு பெரிதாகிவிடும்" என்று அமெரிக்க அறிவியல் அறிஞர் ரிச்சர்ட் பெயின்மேன் கூறியதை நினைவு கூறலாம் (படம் 9.1). அத்தனை சிறிய ஒன்று தான் அணு.

இந்த அலகில், அணுவின் கட்டமைப்பை அறிந்து கொள்ளும் பொருட்டு அணு மாதிரிகளைப் பற்றி முதலில் அறிந்து கொள்வோம். ஜே.ஜே. தாம்சன் மற்றும் ரூதர்போர்டு அணு மாதிரிகளை விட போர் அணு மாதிரி சிறப்பானது. அன்றைய காலகட்டத்தில் விளக்கமுடியா பல நிகழ்வுகளை விளக்கியதோடு வேதியியலைப் பற்றிய மேம்பட்ட புரிதலையும் அது அளித்தது.

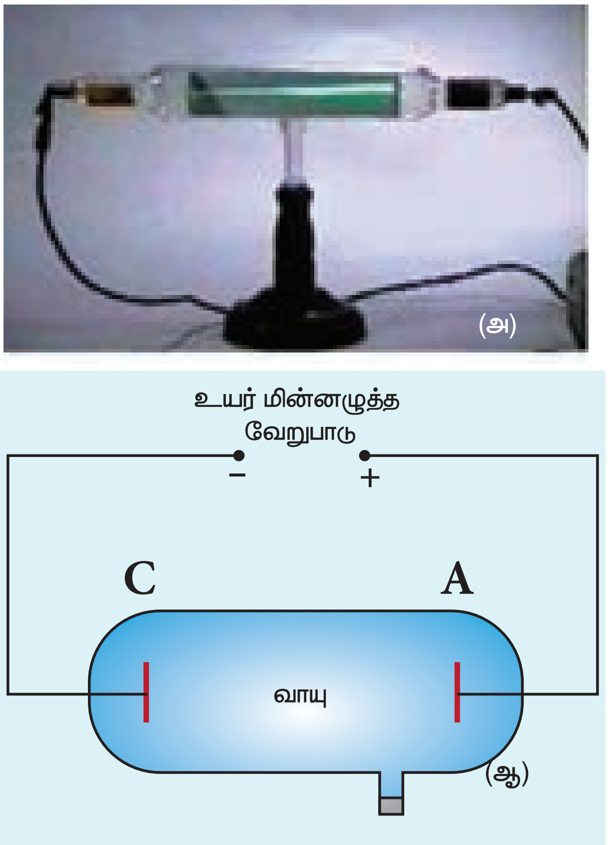
அணுவும் கூட அடிப்படை உட்பொருள் அல்ல என்பதை பின்னாளில் அறிவியல் அறிஞர்கள் கண்டறிந்தனர். அது எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் அணுக்கருவை உள்ளடக்கியது. அணுக்கருவும் புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்களை உள்ளடக்கியது. புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் கூட குவார்க்குகள் என்ற அடிப்படை உட்பொருள்களைக் கொண்டவை என்பதை மேலும் பல ஆய்வுகள் நிறுவின.

இந்தப் பின்புலத்தில், அணுக்கருவின் அமைப்பு மற்றும் அதன் அடிப்படைப் பண்புகள் பற்றி புரிந்து கொள்வதற்காக இந்த அலகின் பிற்பகுதி எழுதப்பட்டுள்ளது. மேலும் அணுக்கரு ஆற்றல் எவ்வாறு உருவாக்கப் படுகிறது மற்றும் பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதைப் பற்றியும் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

9.2 வாயுக்களின் வழியே மின்னிறக்கம்

வாயுக்களில் கடத்துப் பண்பைத் தரும் கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் இல்லாததால், சாதாரண வளிமண்டல அழுத்தத்தில் வாயுக்கள் மின்னோட்டத்தை அரிதாகவே கடத்துகின்றன. ஆனால், சில சிறப்பு ஏற்பாடுகளின் மூலம், ஒரு வாயுவை மின் கடத்து ஊடகமாக மாற்றலாம்.

வாயுக்களின் வழியே நிகழும் மின்னிறக்கத்தை ஆராய உதவும் எளிய கருவியே மின்னிறக்கக் குழாய் ஆகும். அதன் அமைப்பு படம் 9.2ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அது எவ்வித கலப்புமில்லாத தூய்மையான வாயுவை உள்ளடக்கிய (ஏறத்தாழ 50cm நீளமும் 4cm விட்டமும் கொண்ட) ஒரு நீளமான, மூடப்பட்ட கண்ணாடிக் குழாய் ஆகும். அதிலுள்ள ஒரு சிறு திறப்பில் உயர் வெற்றிடக்குழாயும் குறைஅழுத்தமானியும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. அதனுள் மின்வாய்கள் எனப்படும் இரு உலோகத் தகடுகள் பொருத்தப்பட்டு, அவை தூண்டு மின்சுருள் ஒன்றின் துணைச்சுற்றுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. துணைச்சுற்றின் நேர் மின்முனையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள தகடு நேர் மின்வாய் என்றும் எதிர்மின்முனையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள தகடு எதிர் மின்வாய் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. மேலும் துணைச்சுற்றின் மின்னழுத்தம் ஏறத்தாழ 50kV ஆகும்.



படம் 9.2 மின்னிறக்கக் குழாய் (அ) உண்மையான கருவி (ஆ) அதன் குறியீட்டுப் படம்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 142 04-03-2022 16:43:38

மின்னிறக்கக் குழாயிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் பாதரசத் தம்பத்தின் 110mm என்ற அளவிற்கு குறைக்கப்படும் வரையில் எவ்வித மின்னிறக்கமும் நிகழ்வதில்லை. அழுத்தம் பாதரசத்தின் 100mm என்ற அளவில் உள்ளபோது, மின்னிறக்கம் தொடங்குகிறது. இதன் விளைவாக, சீரற்ற ஒளிக்கீற்றுகளும் படபடவென்ற (பொரிப்பது போன்ற) ஒலியும் உருவாகின்றன. அழுத்தம் பாதரசத்தின் 10mm என்ற அளவிற்கு குறைக்கப்படும் போது, நேர் மின்வாய் (ஆனோடிலிருந்து) தொடங்கி எதிர் மின்வாய் (கேதோடு) வரை ஒளிர் தம்பம் ஒன்று உருவாகிறது. இதற்கு நேர்மின் தம்பம் என்று பெயர்.

அழுத்தமானது பாதரசத்தின் 0.01 mm ஆகக் குறைக்கப்படும் போது, நேர்மின் தம்பம் மறைகிறது. இந்நேரத்தில் ஆனோடிற்கும் கேதோடிற்கும் இடையில் ஒரு இருண்ட பகுதி உருவாகிறது. இது குரூக்கின் இருண்ட பகுதி எனப்படும். மேலும், இப்போது குழாயின் சுவர் பச்சை நிறத்தில் ஒளிர்கின்றது. இந்நிலையில், கேதோடு கதிர்கள் என்று அழைக்கப்படும் ஒரு வகை கண்ணிற்குப் புலனாகாத கதிர்கள் எதிர் மின்வாயிலிருந்து (கேதோடிலிருந்து) வெளியேறுகின்றன. இக்கற்றைகள் கேதோடு கதிர்கள் (cathode rays) என்றழைக்கப்பட்டன. பின்னர் இக்கேதோடு கதிர்கள் என்பது எலக்ட்ரான் கற்றை எனக் கண்டறியப்பட்டது.

கேதோடு கதிர்களின் பண்புகள் :

(1) கேதோடு கதிர்கள் ஆற்றல் மற்றும் உந்தத்தைப் பெற்றுள்ளன. 10^7 ms^{-1} என்ற அளவிலான அதிவேகத்துடன் நேர்க்கோட்டில் அவை செல்கின்றன. மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களால் அவை விலக்கம் அடைகின்றன. இவ்விலக்கத்தின் திசையை வைத்து அவை எதிர் மின்துகள்கள் என்பதை அறியலாம்.

(2) பொருள்களின் மீது கேதோடு கதிர்கள் வீழும் போது, வெப்பம் உருவாகின்றது. கேதோடு கதிர்கள் புகைப்படத் தகட்டை பாதிக்கின்றன. மேலும் சில படிகங்கள் மற்றும் கனிமப் பொருள்கள் மீது அவை படும்போது ஒளிர்தலை ஏற்படுத்துகின்றன.

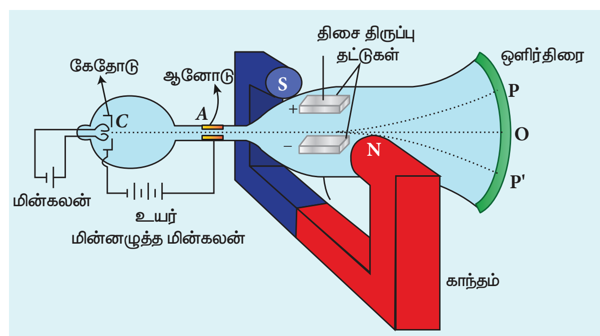
(3) அதிக அணு எடை கொண்ட பொருள்களின் மீது அவை விழும் போது, X–கதிர்கள் உருவாகின்றன.

(4) கேதோடு கதிர்கள் வாயுக்களின் வழியே செல்லும்போது அவ்வாயுக்களை அயனியாக்கம் செய்கின்றன.

(5) கேதோடு கதிர்கள் ஒளியின் வேகத்தில் $\left(\frac{1}{10}\right)$ மடங்கு வரையிலான வேகத்தில் இயங்குகின்றன.

9.2.1 எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட எண்ணைக் கண்டறிதல் – தாம்சன் ஆய்வு

நவீன இயற்பியல் தோன்றுவதற்கு காரணமாக இருந்த மிக முக்கியமான ஆய்வுகளில் ஒன்றாக தாம்சன் ஆய்வானது கருதப்படுகிறது. மின்னிறக்கக் குழாயினுள் உள்ள வாயுக்களைப்பற்றி அறிய உதவும் முறைகளில் குறிப்பிடத்தகுந்த மேம்பாடுகளை 1887 – ஆம் ஆண்டில் ஜே.ஜே. தாம்சன் செய்தார். மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களினால் கேதோடு கதிர்கள் விலக்கம் அடைவதையும், மின்புலம் மற்றும் காந்தப் புலத்தை மாற்றுவதன் மூலம் கேதோடு கதிர்களின் நிறை–இயல்புநிலை மின்னூட்டம் (mass normalized charge) அல்லது மின்னூட்ட எண் (அதாவது ஓரலகு நிறைக்கான மின்னூட்ட மதிப்பு $\left(\frac{e}{m}\right)$) அளக்கப்படுகிறது.



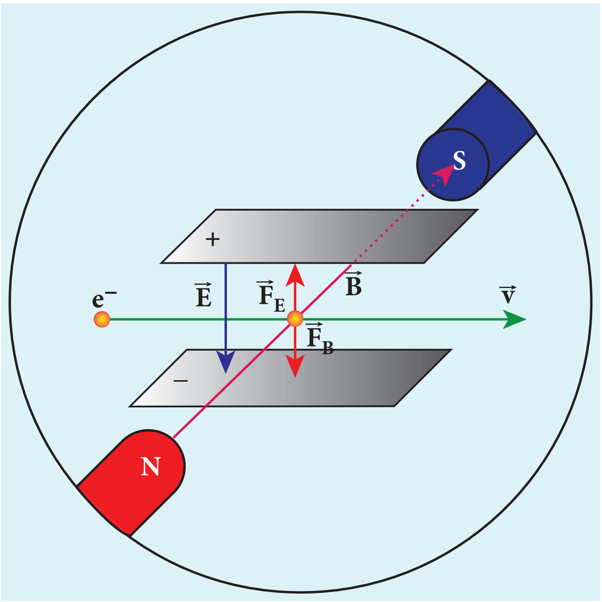
படம் 9.3 எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட எண்ணைக் கண்டறிவதற்கான ஜே.ஜே தாம்சன் ஆய்வின் அமைப்பு

இந்த ஆய்வின் அமைப்பு படம் 9.3ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் உயர் வெற்றிட மின்னிறக்கக் குழாய் பயன்படுத்தப்படுகிறது. கேதோடிலிருந்து வெளியேறும் கேதோடு கதிர்களானது ஆனோடு வட்டு A வை நோக்கி கவரப்படுகின்றன. ஆனோடு வட்டு ஊசித்துளையைப் போன்ற சிறு துளை மட்டுமே கொண்டிருப்பதால் குறுகிய கற்றையாக கேதோடு கதிர்கள் அனுப்பப்படுகின்றன. பிறகு அவை குறிப்பிட்ட மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் உள்ள இணையான உலோகத் தகடுகளுக்கு இடையே செலுத்தப்படுகின்றன. மேலும், படம் 9.3 இல் காட்டியுள்ளபடி, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான திசையிலுள்ள மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களுக்கு இடையில் மின்னிறக்கக் குழாய் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கேதோடு கதிர்கள் திரையில் பட்டவுடன்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 143 04-03-2022 16:43:38

ஒளிர்தலை ஏற்படுத்துவதால், ஒரு ஒளிர்வுப் புள்ளி தோன்றுகிறது. திரையில் துத்தநாக சல்பைடு (ZnS) பூச்சு அளிப்பதன் மூலம் இந்த ஒளிர்தல் ஏற்படுகிறது.

(i) கேதோடு கதிர்களின் திசைவேகத்தைக் கண்டறிதல்:



படம் 9.4 மின் விசை காந்த விசையை சமன் செய்வதால் எலக்ட்ரான் கற்றையின் பாதை நேர்க்கோட்டில் அமைகிறது.

தகடுகளுக்கிடையே ஒரு குறிப்பிட்ட மின்புலத்தை நிறுவியபின், காந்தப் புலத்தை சரி செய்வதன் மூலம் கேதோடு கதிர்களை (எலக்ட்ரான் கற்றை) முதலில் இருந்த O புள்ளியை (படம் 9.3) வந்தடையுமாறு வந்தடையுமாறு செய்யப்படுகிறது. படம் 9.4இல் கொடுத்துள்ளவாறு, மின் விசையின் அளவினை காந்த விசையின் அளவு சமன் செய்கிறது. கேதோடு கதிர்களின் மின்னூட்டம் e மற்றும் திசைவேகம் υ எனில்,

$$eE = eB\upsilon$$

$$\Rightarrow \upsilon = \frac{E}{B} \qquad (9.1)$$

(ii) மின்னூட்ட எண்ணைக் கண்டறிதல் :

கேதோடிலிருந்து ஆனோடிற்கு கேதோடு கதிர்கள் (எலக்ட்ரான் கற்றை) முடுக்கப்படுவதால், கேதோடில் எலக்ட்ரான் கற்றை பெறும் மின்னழுத்த ஆற்றலானது அது ஆனோடை அடையும் போது பெற்றுள்ள இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமாகும். ஆனோடிற்கும் கேதோடிற்கும் இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு V எனில், எலக்ட்ரானின் மின்னழுத்த ஆற்றல் eV. எனவே, ஆற்றல் மாறா தத்துவத்தின் படி

$$eV = \frac{1}{2}m\upsilon^2 \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{\upsilon^2}{2V}$$

சமன்பாடு (9.1)ல் உள்ள திசைவேகத்தின் மதிப்பை மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் பிரதியிட, நமக்குக் கிடைப்பது

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2V}\frac{E^2}{B^2} \qquad (9.2)$$

E, B மற்றும் V, மதிப்புகளைப் பிரதியிட, மின்னூட்ட எண்ணின் மதிப்பு

$\frac{e}{m} = 1.7\times10^{11}\,\mathrm{C\,kg^{-1}}$ எனக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது

(iii) சீரான மின்புலத்தினால் மட்டும் மின் துகளின் பாதையில் உருவாகும் விலக்கம் :

காந்தப்புலத்தை நிறுத்திய பிறகு, மின்புலத்தால் மட்டுமே விலக்கம் ஏற்படுகிறது. இந்த விலக்கம் மின் விசைக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

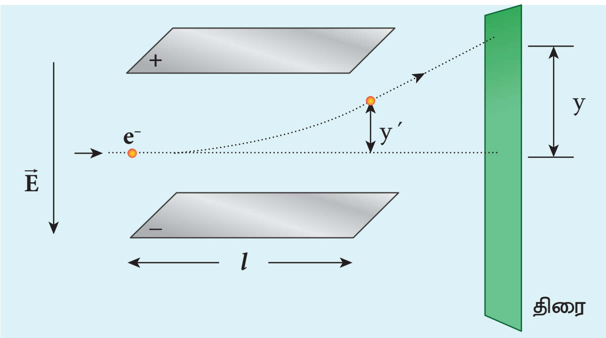
$$F_e = eE \qquad (9.3)$$

m என்பது எலக்ட்ரானின் நிறை எனில், நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதிப்படி, எலக்ட்ரானின் முடுக்கம்

$$a_e = \frac{1}{m}F_e \qquad (9.4)$$

சமன்பாடு (9.3) ஐ சமன்பாடு (9.4) ல் பிரதியிட

$$a_e = \frac{1}{m}eE = \frac{e}{m}E$$



படம் 9.5 சீரான மின்புலத்தை நிறுவுவதால் எலக்ட்ரானின் பாதையில் ஏற்படும் விலக்கம்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 144 04-03-2022 16:43:41

திரையில் எலக்ட்ரான் கற்றை முதலில் வீழ்ந்த நிலையில் இருந்து, தற்போது அது அடைந்துள்ள விலக்கம் y என்க. (படம் 9.5) மேலும் இக்கேதோடு கதிர்கள் இணையாகவுள்ள மின்புலத் தகடுகளை அடையும் முன்னர் அதன் மேல்நோக்கிய தொடக்க திசைவேகம் $u = 0$ ஆகும். இம்மின்புலத்தகடுகளின் நீளம் l எனில், மின்புலத்தை கடக்க கேதோடு கதிர்கள் எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் t ஆனது,

$$t = \frac{l}{\upsilon} \qquad (9.5)$$

எனவே, தகடுகளின் முடிவில் கேதோடு கதிர்கள் அடையும் விலக்கம் (குறிப்பு: $u = 0$ மற்றும் $a_e = \frac{e}{m}E$)

$$y' = ut + \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow y' = ut + \frac{1}{2}a_e t^2$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{e}{m}E\right)\left(\frac{l}{\upsilon}\right)^2$$

$$y' = \frac{1}{2}\frac{e}{m}\frac{l^2B^2}{E} \qquad (9.6)$$

எனவே திரையில் ஏற்படும் விலக்கம்

$$y \propto y' \Rightarrow y = Cy'$$

இங்கு C என்பது தகவு மாறிலி. இதன் மதிப்பு மின்னிறக்கக் குழாயின் வடிவமைப்பைப் பொருத்து அமையும்.

$$y = C\frac{1}{2}\frac{e}{m}\frac{l^2B^2}{E} \qquad (9.7)$$

சமன்பாடு (9.7) ஐ மாற்றியமைக்க

$$\frac{e}{m} = \frac{2yE}{Cl^2B^2} \qquad (9.8)$$

இச்சமன்பாட்டின் வலது பக்கம் மதிப்புகளைப் பிரதியிட, மின்னூட்ட எண்ணின் மதிப்பு

$$\frac{e}{m} = 1.7 \times 10^{11}\,\mathrm{C\,kg^{-1}}$$

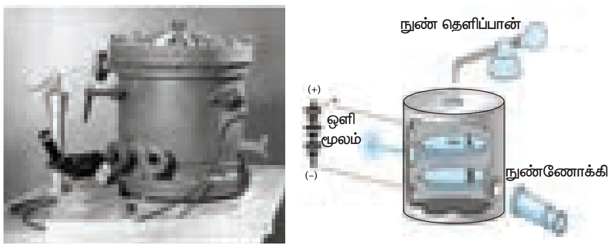
குறிப்பு

மின்னூட்ட எண்ணானது.
அ. பயன்படுத்தப்படும் வாயு
ஆ. மின்வாய்களின் இயல்பு
ஆகியவற்றைச் சார்ந்திராது

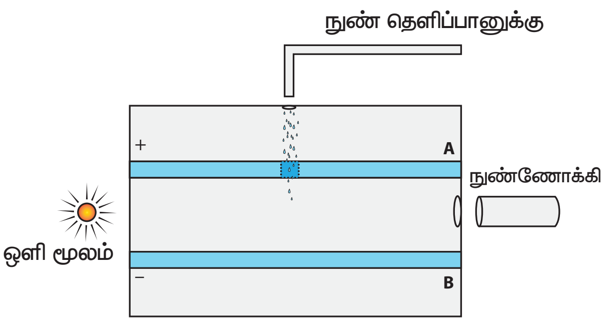
9.2.2 எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட மதிப்பு காணல் – மில்லிகனின் எண்ணெய்த்துளி ஆய்வு

இயற்கையின் மிக முக்கிய அடிப்படை மாறிலிகளுள் ஒன்றான எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட மதிப்பைக் காண உதவும் மில்லிகனின் எண்ணெய்த்துளி ஆய்வு, நவீன இயற்பியலில் உள்ள சிறந்த செயல்முறை ஆய்வுகளில் ஒன்றாகும். (காண்க. படம் 9.6(அ)).

மின்புலத்தைத் தகுந்த முறையில் மாற்றுவதன் மூலம் எண்ணெய்த் துளியின் இயக்கத்தைக் கட்டுப்படுத்தலாம், அதாவது, அதைமேல் நோக்கியோ அல்லது கீழ்நோக்கியோ நகரச் செய்யலாம் அல்லது புலத்திலேயே நிலையாக இருத்தி அதிக நேரம் அதைப் பார்க்கும் வண்ணமும் செய்யலாம்.



(அ)



(ஆ)

படம் 9.6 மில்லிகனின் ஆய்வு
(அ) உண்மையான கருவி மற்றும் குறியீட்டுப் படம் (ஆ) பக்கவாட்டுப் படம்

இந்த ஆய்வின் செய்முறை அமைப்பு படம் 9.6 (ஆ)ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் ஒவ்வொன்றும் 20cm விட்டம் கொண்ட கிடைத்தள, வட்டவடிவ உலோகத்தட்டுகள், 1.5 cm இடைவெளியில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ளன. இவ்விரு வட்டவடிவ உலோகத்தட்டுகளும் கண்ணாடி சுவர்கள் கொண்ட கலனால் சூழப்பட்டுள்ளன. மேலும்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 145 04-03-2022 16:43:44

இத்தட்டுகளுக்கிடையில் உயர் மின்னழுத்த வேறுபாடு (கிட்டத்தட்ட 10 kV) அளிக்கப்படுவதால், செங்குத்தாக, கீழ்நோக்கிய திசையில் மின்புலம் ஏற்படுகிறது. மேல் தட்டு A ல் ஒரு சிறிய துளை இடப்பட்டுள்ளது. எண்ணெயைத் தெளிப்பதற்காக, சரியாக அத்துளைக்கு மேற்புரம் நுண்தெளிப்பான் (atomizer) ஒன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. நுண்தெளிப்பான் உதவியுடன் கிளிசரின் (glycerine) போன்ற அதிக பாகுநிலை கொண்ட எளிதில் ஆவியாகாத திரவம் தெளிக்கப்படும்போது, சிறுதுளிகள் (droplets) உருவாகின்றன. ஈர்ப்பு விசையினால் அவைமேல் தட்டிலுள்ள துளையின் வழியே கீழே விழுகின்றன.

காற்றுடன் ஏற்படும் உராய்வு அல்லது x–கதிர்களைக் காற்றினூடே செலுத்துவதால் கலனிலுள்ள சில எண்ணெய்த் துளிகள் மின்னூட்டத்தைப் பெறுகின்றன. மேலும் கிடைமட்டத் திசையில் கலன் ஒளியூட்டப்படுவதால், ஒளிக்கற்றைக்கு செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ள நுண்ணோக்கியின் மூலம் துளிகளைத் தெளிவாகக் காண முடியும். மின்புலத்தைத் தகுந்த முறையில் மாற்றுவதன் மூலம் எண்ணெய்த் துளியின் இயக்கத்தைக் கட்டுப்படுத்தலாம் அதாவது, அதை மேல்நோக்கி அல்லது கீழ்நோக்கி நகரச் செய்யலாம். அல்லது அந்தரத்திலேயே நிலையாக நிறுத்தலாம்.

எண்ணெய்த் துளியின் நிறை m எனவும், அதன் மின்னூட்டம் q எனவும் கொள்க. எனவே, துளியின் மீது செயல்படும் விசைகள்

அ) புவிஈர்ப்பு விசை $F_g = mg$

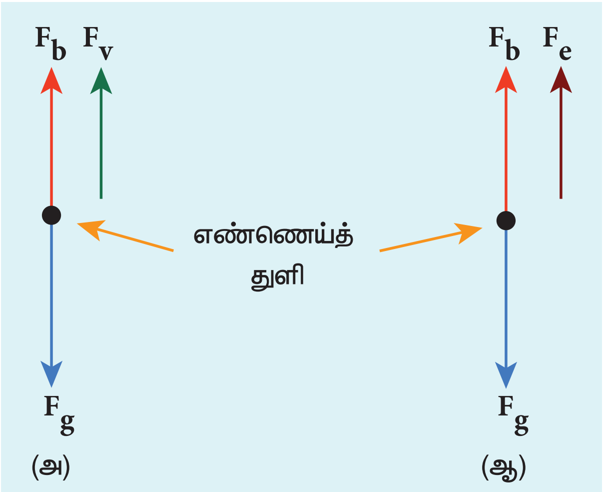
ஆ) மின் விசை $F_e = qE$

இ) மிதப்பு விசை (buoyant force) F_b மற்றும்

ஈ) பாகியல் விசை F_v

(அ) எண்ணெய்த்துளியின் ஆரம் காணல்

மின்புலம் இல்லாத நிலையில், எண்ணெய்த் துளி கீழ்நோக்கி முடுக்கம் அடைகிறது. காற்றினால் ஏற்படும் பின்னிழு (பாகியல்) விசையினால் எண்ணெய்த் துளி எளிதில் சீரான திசைவேகத்தை அடைகிறது. இது முற்றுத்திசை வேகம் எனப்படும். குறிப்பிட்ட தொலைவைக் கடக்க எண்ணெய்த் துளி எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தில் இருந்து, அதன் திசைவேகத்தை அளவிடலாம். படம் 9.7(அ) இல் எண்ணெய்த் துளியின் தனித்த பொருள் விசைப்படம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இந்நிலையில்,



படம் 9.7 எண்ணெய்த் துளியின் தனித்த பொருள் விசைப்படம் (அ) மின்புலம் அற்ற நிலையில் (ஆ) மின்புலம் உள்ளபோது

பாகியல் மற்றும் மிதப்பு விசைகள் ஈர்ப்பு விசையை சமன்செய்கின்றன.

எண்ணெய்த் துளியின் மீது செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை $F_g = mg$

எண்ணெய்த் துளி கோள வடிவம் கொண்டது எனக் கொள்வோம். எண்ணெய்த் துளியின் அடர்த்தி ρ மற்றும் அதன் ஆரம் r எனில், $\rho = \frac{m}{V}$. எனவே,

அதன் நிறையானது,

$$\Rightarrow m = \rho\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) \qquad \left(\because \text{கோளத்தின் பருமன் } V = \frac{4}{3}\pi r^3\right)$$

இதன் மூலம், புவியீர்ப்பு விசையை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$F_g = mg \Rightarrow F_g = \rho\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)g$$

காற்றின் அடர்த்தி σ எனில், எண்ணெய்த் துளியினால் இடம் பெயர்ந்த காற்றினால் அதன் மீது செயல்படும் மேல்நோக்கிய விசை (மிதப்பு விசை)

$$F_b = \sigma\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)g$$

எண்ணெய்த் துளி முற்றுத்திசை வேகத்தை அடையும் போது, அதன்மீது செயல்படும் பாகியல் விசையானது (எண்ணெய்த்துளி செல்லும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் செயல்படும் விசை),

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 146 04-03-2022 16:43:46

கீழ்நோக்கிய நிகர விசைக்கு சமமாக இருக்கிறது. எனவே ஸ்டோக்ஸ் விதிப்படி, பாகியல் விசை

$$F_v = 6\pi r \upsilon \eta$$

எனவே படம் 9.7 (அ)ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள தனித்த பொருள் விசைப்படத்தின் படி, விசைகளின் சமநிலைக்கான சமன்பாடு,

$$F_g = F_b + F_\upsilon$$

$$\rho\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)g = \sigma\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)g + 6\pi r \upsilon \eta$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \sigma)g = 6\pi r \upsilon \eta$$

$$\frac{2}{3}\pi r^3(\rho - \sigma)g = 3\pi r \upsilon \eta$$

$$r = \left[\frac{9\eta\upsilon}{2(\rho - \sigma)g}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (9.9)$$

சமன்பாடு (9.9)ன் மூலம் எண்ணெய்த் துளியின் ஆரத்தைக் கணக்கிடலாம்.

(ஆ) மின்னூட்ட மதிப்பைக் காணல் :

எண்ணெய்த்துளிகளை சுற்றி மின் புலத்தை ஏற்படுத்தும்போது, அதன் மீது ஒரு மேல்நோக்கிய மின் விசை (qE) செயல்படுகின்றது. எண்ணெய்த்துளிகளுள் ஏதேனும் ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணெய்த்துளி ஒன்று நுண்ணோக்கியின் பார்வைப் புலத்தில் இருத்தப்படுகிறது. மின்புலத்தின் வலிமையை சரிசெய்து, அத்துளியை நிலையாக (மேலேயும் போகாமல், கீழேயும் விழாமல்)நிறுத்தி வைக்கவும் முடியும். இந்நிலையில், அத்துளியின் மீது செயல்படும் பாகியல் விசை எதுவும் செயல்படாது. இந்நிலையில் தனித்த பொருள் விசைப்படம் படம் 9.7(ஆ)ன் படி, எண்ணெய்த் துளியின் மீது செயல்படும் நிகர விசை

$$F_e + F_b = F_g$$

$$\Rightarrow qE + \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

$$\Rightarrow qE = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \sigma)g \quad (9.10)$$

$$\Rightarrow q = \frac{4}{3E}\pi r^3(\rho - \sigma)g \quad (9.11)$$

சமன்பாடு (9.9)ஐ சமன்பாடு (9.11)ல் பிரதியிட,

$$q = \frac{18\pi}{E}\left(\frac{\eta^3\upsilon^3}{2(\rho - \sigma)g}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (9.12)$$

இந்த ஆய்வை பல முறை செய்து, எண்ணெய்த் துளிகளின் மின்னூட்ட மதிப்பைக் கணக்கிட்ட மில்லிகன், எந்தவொரு எண்ணெய்த் துளியின் மின்னூட்ட மதிப்பும் $e = -1.6 \times 10^{-19}$ C, என்ற அடிப்படை மதிப்பின் முழு மடங்குகளாக இருப்பதை கண்டறிந்தார். இந்த அடிப்படை மதிப்பே ($e = -1.6 \times 10^{-19}$ C,) எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட மதிப்பு ஆகும்.

9.3 அணு மாதிரிகள்

ஏறக்குறைய கி.மு. (பொ.ஆ.மு) 400ஐ ஒட்டிய காலத்தில், லியூசிபஸ் மற்றும் டெமொகரிட்டஸ் ஆகிய கிரேக்க தத்துவஅறிஞர்கள் "எந்த ஒரு பொருளும் மீண்டும் மீண்டும் பகுக்கப்படும் போது இறுதியில் கிடைப்பது அணுவே" என்று கூறினர். பின்னர் பல இயற்பியலாளர்களும் வேதியியலாளர்களும் அணுவின் இயல்பைப் பற்றி அறிந்துகொள்ள முயன்றனர். அணு மாதிரியின் அடிப்படையில் பொருள்களின் (இயற்பியல் மற்றும் வேதியல்) பண்புகளை விளக்கப் பல கோட்பாடுகள் கூறப்பட்டன.

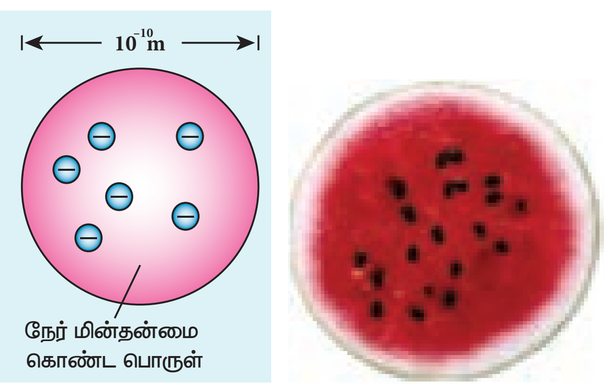
எடுத்துக்காட்டாக, ஒய்வுநிலையில் உள்ள மின் துகள்களின் பரவலை அடிப்படையாகக் கொண்டு கருத்தியல் ரீதியான ஒரு அணு மாதிரியை ஜே. ஜே. தாம்சன் முன்மொழிந்தார். அணுவின் நிலைத்தன்மையை ஜே. ஜே. தாம்சனின் அணு மாதிரி விளக்க இயலாததால், அவரது (ஆராய்ச்சி) மாணவரான ரூதர்போர்டு அணு குறித்தான முதல் இயக்க மாதிரியை முன்மொழிந்தார். அவரது மாணவர்கள் (கெய்கர் மற்றும் மாசுடென்) செய்த செய்முறை ஆய்வின் அடிப்படையில் ரூதர்போர்டு அவர்தம் மாதிரியை அமைத்திருந்தார். ஆனால், இம்மாதிரியும் அணுவின் நிலைத்தன்மையை விளக்கவில்லை.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 147 04-03-2022 16:43:50

பின்னர் ரூதர்போர்டின் மற்றொரு மாணவரான நீல்ஸ்போர் வெளியிட்ட ஹைட்ரஜன் அணுவிற்கான மாதிரி மற்ற இரு அணு மாதிரிகளை விட வெற்றிகரமாக அமைந்தது. நீல்ஸ் போரின் அணு மாதிரி அணுவின் நிலைத்தன்மையை விளக்கியதோடு மட்டுமல்லாமல் வரி நிறமாலையின் தோற்றத்தினையும் விளக்கியது. இவைதவிர, பிற அணு மாதிரிகளான சாமர்பெல்டு அணு மாதிரி மற்றும் அலை இயக்கவியல் (குவாண்டம் இயக்கவியல்) அணு மாதிரி உள்ளிட்ட அணு மாதிரிகள் இருப்பினும் இந்தப் பகுதியில் (கணிதமுறையில் எளிமையான) அணு மாதிரிகளையே நாம் பார்ப்போம்.

9.3.1 ஜே.ஜே. தாம்சன் மாதிரி (தர்ப்பூசணிப்பழ மாதிரி)

தாம்சன் மாதிரியில் சீரான பரவல் கொண்ட, நேர் மின்துகள்களை உள்ளடக்கிய, ஒருபடித்தான (homogenous) கோளங்களாக அணுக்கள் கருதப்படுகின்றன. ஒரு தர்ப்பூசணிப் பழத்தில் பதிந்துள்ள விதைகளைப் போல (இந்தக் கோளத்தில்) எலக்ட்ரான்கள் எனப்படும் எதிர் மின்துகள் பதிந்துள்ளன. (படம் 9.8 அ மற்றும் ஆ)



படம் 9.8 (அ) அணு (ஆ) தர்ப்பூசணிப் பழம்

அணுக்கள் மின் நடுநிலைத் தன்மை கொண்டவை ஆதலால், ஓர் அணுவிலுள்ள மொத்த நேர் மின்னூட்டமானது மொத்த எதிர் மின்னூட்டத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். இந்த மாதிரியின் படி, அனைத்து மின்துகள்களும் நிலையாக உள்ளன; பண்டைய மின்இயக்கவியல் (classical electrodynamics) கொள்கைப் படி நிலைமின்னியல் அமைப்பு ஒன்றில் சமநிலைப் புள்ளிகள் இருக்க இயலாது (இயன்ஷா தேற்றம்). எனவே அணு சமநிலையில் இருக்க இயலாது. மேலும் ஹைட்ரஜன் மற்றும் பிற அணுக்களின் நிறமாலை வரிகளின் தோற்றத்தை இந்த மாதிரியால் விளக்க இயலவில்லை.

9.3.2 ரூதர்போர்டு மாதிரி

1911–ல் கெய்கர் மற்றும் மாசுடென் ஆகியோர், அவர்தம் ஆசிரியரான ரூதர்போர்டின் அறிவுரைப்படி, குறிப்பிடத்தக்க செய்முறை ஆய்வு ஒன்றினைச் செய்தனர், அதற்கு தங்க மென்தகட்டினால் ஆல்பா துகள்கள் அடையும் சிதறல் என்று பெயர்.

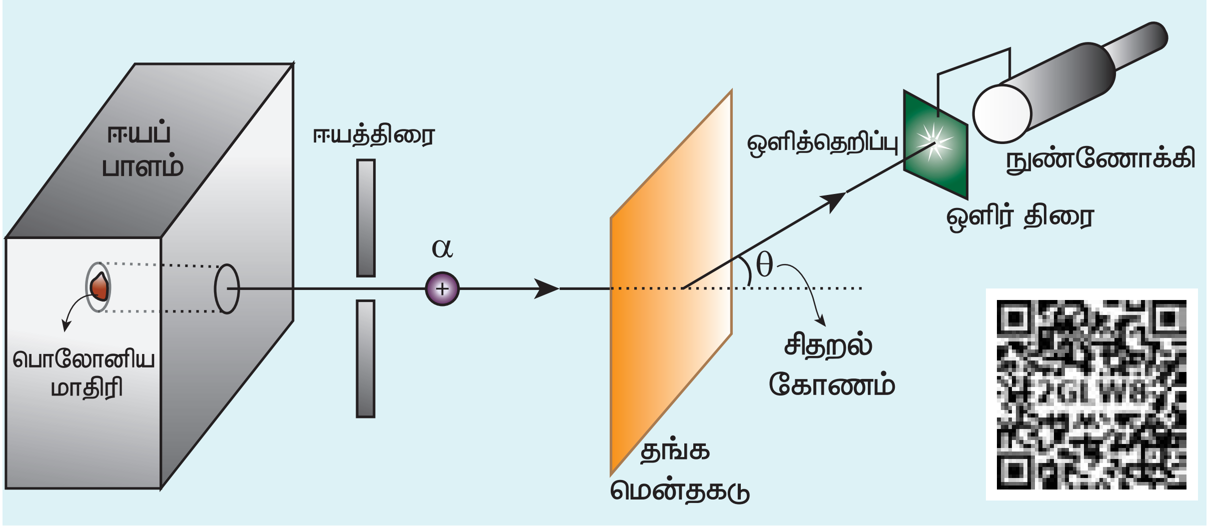
இந்த ஆய்வின் செய்முறை அமைப்பு படம் 9.9–ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. நுண்ணிய துளை கொண்ட, தடிமனான ஈயப் பெட்டி ஒன்றின் உள்ளே ஆல்பா துகள்கள் மூலம் (alpha particle source) (பொலோனியம் போன்றதொரு கதிரியக்கப் பொருள்) வைக்கப்படுகிறது. ஈயப் பெட்டியிலிருந்து வெளியேறும் ஆல்பா துகள்கள் மற்றொரு ஈயத்தகட்டில் இடப்பட்டுள்ள நுண்ணிய துளை வழியே செல்கின்றன. பின்னர், இத்துகள்கள் ஒரு தங்க மென்தகட்டின் மேல் வீழ்கின்றன. இதன் பிறகு, இத்துகள்கள் பல்வேறு கோணங்களில் சிதறல் அடைவது கண்டறியப்பட்டது. சிதறல் அடைந்த ஆல்பா துகள்களைத் திரட்டும் பொருட்டு துத்தநாக சல்பைடு (ZnS) தடவப்பட்ட (0° முதல் 180°வரை) நகர்த்தப்படக் கூடிய திரை ஒன்று உள்ளது. இத்திரையின் மீது ஆல்பா துகள்கள் படும்போது ஏற்படும் ஒளிர்வை நுண்ணோக்கியின் உதவியுடன் கண்டறியலாம்.

ஆல்பா சிதறல் ஆய்வின் அடிப்படையில் ஒரு அணு மாதிரியை ரூதர்போர்டு முன்மொழிந்தார். இந்த ஆய்வில் (நேர்மின் தன்மை கொண்ட) ஆல்பா துகள்கள் தங்க மென் தகட்டிலுள்ள அணுக்களின் மீது விழும்படி செய்யப்படுகின்றன. இந்த ஆய்வின் முடிவுகளைக் கீழே காணலாம். இதையே படம் 9.10 –இலும் அறியலாம். [ரூதர்போர்டு எதிர்ப்பார்த்தது (அ). ஆய்வின் முடிவில் பெறப்பட்டது (ஆ)]

(அ) பெரும்பாலான ஆல்பா துகள்கள் தங்க மென்தகட்டினால் விலக்கம் அடையாமல் நேராக செல்கின்றன.

(ஆ) சில ஆல்பா துகள்கள் சிறிய கோண அளவே விலக்கம் அடைகின்றன.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 148 04-03-2022 16:43:50



படம் 9.9 ரூதர்போர்டின் ஆல்பா துகள் சிதறல் ஆய்வின் குறியீட்டுப் படம்

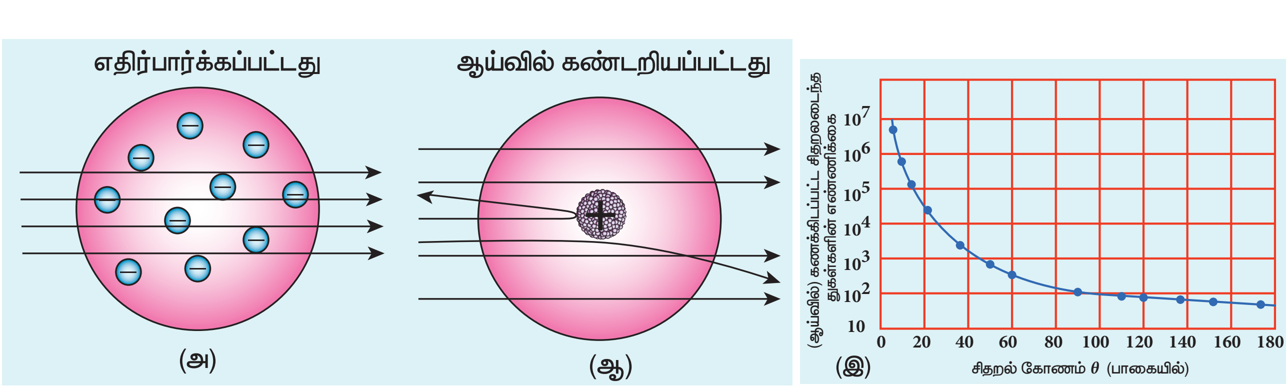
(இ) குறைந்த எண்ணிக்கையிலான (ஆயிரத்தில் ஒன்று) ஆல்பா துகள்கள் 90° கோணத்திற்கும் மேலான விலக்கம் அடைகின்றன.

(ஈ) மிகக்குறைந்த எண்ணிக்கையிலான ஆல்பா துகள்கள் 180° கோண அளவில் பின்னோக்கிய சிதறல் அடைகின்றன.

படம் 9.10 (இ)யில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள புள்ளிகள் கெய்கர்–மாசுடென் ஆல்பா சிதறல் ஆய்வுத் தரவுகளின் அடிப்படையில் பெறப்பட்டவை, மேலும், வளைகோடு ரூதர்போர்டு அணுக்கரு மாதிரியின் அடிப்படையில் பெறப்பட்டது; இவை இரண்டுமே ஒன்றுக்கொன்று இணங்கிப்போவதை கண்கூடாகக் காணலாம்.

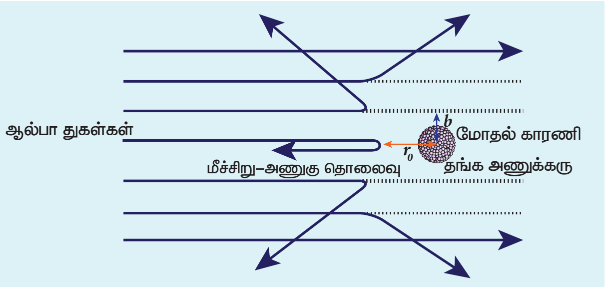
மேற்கூறிய காட்சிப்பதிவுகளின் அடிப்படையில் ரூதர்போடு கண்டறிந்த முடிவுகள்:

மேற்கண்ட ஆய்வுத் தரவுகளின் அடிப்படையில், அணு ஒன்றில் ஏராளமான வெற்றிடமும் 10^{-14}m அளவு கொண்ட அணுக்கரு என்றழைக்கப்படும் சிறிய அளவிலான பருப்பொருளும் இருக்க வேண்டும் என்ற கருத்தை ரூதர்போர்டு முன்வைத்தார். அணுக்கரு நேர் மின்னூட்டம் கொண்டது. மேலும், அணுவின் மிகப்பெருமளவு நிறை அணுக்கருவில் குவிந்துள்ளது. அணுக்கருவைச் சுற்றி எதிர் மின்னூட்டம் கொண்ட எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இவ்வாறுள்ள மின்னூட்டப் பரவலில் உள்ள மின்துகள்கள் நிலையாக இருந்தால், அவை சமநிலையில் இருக்க இயலாது என்பதால் சூரியனைச் சுற்றி கோள்கள் வட்டப்பாதையில் இயங்குவதைப் போல அணுக்கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்கள் இயங்குகின்றன என்று அவர் கருத்துரைத்தார்.



படம் 9.10 ஆல்பா சிதறல் ஆய்வில் – (அ) ரூதர்போர்டினால் எதிர்பார்க்கப்பட்டது (ஆ) ஆய்வின் முடிவில் கண்டறியப்பட்டது. (இ) சிதறல் கோணம் θ வைப் பொறுத்து சிதறிய ஆல்பா துகள் எண்ணிக்கை $N(\theta)$ இன் மாறுபாடு.

(அ) மீச்சிறு–அணுகு தொலைவு



படம் 9.11 மீச்சிறு–அணுகு தொலைவு மற்றும் மோதல் காரணி

அணுக்கருவை நோக்கி நேராக ஓர் ஆல்பா துகள் செல்லும் போது, குறிப்பிட்ட ஒரு புள்ளியை அது அடைந்த பிறகு, சிறிது நேரம் நின்று பின் திரும்புகின்றது. (படம் 9.11) இவ்வாறு 180^0 கோணத்தில் எதிரொளிப்பு அடைவதற்கு முன், ஆல்பா துகள் மற்றும் அணுக்கரு ஆகிய இரண்டிற்கும் இடையே உள்ள சிறும தொலைவு 'மீச்சிறு–அணுகு தொலைவு' r_0 எனப்படும். (இதை தொடுகை தொலைவு எனவும் அழைப்பர்). இத்தொலைவில், ஆல்பா துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் அனைத்தும் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலாக மாற்றப்படுகின்றது (காண்க. +2 இயற்பியல் பாடநூல்: தொகுதி–1 அலகு–1).

$$\frac{1}{2}m\upsilon_0^{\ 2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(2e)(Ze)}{r_0}$$

$$\Rightarrow r_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2Ze^2}{\left(\frac{1}{2}m\upsilon_0^2\right)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2Ze^2}{E_k}$$

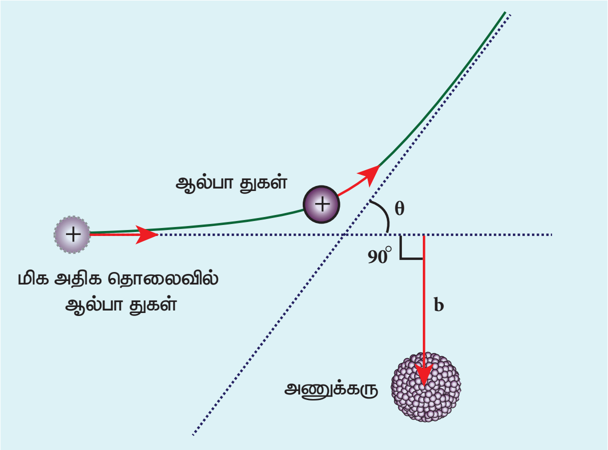
இங்கு E_k என்பது ஆல்பா துகளின் இயக்க ஆற்றலாகும். மேலே கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாடானது அணுக்கருவின் அளவை தோராயமாக கூறுவதற்கு மட்டுமே பயன்படும், ஆனால், மீச்சிறு–அணுகு தொலைவை விட அணுக்கருவின் அளவு எப்போதும் குறைவாகவே இருக்கும். பல்வேறு அணுக்கருக்களின் அளவுகளைக் கணக்கிட்ட ரூதர்போர்ட், அவற்றின் ஆரங்கள் 10^{-14} m முதல் 10^{-15} வரை எனக் கண்டறிந்தார்.

(ஆ) மோதல் காரணி (b)

(தங்க) அணுக்கருவின் மையத்திற்கும், ஆல்பா துகள் அதிக தொலைவில் உள்ளபோது அதன் (நீட்டிக்கப்பட்ட) திசைவேக வெக்டரின் திசைக்கும் இடைப்பட்ட செங்குத்துத் தொலைவானது, மோதல் காரணி (b) என வரையறுக்கப்படுகிறது. (படம் 9.12). மோதல் காரணி மற்றும் சிதறல் கோணம் இடையேயான தொடர்பு பின்வரும் சமன்பாட்டால் தரப்படுகிறது.

$$b \propto \cot\left(\frac{\theta}{2}\right) \Rightarrow b = K\cot\left(\frac{\theta}{2}\right) \qquad (9.13)$$

இங்கு $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2Ze^2}{m\upsilon_0^2}$ மற்றும் θ என்பது சிதறல் கோணம். சமன்பாடு (9.13) இன் படி, மோதல் காரணி அதிகரிக்கும் போது சிதறல் கோணம் குறைகின்றது. மோதல் காரணியின் மதிப்பு சிறியதாக இருந்தால், ஆல்பா துகள்களின் விலகல் அதிகமாக இருக்கும்.



படம் 9.12 மோதல் காரணி

ரூதர்போர்டு மாதிரியின் குறைபாடுகள்

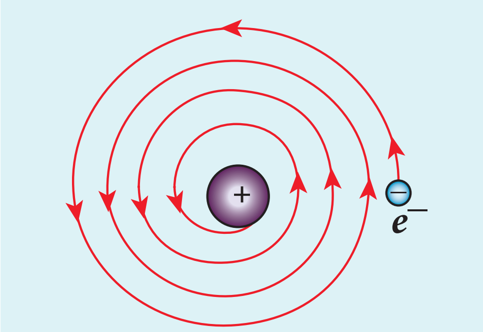
அணுக்கருவின் விட்டம் மற்றும் அணுவின் அளவு ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுவதற்கு ரூதர்போர்டு அணு மாதிரி பயன்பட்டாலும் அதில் கீழ்க்கண்ட குறைபாடுகள் உள்ளன.

அ) அணுக்கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரானிகளின் பரவல் மற்றும் அணுவின் நிலைத்தன்மை ஆகியவற்றை இந்த அணுமாதிரியால் விளக்க முடியவில்லை.

பண்டைய மின்னியக்கவியல் (Classical electrodynamics) கொள்கைப்படி, முடுக்கப்பட்ட மின்துகள் மின்காந்தக் கதிர்களை உமிழ்கிறது. இதனால், அது ஆற்றலை இழக்கின்றது. எனவே, ஒரே வட்டப்பாதையில் அதன் இயக்கத்தைத்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 150 04-03-2022 16:43:52

தக்க வைத்துக் கொள்ள இயலாது. அதன் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் சிறிது சிறிதாகக் குறைந்து (சுருள் வட்ட இயக்கத்தை மேற்கொண்டு), இறுதியில் அணுக்கருவினுள் விழ வேண்டும் (படம் 9.13). இதனால் அணு சிதைவுற வேண்டும். ஆனால் இது நடைபெறுவதில்லை. எனவே, ரூதர்போடு அணு மாதிரி அணுக்களின் நிலைத்தன்மையை விளக்க முடியவில்லை.



படம் 9.13 அணுக்கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரானின் திருகு வட்ட இயக்கம்

ஆ) இந்த அணு மாதிரியின் படி, கதிர்வீச்சின் நிறமாலை தொடர் வெளிவிடு நிறமாலையாக இருக்க வேண்டும். ஆனால் சோதனைகள் மூலம், அணுக்கள் வரி நிறமாலையையே வெளிவிடுகின்றன என்பதை நாம் காண்கிறோம்.

9.3.3 போர் அணு மாதிரி

அணுவின் நிலைத்தன்மை மற்றும் ஹைட்ரஜன் அணுவின் வரி நிறமாலை ஆகியற்றை விளக்குவதில் ரூதர்போர்டு அணு மாதிரியின் குறைபாடுகளைப் போக்கும் வகையில், ரூதர்போர்டு அணு மாதிரியில் சில மாற்றங்களை நீல்சு போர் செய்தார். ஹைட்ரஜன் அணுவின் வரி நிறமாலையை விளக்கும் பொருட்டு அணுவின் அமைப்பு குறித்த தகுந்த கருத்தியல் விளக்கத்தை முதலில் கூறியவர் அவரே. அவரது எடுகோள்கள் பின்வருமாறு:

படம் 9.14 ஹைட்ரஜனின் வரி நிறமாலை

போர் அணு மாதிரியின் எடுகோள்கள்

(அ) கூலூம் நிலைமின்னியல் கவர்ச்சி விசையினால் அணுக்கருவைச் சுற்றி ஓர் எலக்ட்ரான் வட்டப்பாதையில் இயங்குகின்றது. வட்டப்பாதையில் எலக்ட்ரான் இயங்கத் தேவையான மைய நோக்கு விசையை இந்த கூலூம் விசை அளிக்கின்றது.

(ஆ) அணுவில் உள்ள எலக்ட்ரான்கள் குறிப்பிட்ட சில தனித்தனியான (discrete) பாதைகளில் அணுக்கருவைச் சுற்றி வருகின்றன; இப்பாதைகளில் எலக்ட்ரான்கள் சுற்றும் போது அவை மின்காந்த ஆற்றலை கதிர் வீசுவதில்லை. இவ்வாறு அனுமதிக்கப்பட்ட தனித்தனியான சுற்றுப்பாதைகள் நிலைத்தன்மை பெற்றவை.

இத்தகைய நிலைத்தன்மை பெற்ற சுற்றுப்பாதைகளில் உள்ள எலக்ட்ரானின் கோண உந்தத்தின் (l) மதிப்பானது குவாண்டப் படுத்தப்பட்டுள்ளது. அதாவது அதன் மதிப்பு $\frac{h}{2\pi}$ –ன் முழு மடங்காகவே இருக்கும். இதைச் சமன்பாட்டு வடிவில் $l = n\hbar$ என்று எழுதலாம். இங்கு $\hbar$ (h பார் என்று படிக்க வேண்டும்) என்பது சுருக்கிய பிளாங்க் மாறிலி ($\hbar = \frac{h}{2\pi}$) மற்றும் n என்பது முதன்மை குவாண்டம் எண் ஆகும். இந்த நிபந்தனை கோண உந்த குவாண்டமாக்கல் (angular momentum quantization) அல்லது குவாண்டமாக்கல் நிபந்தனை என அழைக்கப்படுகிறது.

குவாண்டம் இயந்திரவியலின்படி, எலக்ட்ரான்கள் உள்ளிட்ட துகள்கள் இருமைப்பண்பு பெற்றவை. (காண்க. +2 இயற்பியல் பாடநூல்: தொகுதி–2 அலகு–8), நிலைத்தன்மை பெற்ற பாதையில் சுற்றி வரும் எலக்ட்ரான்களுடன் தொடர்புள்ள நிலையலைகளின் (standing wave) அமைப்புகள் படம் 9.15–ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

மேலும் எலக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதையின் சுற்றளவானது டி பிராய் அலைநீளத்தின் முழு மடங்காக இருக்க வேண்டும்.

$$2\pi r = n\lambda \qquad (9.14)$$

இங்கு n = 1,2,3,......

m நிறையும் v திசைவேகமும் கொண்ட எலக்ட்ரானின் டி ப்ராய் அலைநீளம் $\lambda = \frac{h}{mv}$. இங்கு h என்பது பிளாங்க் மாறிலி. எனவே

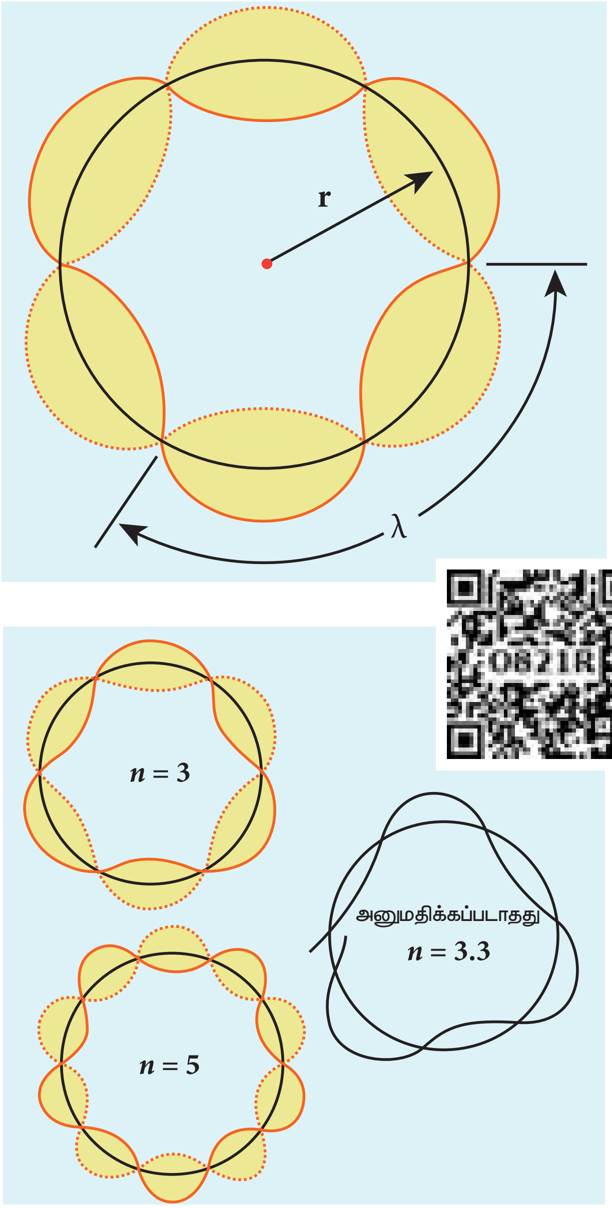
XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 151 04-03-2022 16:43:53

$$2\pi r = n\left(\frac{h}{m\upsilon}\right)$$

$$m\upsilon r = n\frac{h}{2\pi}$$

m நிறையும் υ திசைவேகமும் கொண்ட எந்த ஒரு துகளும் r ஆரம் கொண்ட வட்டப்பாதை இயக்கத்தை மேற்கொள்ளும்போது, அதன் கோண உந்தத்தின் எண் மதிப்பு

$$l = r(m\upsilon)$$
$$m\upsilon r = l = n\hbar$$

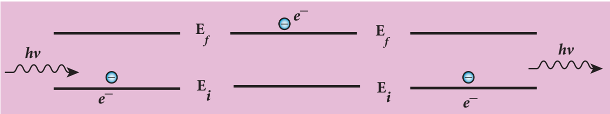


படம் 9.15 நிலையான சுற்றுப்பாதையில் எலக்ட்ரானின் நிலை அலைப் பாங்கு

(இ) சுற்றுப்பாதைகளின் ஆற்றல் தொடர்ச்சியாக இல்லாமல் தனித்தனி மதிப்புகளைக் கொண்டுள்ளன. இதையே ஆற்றலின் குவாண்டமாக்கல் என்பர். இரு சுற்றுப்பாதைகளின் ஆற்றல் வேறுபாட்டுக்குச் (ΔE) சமமான ஆற்றல் கொண்ட ஃபோட்டானை உட்கவர்வதனாலோ அல்லது வெளிவிடுவதனாலோ எலக்ட்ரான் ஒரு சுற்றுப்பாதையிலிருந்து மற்றொன்றுக்கு தாவ இயலும் (படம் 9.16)

$$\Delta E = E_{\text{இறுதி}} - E_{\text{தொடக்கம்}} = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

இங்கு c என்பது ஒளியின் திசைவேகம், λ கதிர்வீச்சின் அலைநீளம் மற்றும் ν கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண் ஆகும். எனவே, உமிழப்படும் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண், அணுவின் ஆற்றல் மாறுபாட்டை மட்டுமே சார்ந்துள்ளது. மேலும் அது எலக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை இயக்கத்தின் அதிர்வெண்ணைச் சார்ந்ததல்ல.



படம் 9.16 கதிர்வீச்சு உட்கவரப்படுதலும் உமிழப்படுதலும்.

எடுத்துக்காட்டு 9.1

ஹைட்ரஜன் அணுவின் 5வது சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் 13.25 Å எனில், அச்சுற்றுப்பாதையில் உள்ள எலக்ட்ரானின் அலைநீளத்தைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

$2\pi r = n\lambda$

$2 \times 3.14 \times 13.25\text{Å} = 5 \times \lambda$

$\therefore\ \lambda = 16.64\text{Å}$

எடுத்துக்காட்டு 9.2

ஹைட்ரஜன் அணுவின் 5வது சுற்றுப்பாதையின் (i) கோண உந்தம் மற்றும் (ii) அதிலுள்ள எலக்ட்ரானின் திசைவேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

$(h = 6.6 \times 10^{-34}\ \text{Js},\ m = 9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg})$

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 152 04-03-2022 16:43:55

தீர்வு

(i) கோண உந்தம்

$$l = n\hbar = \frac{nh}{2\pi}$$

$$= \frac{5\times6.6\times10^{-34}}{2\times3.14} = 5.25\times10^{-34}\ \text{kgm}^2\text{s}^{-1}$$

(ii) திசைவேகம்

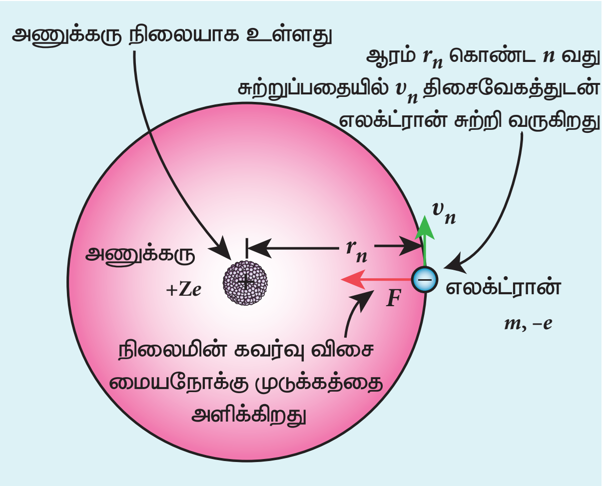
$$\upsilon = \frac{l}{mr}$$

$$= \frac{(5.25\times10^{-34}\ \text{kgm}^2\text{s}^{-1})}{(9.1\times10^{-31}\ \text{kg})(13.25\times10^{-10}\ \text{m})}$$

$$\upsilon = 4.4\times10^{5}\ \text{ms}^{-1}$$

எலக்ட்ரான் சுற்றுப் பாதையின் ஆரம் மற்றும் திசைவேகம்

நிலையாகவுள்ள அணுக்கரு மற்றும் r_n ஆரம் கொண்ட வட்டப்பாதையில் அணுக்கருவைச் சுற்றி இயங்கும் எலக்ட்ரான் கொண்ட அணு ஒன்றைக் கருதுக.(படம் 9.17).அணுக்கருவானதுபுரோட்டான் மற்றும் நியூட்ரான்களை உள்ளடக்கியது. புரோட்டான் நேர் மின்தன்மையையும் நியூட்ரான் மின் நடுநிலைமையாகவும் உள்ளதால், அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் முழுவதும் புரோட்டான்களின் மின்னூட்டத்தையே சாரும்.



படம் 9.17 அணுக்கருவைச் சுற்றி இயங்கும் எலக்ட்ரான்

குறிப்பிட்ட ஒரு அணுவின் அணு எண் Z என்க. எனில் $+Ze$ என்பது அணுக்கருவின் (புரோட்டான்களின்) மின்னூட்டம் மற்றும் $-e$ என்பது எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் ஆகும். கூலூம் விதிப்படி,

$$\vec{F}_{\text{கூலூம்}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(+Ze)(-e)}{r_n^2}\hat{r}$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n^2}\hat{r}$$

இந்த விசையே எலக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதையில் இயங்கத் தேவைப்படும் மையநோக்கு விசையை அளிக்கிறது.

$$\vec{F}_{\text{மையநோக்கு}} = \frac{m\upsilon_n^2}{r_n}\hat{r}$$

வட்ட சுற்றுப்பாதையில் இயங்கும் எலக்ட்ரானின் நிறை m எனவும் அதன் திசைவேகம் υ_n எனவும் கொள்க.

$$\left|\vec{F}_{\text{கூலூம்}}\right| = \left|\vec{F}_{\text{மையநோக்கு}}\right|$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n^2} = \frac{m\upsilon_n^2}{r_n}$$

$$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0(m\upsilon_n r_n)^2}{Zme^2} \qquad (9.15)$$

நீல்ஸ் போர் கொள்கையின் படி, கோண உந்த குவாண்டமாக்கல் நிபந்தனை, $m\upsilon_n r_n = l_n = n\hbar$, ஆகும். எனவே,

$$\therefore r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0(m\upsilon_n r_n)^2}{Zme^2}$$

$$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0(n\hbar)^2}{Zme^2} = \frac{4\pi\varepsilon_0 n^2\hbar^2}{Zme^2}$$

$$r_n = \left(\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi me^2}\right)\frac{n^2}{Z} \qquad \left(\because \hbar = \frac{h}{2\pi}\right) \qquad (9.16)$$

இங்கு $n\in\mathbb{N}$. மேலும் ε_0, h, e மற்றும் π ஆகியவை மாறிலிகள். ஆதலால் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 153 04-03-2022 16:43:58

$$r_n = a_0 \frac{n^2}{Z}$$

இங்கு $a_0 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2} = 0.529\, \mathring{A}$. இதுவே போர் ஆரம் எனப்படும். இது அணு ஒன்றின் உள்ள சுற்றுப்பாதையின் சிறும ஆரம் ஆகும். போர் ஆரம் ஆனது போர் எனும் நீளத்தின் ஒரு அலகாகப்பயன்படுகிறது. 1 Bohr = 0.53 Å ஹைட்ரஜன் அணுவுக்கு (Z = 1), n ஆவது சுற்றுப்பாதையின் ஆரம்

$$r_n = a_0 n^2$$

$n = 1$, முதல் சுற்றுப்பாதைக்கு (அடிநிலை)

$$r_1 = a_0 = 0.529\ \text{Å}$$

$n = 2$, இரண்டாவது சுற்றுப்பாதைக்கு (முதல் கிளர்வு நிலை)

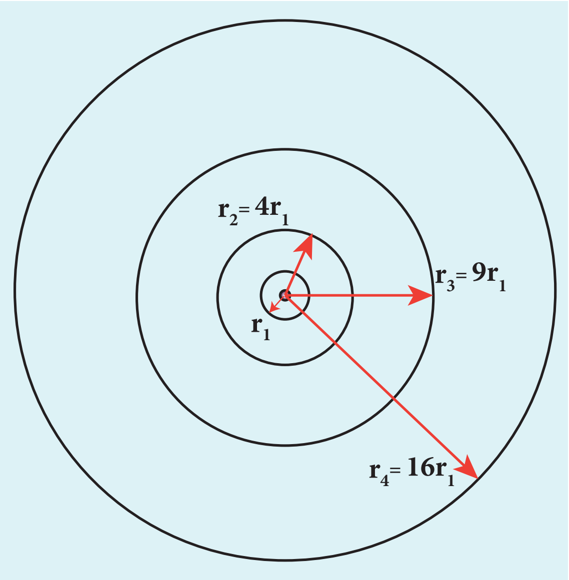
$$r_2 = 4a_0 = 2.116\ \text{Å}$$

$n = 3$, மூன்றாவது சுற்றுப்பாதைக்கு (இரண்டாவது கிளர்வு நிலை),

$$r_3 = 9a_0 = 4.761\ \text{Å}$$

மற்றும் பல ...

ஆகவே, சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் $r_n \propto n^2$ என்றவாறு அதிகரிக்கின்றது (படம் 9.18).



படம் 9.18 முதன்மைக் குவாண்டம் எண்ணைப் பொறுத்து சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் மாறுபடுதல்

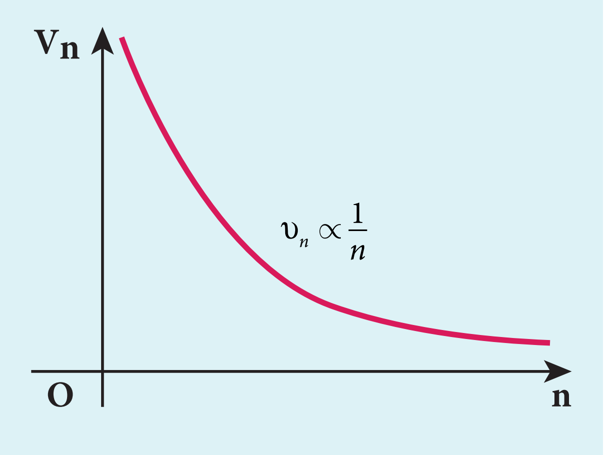
மேலும், போரின் கோண உந்த குவாண்டமாக்கல் நிபந்தனைப்படி,

$$\frac{m\upsilon_n a_0 n^2}{Z} = n\frac{h}{2\pi} \qquad \left[\because r_n = a_0 \frac{n^2}{Z}\right]$$

$$\upsilon_n = \frac{h}{2\pi m a_0} \frac{Z}{n}$$

$$\upsilon_n \propto \frac{1}{n}$$

படம் 9.19 இல் இருந்து, முதன்மை குவாண்டம் எண் அதிகரிக்கும் போது எலக்ட்ரானின் திசைவேகம் குறைகிறது என்பதைக் கவனிக்கவும். இவ்வரைபடம் ஒரு செவ்வகப் பரவளையமாகும். கிளர்ச்சி நிலைகளுடன் ஒப்பிடும் போது, அடிநிலையிலுள்ள எலக்ட்ரானின் திசைவேகம் பெருமமாக உள்ளதை இது உணர்த்துகிறது.



படம் 9.19 முதன்மைக் குவாண்டம் எண்ணைப் பொறுத்து சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரானின் திசைவேகம் மாறுபடுதல்

*n*ஆவது வட்டப்பாதையில் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல்

நிலை மின்னியல் விசை ஒரு ஆற்றல் மாற்றா விசை ஆதலால், n ஆவது சுற்றுப்பாதையின் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல்

$$U_n = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(+Ze)(-e)}{r_n} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n}$$

$$= -\frac{1}{4\varepsilon_0^2}\frac{Z^2 m e^4}{h^2 n^2} \qquad \left(\because r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2}\frac{n^2}{Z}\right)$$

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 154 04-03-2022 16:44:00

n ஆவது சுற்றுப்பாதையில் எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல்

$$KE_n = \frac{1}{2} m\upsilon_n^2 = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{Z^2}{n^2}$$

இதிலிருந்து $U_n = -2KE_n$.

n ஆவது சுற்றுப்பாதையின் மொத்த ஆற்றல்

$$E_n = KE_n + U_n = KE_n - 2KE_n = -KE_n$$

$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{Z^2}{n^2}$$

ஹைட்ரஜன் அணுவுக்கு $(Z = 1)$,

$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} \text{ joule} \qquad (9.17)$$

இங்கு n என்பது முதன்மை குவாண்டம் எண். சமன்பாடு (8-17)–ல் தோன்றும் எதிர்க்குறி அணுக்கருவுடன் எலக்ட்ரான் பிணைக்கப்பட்டுள்ளதைக் காட்டுகிறது.

எலக்ட்ரானின் நிறை m, மின்னூட்டம் e, வெற்றிடத்தின் விடுதிறன் ε_0 மற்றும் பிளாங்க் மாறிலி h ஆகிய மதிப்புகளைப் பிரதியிட்டு, eV அலகில் எழுதினால்

$$E_n = -13.6 \frac{1}{n^2} eV$$

முதல் சுற்றுப்பாதையில் (அடிநிலை), எலக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றல் $E_1 = -13.6\ eV$.

இரண்டாவது சுற்றுப்பாதையில் (முதல் கிளர்வு நிலை), எலக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றல் $E_2 = -3.4\ eV$.

மூன்றாவது சுற்றுப்பாதையில் (இரண்டாவது கிளர்வு நிலை), எலக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றல் $E_3 = -1.51\ eV$

இதேபோல் அடுத்தடுத்த ஆற்றல் நிலைகளும் அமையும்.

அடிநிலையின் ஆற்றலை விட, முதல் கிளர்வு நிலையின் ஆற்றல் அதிகமாகும்; அதை (முதல் கிளர்வு நிலையின் ஆற்றல்) விட இரண்டாவது கிளர்வு நிலையின் ஆற்றல் அதிகமாகவும் உள்ளதைக் கவனிக்கவும். அணுக்கருவுக்கு மிகவும் அருகில் அமைந்துள்ள சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல், சிறும மதிப்பைப் பெற்றுள்ளது. எனவே இதை அடிநிலை ஆற்றல் (சிறும நிலை ஆற்றல்) என்கிறோம். ஹைட்ரஜனின் அடிநிலை ஆற்றல் மதிப்பு $-13.6\ eV$ ஆகும். இந்த மதிப்பு ரிட்பெர்க் எனும் ஆற்றலின் ஒரு அலகாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. அதாவது, 1 ரிட்பெர்க் (Rydberg) = $-13.6\ eV$.

ஆற்றலின் மதிப்புகள் எதிர்க்குறியைப் பெற்றிருப்பதற்குக் காரணம் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலின் சுழி மதிப்பை வரையறுக்கும் முறைதான். அணுக்கருவிலிருந்து முடிவிலாத் தொலைவிற்கு (அதாவது, மிக அதிகத் தொலைவிற்கு) எலக்ட்ரானை எடுத்துச் செல்லும்போது, நிலை மின்னழுத்த மற்றும் இயக்க ஆற்றல்கள் சுழி மதிப்பை அடைகின்றன. அதாவது, மொத்த ஆற்றல் சுழி மதிப்பை அடைகின்றது.

படம் 9.20–இல், அதிகரிக்கும் n–இன் மதிப்புக்கு ஏற்ப ஆற்றல் மட்டப் படங்களும் சுற்றுப்பாதைகளின் வடிவங்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. முதன்மை குவாண்டம் எண்ணின்(n) மதிப்பு அதிகரிக்கும் போது, கிளர்ச்சி நிலைகளின் ஆற்றல் மட்டங்கள் நெருக்கமாக உள்ளதைக் கவனிக்கவும்.

எடுத்துக்காட்டு 9.3

அ) முதல் போர் சுற்றுப்பாதையில், எலக்ட்ரானின் திசைவேகம் ஒளியின் திசைவேகம் இடையேயான தகவு பரிமாணம் இல்லாத ஒரு எண் என்பதை நிறுவுக.

ஆ) போர் அணு மாதிரியில் அடிநிலை, முதல் கிளர்வு நிலை மற்றும் இரண்டாவது கிளர்வு நிலைகளில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் திசைவேகங்களைக் கணக்கிடுக.

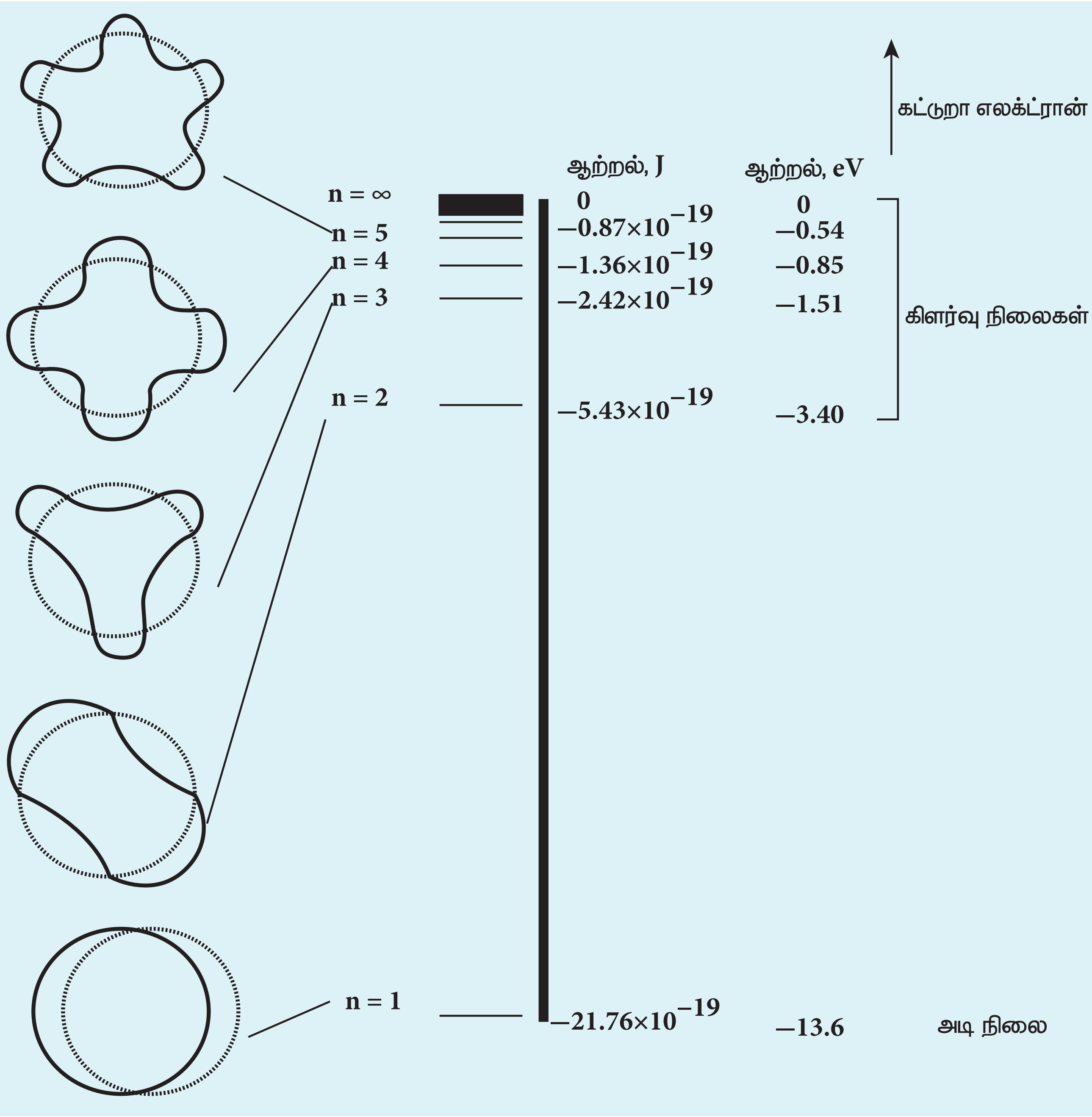
தீர்வு :

n ஆவது சுற்றுப்பாதையில் எலக்ட்ரானின் திசைவேகம்

$$\upsilon_n = \frac{h}{2\pi m a_0} \frac{Z}{n}$$

இங்கு $a_0 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2}$ = போர் ஆரம். a_0 –ன் மதிப்பை υ_n–ல் பிரதியிட

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 155 04-03-2022 16:44:02



படம் 9.20 ஹைட்ரஜன் அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்கள்

$$\upsilon_n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h}\frac{Z}{n} = c\left(\frac{e^2}{2\varepsilon_0 hc}\right)\frac{Z}{n} = \frac{\alpha c Z}{n}$$

இங்கு c என்பது வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம், இதன் மதிப்பு $c = 3 \times 10^8$ m s^{-1} மற்றும் α என்பது நுண்வரியமைப்பு மாறிலி (fine structure constant).

ஹைட்ரஜன் அணுவுக்கு Z=1 மற்றும் முதல் சுற்றுப்பாதைக்கு n=1. எனவே முதல் சுற்றுப்பாதையில் எலக்ட்ரானின் திசை வேகத்திற்கு வெற்றிடத்தில் ஒளியின் மேலும் திசைவேகத்திற்கு இடையேயான தகவு

$$\frac{\upsilon_1}{c} = \alpha = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 hc}$$

$$\alpha = \frac{(1.6\times10^{-19}\text{C})^2}{2\times(8.854\times10^{-12}\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2})} \times \frac{1}{(6.6\times10^{-34}\text{Nms})\times(3\times10^8\text{ms}^{-1})}$$

$$\approx \frac{1}{136.9} = \frac{1}{137}$$

இது ஒரு பரிமாணம் இல்லாத எண் ஆகும்.

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{137}$$

ஆ) நுண்வரியமைப்பு மாறிலியைப் பயன்படுத்தி, எலக்ட்ரானின் திசைவேகத்தைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்

$$\upsilon_n = \frac{\alpha c Z}{n}$$

ஹைட்ரஜன் அணுவுக்கு $Z = 1$. எனவே n ஆனது சுற்றுப்பாதையில், எலக்ட்ரானின் திசைவேகம்

$$\upsilon_n = \frac{c}{137}\frac{1}{n} = (2.19\times10^6)\frac{1}{n}\ \text{ms}^{-1}$$

முதல் சுற்றுப்பாதையில் (அடி நிலை), எலக்ட்ரானின் திசைவேகம்

$$\upsilon_1 = 2.19\times10^6\,\text{ms}^{-1}$$

இரண்டாவது சுற்றுப்பாதையில் (முதல் கிளர்வு நிலை), எலக்ட்ரானின் திசைவேகம்

$$\upsilon_2 = 1.095\times10^6\,\text{ms}^{-1}$$

மூன்றாவது சுற்றுப்பாதையில் (இரண்டாவது கிளர்வு நிலை), எலக்ட்ரான் திசைவேகம்

$$\upsilon_3 = 0.73\times10^6\,\text{ms}^{-1}$$

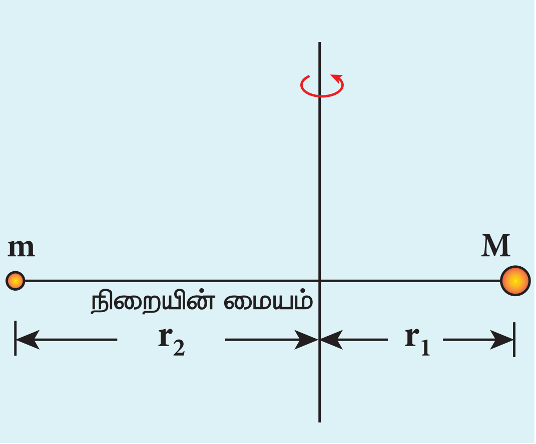
இதிலிருந்து, $\upsilon_1 > \upsilon_2 > \upsilon_3$

எடுத்துக்காட்டு 9.4

அணுக்கரு நிலையாகவும் அணுக்கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்கள் இயங்குவதாகவும் கருத்தில் கொண்டு போர் அணுமாதிரியின் சமன்பாடுகள் தருவிக்கப்பட்டுள்ளன. அணுக்கருவும் இயக்கத்தில் உள்ளதாகக் கருதினால், அத்தகைய அமைப்பில் ஆற்றலின் கோவையைத் தருவிக்கவும்.

தீர்வு

எலக்ட்ரானின் நிறை m மற்றும் அணுக்கருவின் நிறை M என்க. புறவிசை ஏதும் இவ்வமைப்பின் மீது புறவிசை ஏதும் செயல்படாததால், ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை மையம் நிலையாக இருக்கும். எனவே, நிறையின் மையத்தைப் பொருத்து அணுக்கருவும் எலக்ட்ரானும் இயக்கத்தில் இருக்கும் (படம் 9.21).



எலக்ட்ரானின் திசைவேகம் v மற்றும் அணுக்கருவின் திசைவேகம் V என்க. இவ்வமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் சுழி ஆகும். எனவே,

$-m\upsilon + M\upsilon = 0$ அல்லது

$$MV = m\upsilon = p$$

$\vec{p}_e + \vec{p}_n = \vec{0}$ அல்லது

$$\left|\vec{p}_e\right| = \left|\vec{p}_n\right| = p$$

எனவே, அமைப்பின் இயக்க ஆற்றல்

$$KE = \frac{p_n^2}{2M} + \frac{p_e^2}{2m} = \frac{p^2}{2}\left(\frac{1}{M} + \frac{1}{m}\right)$$

$\frac{1}{M} + \frac{1}{m} = \frac{1}{\mu_m}$. இங்கு μ_m என்பது சுருக்கிய நிறை (reduced mass) எனப்படும்.

மேலும் $\mu_m = \frac{mM}{M+m}$

எனவே, இப்போது அமைப்பின் இயக்க ஆற்றல்

$$KE = \frac{p^2}{2\mu_m}$$

அமைப்பின் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் எந்த மாறுபாடும் அடையவில்லை ஆதலால், நிறைக்குப் பதிலாக சுருக்கிய நிறையைப் பதிலீடு செய்து ஹைட்ரஜன் அணுவின் மொத்த ஆற்றலைப் பெறலாம்.

$$E_n = -\frac{\mu_m e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\frac{1}{n^2}$$

எலக்ட்ரானின் நிறையைக் காட்டிலும் அணுக்கருவின் நிறை மிக அதிகமாதலால், சுருக்கிய நிறையின் மதிப்பு ஆனது எலக்ட்ரானின் நிறைக்கு ஏறத்தாழ சமமாகும்.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 157 04-03-2022 16:44:07

குறிப்பு

ஹைட்ரஜன் நிறமாலை வரிகளின் குறைந்த அலைநீளப் பகுதியில், (முதன்மை) வரிகளுடன் கூட மங்கலான வரிகள் உடனிருப்பதை H.C. யுரே மற்றும் அவரது குழு 1931–ல் கண்டறிந்தது. ஐசோடோப்பு இடப்பெயர்ச்சி விளைவு (அல்லது ஐசோடோப்பு நகர்வு) காரணமாக ஒரே தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகள் சற்றே வேறுபட்ட நிறமாலை வரிகளை வெளிவிடுகின்றன. இந்த மங்கலான வரிகளின் தோற்றம் ஹைட்ரஜன் அணுவில் ஐசோடோப்பு உள்ளதை உறுதிப்படுத்தியது (இதுவே டியூட்டிரியம் எனப் பெயரிடப்பட்டது).

நிறமாலையில் ஒளி மிகுந்த வரிகளுக்கும் மங்கலான வரிகளுக்கும் இடையே உள்ள அலைநீள அல்லது அலை எண் வேறுபாட்டைக் கொண்டு டியூட்டிரியம் அணுவின் நிறை ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையைப் போல் இரு மடங்காகும் என்பது கணக்கிடப்பட்டது. போர் அணு மாதிரியினால் இந்த ஐசோடோப்பு நகர்வை விளக்க இயலவில்லை. (மிகச்சிறிய அளவே இருந்தாலும், அணுக்கருவின் இயக்கம் கண்டறியப்பட்டதால்) போரின் அணு மாதிரியில் அணுக்கரு இயக்கத்தைக் கருத்தில் கொண்டு கருத்தியல் அடிப்படையில் கணக்கிடப்பட்ட ஹைட்ரஜன் மற்றும் டியூட்டிரிய அணுக்களின் வரிகளின் அலை எண் அல்லது அலைநீள வேறுபாடுகள் நிறைமாலைகளின் கண்டறியப்பட்ட மதிப்புகளுடன் பொருந்தி வந்தன.

ஹைட்ரஜன் அணுவுக்கும் டியூட்டிரியம் அணுவுக்கும் இடையேயான வேறுபாடு என்னவெனில் ஹைட்ரஜன் அணுவில் ஒரு எலக்ட்ரானும் ஒரு புரோட்டானும் உள்ளன. மாறாக டியூட்டிரியம் அணுவில் ஒரு எலக்ட்ரான், ஒரு புரோட்டான் மற்றும் ஒரு நியூட்ரான் ஆகியவை உள்ளன.

கிளர்வு ஆற்றலும் கிளர்வு மின்னழுத்தமும்

எந்தவொரு குறைந்த ஆற்றல் நிலையிலிருந்தும் அதைவிட அதிக ஆற்றல் நிலைக்கு ஒரு எலக்ட்ரானை கிளர்வுறச் செய்ய தேவைப்படும் ஆற்றல் கிளர்வு ஆற்றல் எனப்படும்.

அடிநிலையிலிருந்து (n=1) முதல் கிளர்வு நிலைக்கு (n=2) ஒரு எலக்ட்ரானை எடுத்துச் செல்லத் தேவைப்படும் கிளர்வு ஆற்றலானது முதல் கிளர்வு ஆற்றல் எனப்படுகிறது.

$$E_I = E_2 - E_1 = -3.4\ eV - (-13.6\ eV) = 10.2\ eV$$

இதேபோல், அடிநிலையிலிருந்து $(n=1)$ இரண்டாவது கிளர்வு நிலைக்கு $(n=3)$ எடுத்துச்செல்லத் தேவைப்படும் கிளர்வு ஆற்றல் இரண்டாம் கிளர்வு ஆற்றல் எனப்படுகிறது

$$E_{II} = E_3 - E_1 = -1.51\ eV - (-13.6\ eV) = 12.1\ eV$$

அதேபோல் அடுத்தடுத்தவை.

ஓரலகு மின்னூட்டம் பெற்ற மின்துகள் ஒன்றின் கிளர்வு ஆற்றல் கிளர்வு மின்னழுத்தம் என்றழைக்கப்படுகிறது.

ஹைட்ரஜன் அணுவிற்கு முதல் கிளர்வு ஆற்றல், $E_I = eV_I$

எனவே ஹைட்ரஜன் **அணுவின்** முதல் கிளர்வு மின்னழுத்தம்,

$$V_I = \frac{1}{e}E_I = 10.2\ \text{volt}$$

அதேபோல் ஹைட்ரஜன் அணுவின் இரண்டாம் கிளர்வு மின்னழுத்தம்,

$$V_{II} = \frac{1}{e}E_{II} = 12.1\ \text{volt}$$

அதேபோல் அடுத்தடுத்தவை..

அயனியாக்க ஆற்றலும் அயனியாக்க மின்னழுத்தமும்

எலக்ட்ரான் ஒன்றினை அணுவிலிருந்து முற்றிலுமாக வெளியேற்றினால், அதாவது, $E_{n\to\infty}$. என்ற ஆற்றல் நிலையை அது அடைந்தால், அவ்வணு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்டுள்ளது எனலாம். **அடிநிலையிலுள்ள அணுவின் எலக்ட்ரான் ஒன்றினை அதிலிருந்து வெளியேற்றத் தேவைப்படும் சிறும ஆற்றல் பிணைப்பு ஆற்றல் அல்லது அயனியாக்க ஆற்றல்** என்று அழைக்கப்படுகிறது.

ஹைட்ரஜனின் அடிநிலை அயனியாக்க ஆற்றல்,

$$E_{\text{அயனியாக்கம்}} = E_\infty - E_1 = 0 - (-13.6\,eV)$$
$$= 13.6\,eV$$

n ஆவது ஆற்றல் நிலையில் ஒரு எலக்ட்ரானை வெளியேற்றத் தேவைப்படும் அயனியாக்க ஆற்றல்,

$$E_{\text{அயனியாக்கம்}} = E_\infty - E_n = 0 - \left(-\frac{13.6}{n^2}Z^2\ eV\right)$$
$$= \frac{13.6}{n^2}Z^2\ eV$$

சாதாரண அறை வெப்பநிலையில், ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள (Z=1) எலக்ட்ரான் பெரும்பாலும் அடிநிலையிலேயே உள்ளது. **அடிநிலையிலுள்ள**

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 158 04-03-2022 16:44:08

அட்டவணை 9.1			
இயற்பியல் அளவீடு	அடி நிலை	முதல் கிளர்வு நிலை	இரண்டாம் கிளர்வு நிலை
ஆரம் ($r_n \propto n^2$)	0.529 Å	2.116 Å	4.761 Å
திசைவேகம் ($v_n \propto n^{-1}$)	2.19×10^6 m s^{-1}	1.095×10^6 m s^{-1}	0.73×10^6 m s^{-1}
மொத்த ஆற்றல் ($E_n \propto n^{-2}$)	−13.6 *e*V	−3.4 *e*V	−1.51 *e*V

எலக்ட்ரான் ஒன்றை கடைசி ஆற்றல் நிலைக்கு ($n \to \infty$ எனில் $E = 0$) மாற்றத் தேவைப்படும் ஆற்றல் முதல் அயனியாக்க ஆற்றல் (13.6 *e*V) எனப்படும். இப்போது, அந்த ஹைட்ரஜன் அணு அயனியாக்க நிலையில் உள்ளது அல்லது ஹைட்ரஜன் அயனி H^+ என அழைக்கப்படுகிறது. நாம் அளிக்கும் ஆற்றல் அயனியாக்க ஆற்றலை விட அதிகமாக இருந்தால், அதிகப்படியாக உள்ள ஆற்றல் கட்டுறா எலக்ட்ரான்களின் (free electron) இயக்க ஆற்றலாக அளிக்கப்படும்.

ஓரலகு மின்னூட்டத்திற்கான அயனியாக்க ஆற்றல் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் என வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$V_{\text{அயனியாக்கம்}} = \frac{1}{e} E_{\text{அயனியாக்கம்}} = \frac{13.6}{n^2} Z^2 \text{ V}$$

ஹைட்ரஜன் அணுவிற்கு ($Z=1$) அயனியாக்க மின்னழுத்தம்

$$V = \frac{13.6}{n^2} \text{ volt}$$

அடிநிலை, முதல் கிளர்வு நிலை மற்றும் இரண்டாம் கிளர்வு நிலைகளின் ஆரம், திசைவேகம் மற்றும் மொத்த ஆற்றல் ஆகியவை அட்டவணை 9.1–ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

எடுத்துக்காட்டு 9.5

ஹைட்ரஜனைப் போன்றதொரு அணு ஒன்றின் ஆற்றல் $E_n = -\frac{54.4}{n^2}$ eV, எனில் பின்வருவனவற்றைக் கணக்கிடவும். இங்கு $n \in \mathbb{N}$

அ) அந்த அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்களை வரையவும்; மேலும் அதன் அணு எண்ணைக் கணக்கிடவும்.

ஆ) அணு அடிநிலையில் உள்ளது எனில், அதன் முதல் கிளர்வு மின்னழுத்தம் மற்றும் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

இ) முறையே 42 *e*V மற்றும் 51 *e*V ஆற்றல் கொண்ட இரு போட்டான்களை அந்த அணுவின் மீது மோதச் செய்தால், அவற்றை அந்த அணு உட்கவருமா?

ஈ) முதல் போர் சுற்றுப்பாதையின் ஆரத்தைக் கண்டறிக.

உ) அடிநிலையில் அதன் இயக்க மற்றும் மின்னழுத்த ஆற்றல்களைக் கணக்கிடுக.

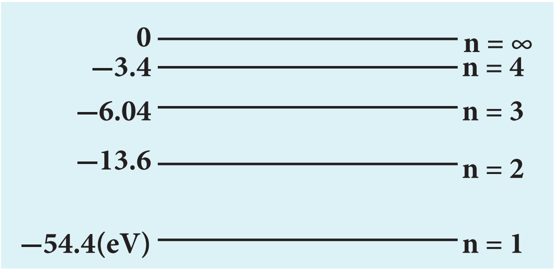
தீர்வு

அ) $E_n = -\frac{54.4}{n^2}$ eV எனவே,

$n = 1$ எனில், அடிநிலை ஆற்றல்

$n = 2$ எனில், $E_2 = -13.6$ *e*V; $E_3 = -6.04$ *e*V, $E_4 = -3.4$ *e*V அதேபோல் மற்றவை

முதன்மை குவாண்டம் எண்ணின் பெரும மதிப்பு — அதாவது $n = \infty$ எனில் $E_\infty = 0$ *e*V.



ஆ) ஹைட்ரஜனைப் போன்றதொரு அணுவிற்கு அடிநிலை ஆற்றல்,

$$E_1 = -\frac{13.6}{n^2} Z^2 \text{ eV}$$

Z என்பது அணு எண்; கொடுக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல் மதிப்பை ஒப்பிடும் போது, $-13.6\,Z^2 = -54.4 \Rightarrow Z = \pm 2$ அணு எண் எதிர்க்குறி எண்ணாக இருக்க முடியாது. எனவே $Z = 2$.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 159 04-03-2022 16:44:10

முதல் கிளர்வு ஆற்றல்

$$E_I = E_2 - E_1 = -13.6\,eV - (-54.4\,eV)$$
$$= 40.8\,eV$$

எனவே முதல் கிளர்வு மின்னழுத்தம்

$$V_I = \frac{1}{e}E_I = \frac{(40.8\,eV)}{e}$$
$$= 40.8\text{ volt}$$

முதல் அயனியாக்க ஆற்றல்

$$E_{\text{அயனியாக்கம்}} = E_\infty - E_1 = 0 - (-54.4\,eV)$$
$$= 54.4\,eV$$

முதல் அயனியாக்க மின்னழுத்தம்

$$V_{\text{அயனியாக்கம்}} = \frac{1}{e}E_{\text{அயனியாக்கம்}} = \frac{(54.4\,eV)}{e}$$
$$= 54.4\text{ volt}$$

இ) இரு போட்டான்களை A மற்றும் B என்க. போட்டான் A–வின் ஆற்றல் 42 eV மற்றும் போட்டான் B–ன் ஆற்றல் 51 eV.

போர் கொள்கையின் படி, ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு இடையேயான வேறுபாட்டுக்குச் சமமான ஆற்றல் கொண்ட போட்டானை அணு உட்கவரும்; சமமாக இல்லையெனில், உட்கவராது.

$$E_2 - E_1 = -13.6\,eV - (-54.4\,eV)$$
$$= 40.8\,eV \approx 41\,eV$$

அதேபோல்,

$$E_3 - E_1 = -6.04\,eV - (-54.4\,eV)$$
$$= 48.36\,eV$$
$$E_4 - E_1 = -3.4\,eV - (-54.4\,eV)$$
$$= 51\,eV$$
$$E_3 - E_2 = -6.04\,eV - (-13.6\,eV)$$
$$= 7.56\,eV$$

அதேபோல் அடுத்தடுத்தவை

இங்கு, $E_2 - E_1 \neq 42$ eV, $E_3 - E_1 \neq 42$ eV, $E_4 - E_1 \neq 42$ eV மற்றும் $E_3 - E_2 \neq 42$ eV.

எந்தவொரு வாய்ப்பிலும் (42 eV) போட்டான் ஆற்றல் மதிப்பின் முழு மடங்குக்குச் சமமான ஆற்றல் வேறுபாடு அமையாததால், போட்டான் A இந்த அணுவால் உட்கவரப்படுவதில்லை. ஆனால், போட்டான் Bயைப் பொருத்தவரை, $E_4 - E_1 = 51\,eV$, ஆகையால், இவ்வணுவால், போட்டான் B உட்கவரப்படுகின்றது.

ஈ.) போர் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் $r_n = \frac{a_0 \times n^2}{z}$

$$n = 1, z = 2$$
$$r_1 = \frac{a_0}{2}$$
$$= \frac{0.529}{2} = 0.265\text{ Å}$$

உ) போர் அணுமாதிரியில், மொத்த ஆற்றலானது இயக்க ஆற்றலின் எதிர்க்குறி மதிப்புக்குச் சமம் ஆதலால்,

$$KE_n = -E_n = -\left(-\frac{54.4}{n^2}eV\right)$$
$$= \frac{54.4}{n^2}eV$$

நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலானது இயக்க ஆற்றலின் எதிர்க்குறி மதிப்பின் இரு மடங்காகும். எனவே,

$$U_n = -2KE_n = -2\left(\frac{54.4}{n^2}eV\right)$$
$$= -\frac{108.8}{n^2}eV$$

தரை நிலைக்கு $n = 1$

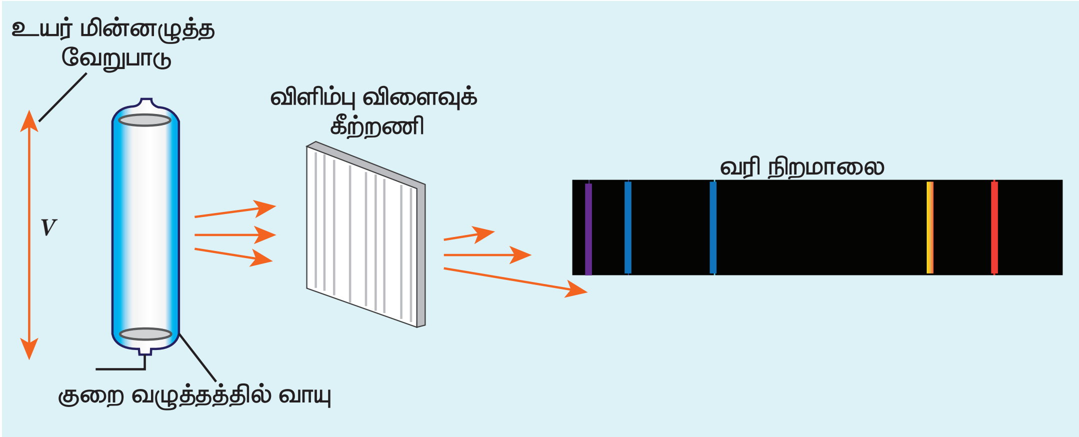
$KE_1 = 54.4\ eV$ மற்றும் $U_1 = -108.8\ eV$

9.3.4 அணு நிறமாலை

பல்வேறு திட, திரவ மற்றும் அடர்த்தியான வாயுப் பொருள்களை வெப்பப்படுத்தினால், அவை வெளிவிடும் மின்காந்தக் கதிர்கள் தொடர் நிறமாலையாகக் காணப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு வெள்ளை நிற ஒளியை நிறமாலைமானியின் உதவியுடன் ஆராய்ந்தால், அதில் மின்காந்தக் கதிர்களின் அனைத்து அலைநீளங்களும் தொடர் நிறமாலையாகக் காணப்படுகின்றன.

இருபதாம் நூற்றாண்டின் முற்பகுதியில், தீச்சுடர் மற்றும் மின்னிறக்கக் குழாய் ஆகியவற்றில் வைக்கப்பட்ட பல்வேறு தனிம அணுக்களினால் வெளிவிடப்படும், தனித்தன்மை கொண்ட கதிர்வீச்சுகளை ஆராய்வதில் பல அறிவியல் அறிஞர்கள் ஈடுபட்டனர். அவற்றை நிறமாலைமானியின் உதவியால் பார்க்கும் போது அல்லது புகைப்படம் எடுத்துப் பார்க்கும் போது, தொடர் நிறமாலைக்குப் பதிலாக ஒவ்வொன்றிற்கும் தனித்துவமாக உள்ள தனித்தனியான வரிகளின் தொகுப்பு காணப்பட்டது. அதாவது, வெளிவிடப்படும் (நிறமாலை) ஒளியின் அலை நீளங்கள் நன்கு

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 160 04-03-2022 16:44:13



படம் 9.21 ஓர் அணுவின் நிறமாலை

வரையறுக்கப்பட்டதாகவும் அவற்றின் இருப்பு நிலை மற்றும் பொலிவு ஆகியவை அந்தந்த தனிமத்துக்கே உரித்தனவாகவும் இருந்தன (படம் 9.21).

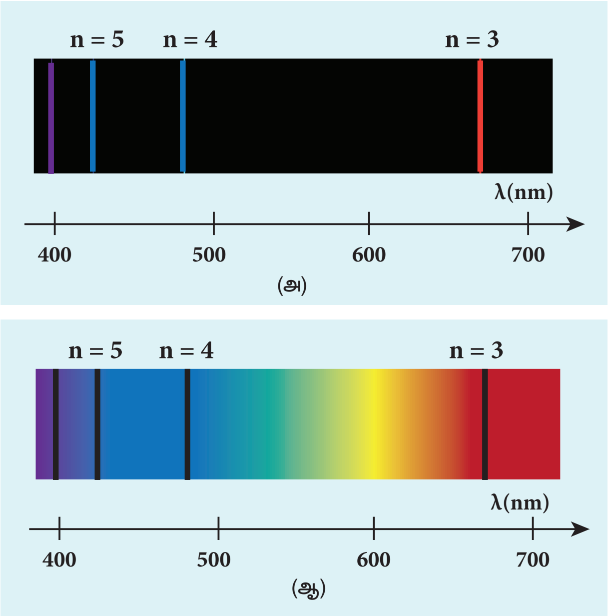
ஒவ்வொரு தனிமத்திற்கும் அதற்கே உரித்தான, தனித்தன்மை கொண்ட நிறமாலை உள்ளதையும் அதைப் பயன்படுத்தி தனிமத்தைக் கண்டறியலாம் என்பதையும் (ஒவ்வொரு மனிதரையும் கண்டறிய அவரது விரல் ரேகைகள் பயன்படுவது போல) இதன் மூலம் புரிந்து கொள்ள முடியும் – அதாவது, வெவ்வேறு வாயுக்களின் நிறமாலையும் வெவ்வேறாக இருக்கும். தனிமங்களின் வரி நிறமாலைகளின் தனித்துவத்தின் அடிப்படையில், விண்மீன்கள், சூரியன் மற்றும் இனம் கண்டறியாத சேர்மங்கள் ஆகியவற்றின் உள்ளடக்கங்களை அறிவியல் அறிஞர்கள் கண்டுபிடித்தனர்.

ஹைட்ரஜன் நிறமாலை

குழாயில் அடைக்கப்பட்ட ஹைட்ரஜன் வாயுவை வெப்பப்படுத்தும் போது, அதிலிருந்து நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட, குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களைக் கொண்ட சில மின்காந்த கதிர்வீச்சுகள் வெளியாகின்றன. இதுவே ஹைட்ரஜன் நிறமாலை எனப்படுகிறது. (XII–வகுப்பு தொகுதி 1, அலகு –5) ஹைட்ரஜனின் வெளிவிடு மற்றும் உட்கவர் நிறமாலைகள் படம் 9.22 (அ) மற்றும் (ஆ) வில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

எந்தவொரு வாயுவை வெப்பப்படுத்தினாலும், வெப்ப ஆற்றல் எலக்ட்ரான்களைக் கிளர்வுறச் செய்கிறது. அதேபோல், அணுக்களின் வழியே ஒளியை செலுத்தும் போது, போட்டான்களை உட்கவர்வதன் மூலமாக எலக்ட்ரான்கள் கிளர்வுறுகின்றன.

போர் எடுகோள்களில் கூறப்பட்டுள்ளதைப் போல (எடுகோள்–இ), போதுமான அளவு ஆற்றல் அளிக்கப்படும் போது, குறிப்பிட்ட அலைநீளம் (அல்லது அதிர்வெண்) கொண்ட ஆற்றலை உட்கவர்வதன் மூலம் எலக்ட்ரான்கள் அதன் நிலையில் இருந்து அதிக ஆற்றல் நிலைக்குத் தாவுகின்றன. குறிப்பிட்ட அலைநீளங்கள் (அல்லது அதிர்வெண்கள்) ஒளியில் இல்லாதபோது, அதன் உட்கவர் நிறமாலையில் இருள் வரிகளாகக் காணப்படுகின்றன (படம் 9.22 (அ).

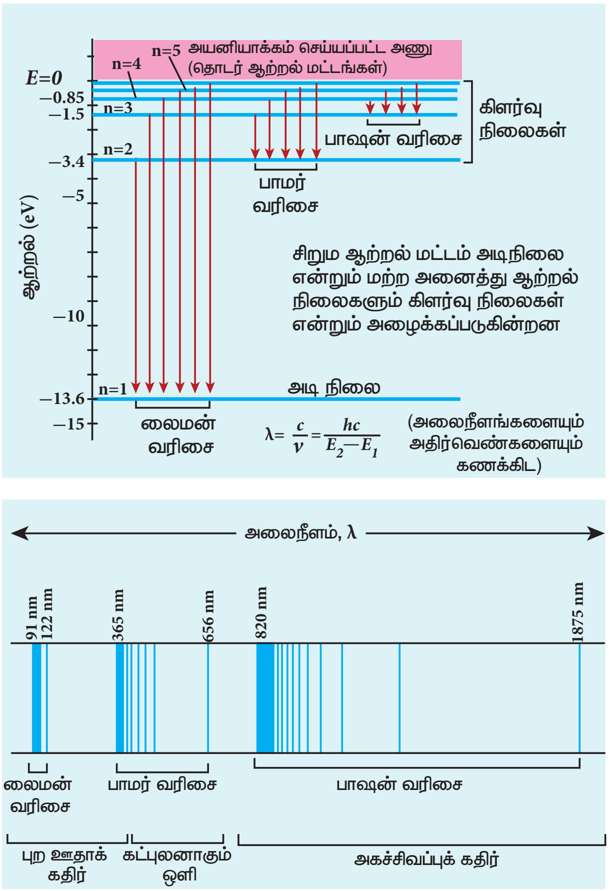


படம் 9.22 ஹைட்ரஜன் நிறமாலை
(அ) ஹைட்ரஜனின் வெளிவிடு நிறமாலை (அலை நீளத்தில்) (ஆ) ஹைட்ரஜனின் உட்கவர் நிறமாலை (அலை நீளத்தில்)

கிளர்வு நிலைகளில் எலக்ட்ரான்களின் ஆயுட்காலம் மிகக் குறைவாக உள்ளதால் (கிட்டத்தட்ட 10^{-8} s), தன்னியல்பு உமிழ்வின் காரணமாக அவை மீண்டும் அடி நிலைக்குத் தாவுகின்றன. எனவே எந்த நிறங்களை, அதாவது

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 161 04-03-2022 16:44:13

அலைநீளங்களை (அல்லது அதிர்வெண்கள்) அவை உட்கவர்வு செய்தனவோ அதே நிறங்களை வெளிவிடுகின்றன (படம் 9.22 (அ) இதையே வெளிவிடு நிறமாலை என்பர். இந்த வரிகளின் அலைநீளங்களை மிகவும் துல்லியமாகக் கண்டறிய முடியும். மேலும் இந்த வெளிவிடு கதிர்வீச்சுகளில் கண்ணுறு நிறமாலையின் அலைநீளங்களை விடக் குறைவாகவோ அதிகமாகவோ உள்ள அலைநீளங்களும் காணப்படுகின்றன.



படம் 9.23 நிறமாலை வரிசை – லைமன், பாமர், பாஷன் வரிசைகள்

ஹைட்ரஜனின் நிறமாலை வரிகள் வெவ்வேறு வரிசைத் தொகுதிகளாக உள்ளதைக் கவனிக்கவும். (படம் 9.23). ஒவ்வொரு வரிசைத் தொகுதியிலும் அலைநீளம் குறையக் குறைய, வரிசையிலுள்ள அடுத்தடுத்த அலைநீளங்களுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவும் குறைகின்றது. மேலும், ஒவ்வொரு வரிசையிலும் அலைநீளங்கள் எல்லை மதிப்பை எட்டுவதைக் காணலாம். இது வரிசை எல்லை என்றழைக்கப்படும். இந்த வரிசைகளுக்கு லைமன் வரிசை, பாமர் வரிசை, பாஷன் வரிசை, பிராக்கெட் வரிசை மற்றும் ஃபண்ட் வரிசை என்று பெயரிடப்பட்டுள்ளன. இந்த வரிசைகளிலுள்ள நிறமாலை வரிகளின் அலைநீளங்கள் போர் அணு மாதிரியின் படி தருவிக்கப்பட்ட சமன்பாடுகளுடன் சரியாக இணங்கி வருகின்றன.

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) = \bar{\nu} \qquad (9.18)$$

இங்கு $\bar{\nu}$ **என்பது அலை எண், அலைநீளத்தின் தலைகீழி**, R என்பது ரிட்பர்க் மாறிலி $1.09737 \times 10^7\ m^{-1}$ மற்றும் m,n ஆகியவை நேர்க்குறி முழுவெண்கள்; மேலும் $m > n$ என்ற நிபந்தனையில் பல்வேறு நிறமாலை தொடர்கள் இங்கே விளக்கப்படுகின்றன:

(அ) லைமன் வரிசை

$n = 1$ மற்றும் $m = 2,3,4.......$ என சமன்பாடு (9.18)–ல் பிரதியிட, லைமன் வரிசையிலுள்ள நிறமாலை வரிகளின் அலை எண் அல்லது அலைநீளங்களைக் கணக்கிடலாம். இவ்வரிகள் புற ஊதாப் பகுதியில் காணப்படுகின்றன.

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

(ஆ) பாமர் வரிசை

$n = 2$ மற்றும் $m = 3,4,5.......$ என சமன்பாடு (9.18)–ல் பிரதியிட, பாமர் வரிசையிலுள்ள நிறமாலை வரிகளின் அலை எண் அல்லது அலைநீளங்களைக் கணக்கிடலாம். இவை கண்ணுறு ஒளிப் பகுதியில் காணப்படுகின்றன.

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

(இ) பாஷன் வரிசை

$n = 3$ மற்றும் $m = 4,5,6.......$ என சமன்பாடு (8,18)–ல் பிரதியிட பாஷன் வரிசையிலுள்ள நிறமாலை வரிகளின் அலை எண் அல்லது அலைநீளங்களைக் கணக்கிடலாம். இவை அருகமை அகச்சிவப்புப் மின்காந்த அலைநீளப்பகுதியில் (near infra– red) அமைந்துள்ளன.

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

(ஈ) பிராக்கெட் வரிசை

$n = 4$ மற்றும் m=5,6,7....... என சமன்பாடு (9.18) பாஷன் பிரதியிட, பிராக்கெட் வரிசையிலுள்ள நிறமாலை வரிகளின் அலை எண் அல்லது அலைநீளங்களைக் கணக்கிடலாம். இவ்வரிகள் அகக்சிவப்பு மின்காந்த அலைநீளப் பகுதியில்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 162 04-03-2022 16:44:15

(அகச்சிவப்பு பகுதியின் மையத்தில் middle infra–red) அமைந்துள்ளன.

$$\overline{v} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

(உ) ஃபண்ட் வரிசை

$n = 5$ மற்றும் $m = 6,7,8$ என சமன்பாட (9.18)–ல் பிரதியிட, ஃபண்ட் வரிசையிலுள்ள நிறமாலை வரிகளின் அலைஎண் அல்லது அலைநீளங்களைக் கணக்கிடலாம். இவ்வரிகளும் அகச்சிவப்புப் மின்காந்த அலைநீளப் பகுதியில் (அதிக அலைநீளம் கொண்ட அகச்சிவப்பு பகுதியில் far infra–red) அமைந்துள்ளன.

$$\overline{v} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

மேற்கூறிய நிறமாலை வரிசைகள் அட்டவணை 9.2–ல் பட்டியல் இடப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 9.2

n	m	வரிசை பெயர்	மின்காந்த பகுதி
1	2,3,4.....	லைமன்	புற ஊதா
2	3,4,5.....	பாமர்	கட்புலனாகும்
3	4,5,6.....	பாஷன்	அகச்சிவப்பு
4	5,6,7......	பிராக்கெட்	அகச்சிவப்பு
5	6,7,8.....	பண்ட்	அகச்சிவப்பு

போர் அணு மாதிரியின் குறைபாடுகள்:

போர் அணு மாதிரியின் குறைபாடுகள் பின்வருமாறு:

(அ) ஹைட்ரஜன் அல்லது ஹைட்ரஜனைப் போன்ற அணுக்களுக்கு மட்டுமே போர் அணு மாதிரி பொருத்தமானது. பிற சிக்கலான அணுக்களுக்கு இது பொருந்துவதில்லை.

(ஆ) ஹைட்ரஜன் நிறமாலையின் வரிகளை உற்றுநோக்கும் போது, ஒவ்வொரு வரியும் பல மங்கலான வரிகளால் ஆனது எனத் தெரிகிறது. இதை நுண்வரியமைப்பு (fine structure) என்பர். போர் கொள்கை இதற்கு விளக்கம் தரவில்லை.

(இ) நிறமாலை வரிகளின் செறிவில் காணப்படும் மாற்றங்களுக்கான விளக்கம் போர் அணு மாதிரியால் தரப்படவில்லை.

(ஈ) அணுக்களில் எலக்ட்ரான்களின் பகிர்வு தொடர்பான முழுமையான விளக்கமும் போர் அணு மாதிரியால் தரப்படவில்லை.

9.4 அணுக்கருக்கள்

அறிமுகம்

முந்தைய பிரிவில் பல்வேறு தொடக்கநிலை அணு மாதிரிகள், ரூதர்போடு ஆல்பா துகள் சிதறல் ஆய்வு மற்றும் போர் அணு மாதிரி ஆகியவற்றைப் பற்றி பார்த்தோம். அணு மற்றும் அணுக்கரு ஆகியவற்றின் அமைப்பைப் புரிந்து கொள்வதற்கு இவை பெரிதும் உதவின. இந்தப் பிரிவில் அணுக்கருவின் பண்புகள் மற்றும் அதன் வகைகளைப் பற்றி விவரிக்கப்பட்டுள்ளது.

9.4.1 அணுக்கருவின் கட்டமைப்பு

அணுவானது தன்னுள்ளே அணுக்கருவையும் அதனைச்சுற்றிஎலக்ட்ரான்களையும்கொண்டுள்ளது. அணுக்கரு புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்களை உள்ளடக்கியது. நியூட்ரான்கள் மின் நடுநிலைத் தன்மை கொண்டவை $(q=0)$; புரோட்டான்கள் நேர் மின்னூட்டம் கொண்டவை $(q=+e)$ அவற்றின் மின்னூட்ட மதிப்பு எலக்ட்ரான்களின் மின்னூட்ட மதிப்புக்குச் $(q=-e)$ சமமாக இருக்கும். **அணுக்கரு ஒன்றிலுள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை அணு எண்** எனப்படும்– அதை Z என்ற குறியீட்டினால் அறியலாம். அணுக்கரு ஒன்றிலுள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை N என்று குறிக்கப்படுகிறது. **அணுக்கருவில் காணப்படும் நியூட்ரான்கள் மற்றும் புரோட்டான்களின் மொத்த எண்ணிக்கை நிறை எண்** எனப்படும். அது A என்று குறிக்கப்படுகிறது. எனவே, $A = Z+N$

அணுக்கருவின் இரண்டு கூறுகள், நியூட்ரான் மற்றும் புரோட்டான்கள், நியூக்ளியான்கள் எனும் பொதுப்பெயரினால் அழைக்கப்படுகின்றன. ஒரு புரோட்டானின் நிறை 1.6726×10^{-27} kg ஆகும். இது எலக்ட்ரானின் நிறையைப்போல் ஏறத்தாழ 1836 மடங்காகும். நியூட்ரானின் நிறை புரோட்டானின் நிறையை விட சற்றே அதிகமானது. அதாவது அதன் நிறை 1.6749×10^{-27} kg.

ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கருவை குறிப்பதற்கு பின்வரும் குறிமுறையைப் பயன்படுத்துகிறோம்.

$$^{A}_{Z}X$$

இங்கு X என்பது தனிமத்தின் வேதிக் குறியீடு, A என்பது நிறை எண் மற்றும் Z என்பது அணு

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 163 04-03-2022 16:44:16

எண். எடுத்துக்காட்டாக நைட்ரஜன் அணுக்கரு $^{15}_{7}N$ என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. இது நைட்ரஜன் அணுக்கருவில் 15 நியூக்ளியான்கள் உள்ளன என்பதை உணர்த்துகிறது. இதில் 7 புரோட்டான்கள் $(Z = 7)$ மற்றும் 8 நியூட்ரான்கள் $(N = A - Z = 8)$ உள்ளன. சில தருணங்களில், Z–ன் மதிப்பு தெரிந்த தனிமத்திற்கு கீழ் இலக்கம் Z ஆனது எழுதப்படாமல் தவிர்க்கப்படுகிறது. உதாரணமாக நைட்ரஜன் அணுக்கருவை ^{15}N (நைட்ரஜன் பதினைந்து என்று கூற வேண்டும்) என்று கூறினால் போதுமானது.

அணுக்கருவில் நேர் மின்னூட்டம் உடைய புரோட்டான்களும் மின் நடுநிலைத் தன்மையுடைய நியூட்ரான்களும் உள்ளதால், அதன் நிகர மின்னூட்டம் நேர்க்குறி கொண்டது மற்றும் அதன் மின்னூட்ட மதிப்பு $+Ze$ ஆகும். ஆனால், அணுவானது மின் நடுநிலைத் தன்மையுடையது, ஆதலால் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகும்.

9.4.2 ஐசோடோப்புகள், ஐசோபார்கள் மற்றும் ஐசோடோன்கள்

ஐசோடோப்புகள்

இயற்கையில், குறிப்பிட்ட ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கள் சம எண்ணிக்கையுள்ள புரோட்டான்களையும், வேறுபட்ட எண்ணிக்கையுள்ள நியூட்ரான்களையும் பெற்றுள்ளதை நாம் அறிவோம். இத்தகைய அணுக்கள் ஐசோடோப்புகள் எனப்படுகின்றன. அதாவது, **சமமான அணு எண் (Z) மற்றும் வேறுபட்ட நிறை எண் (A) கொண்ட ஒரே தனிமத்தின் அணுக்கள்** ஐசோடோப்புகள் எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, ஹைட்ரஜன் அணு மூன்று ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டது, அவை $^{1}_{1}H$ (ஹைட்ரஜன்), $^{2}_{1}H$ (டியூட்டிரியம்) மற்றும் $^{3}_{1}H$ (டிரிட்டியம்) எனக் குறிப்பிடப்படுகின்றன. இவை அனைத்திலும் ஒரேயொரு புரோட்டான் மட்டுமே உள்ளதைக் கவனிக்கவும். ஹைட்ரஜனில் நியூட்ரான்கள் இல்லை, டியூட்டிரியத்தில் ஒரு நியூட்ரானும், டிரிட்டியத்தில் இரண்டு நியூட்ரான்களும் உள்ளன.

குறிப்பிட்ட ஒரு தனிமத்தில் காணப்படும் ஐசோடோப்புகளின் எண்ணிக்கையும் அவற்றின் அளவுகளும் தனிமத்திற்குத் தனிமம் வேறுபடும். எடுத்துக்காட்டாக கார்பன் அணு நான்கு முக்கிய ஐசோடோப்புகள் கொண்டது. $^{11}_{6}C$, $^{12}_{6}C$, $^{13}_{6}C$ மற்றும் $^{14}_{6}C$. ஆனாலும் இயற்கையில் $^{12}_{6}C$ –ன் அளவு 98.9% ஆகவும் $^{13}_{6}C$ –ன் அளவு 1.1% ஆகவும் $^{14}_{6}C$ –ன் அளவு 0.0001% ஆகவும் உள்ளது. மற்ற ஐசோடோப்பான $^{11}_{6}C$ இயற்கையாகத் தோன்றியது அல்ல, ஆய்வுக்கூடங்களில் அணுக்கரு வினைகள் மூலம் அல்லது பிரபஞ்சக்கதிர்கள் (Cosmic rays) மூலம் மட்டுமே அதை உருவாக்க இயலும்.

அணு ஒன்றின் வேதிப்பண்புகள் அதிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை மட்டுமே சார்ந்திருக்கின்றன. தனிமம் ஒன்றின் ஐசோடோப்புகள் ஒரே எலக்ட்ரானிய அமைப்பை கொண்டுள்ளதால், அவை ஒரே மாதிரியான வேதிப்பண்புகளையும் பெற்று விளங்குகின்றன. எனவே, தனிம வரிசை அட்டவணையில் ஐசோடோப்புகள் ஒரே இடத்தில் வைக்கப்படுகின்றன.

ஐசோபார்கள்

ஐசோபார்கள் என்பவை **சமமான நிறை எண் (A) மற்றும் வேறுபட்ட அணு எண் (Z) கொண்ட வெவ்வேறு தனிமங்களின் அணுக்கள்** ஆகும். அதாவது அவை சம நியூக்ளியான் எண்ணிக்கை கொண்ட வெவ்வேறு வேதியத் தனிமங்களின் அணுக்களாகும். எடுத்துக்காட்டாக, $^{40}_{16}S$, $^{40}_{17}Cl$, $^{40}_{18}Ar$, $^{40}_{19}K$ மற்றும் $^{40}_{20}Ca$ ஆகியவை சமமான நிறை எண் 40 மற்றும் வெவ்வேறு அணு எண்களையும் கொண்ட ஐசோபார்கள். ஐசோடோப்புகளைப் போலல்லாமல் ஐசோபார்கள் வெவ்வேறு தனிமங்களின் அணுக்கள் ஆகும். ஆகவே அவை மாறுபட்ட இயற்பியல் மற்றும் வேதிப் பண்புகளைப் பெற்றிருக்கும்.

ஐசோடோன்கள்

சம எண்ணிக்கையில் நியூட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள வெவ்வேறு தனிமங்களின் அணுக்கள் ஐசோடோன்கள் எனப்படும். (எ.கா) $^{12}_{5}B$ மற்றும் $^{13}_{6}C$ இவற்றில் 7 நியூட்ரான்கள் உள்ளன.

9.4.3 அணு நிறையும் அணுக்கரு நிறையும்

அணுக்கருவின் நிறை மிகச் சிறிய மதிப்பு கொண்டதாக உள்ளது. (ஏறத்தாழ 10^{-25} kg அல்லது அதைவிடக் குறைவு). எனவே அதை எழுதும் போது அணு நிறை அலகு (u) என்ற அலகைப் பயன்படுத்துவது எளிதாக இருக்கும். **அணு நிறை அலகு (u) என்பது** இயற்கையாகக் கிடைக்கப் பெறும் கார்பன் ஐசோடோப்புகளில் அதிக அளவில் காணப்படும் $^{12}_{6}C$ **ஐசோடோப்பின் நிறையில் 12 இல் ஒரு பங்கு ஆகும்.** அதாவது,

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 164 04-03-2022 16:44:25

$$1\,u = \frac{{}^{12}_{6}C \text{ அணுவின் நிறை}}{12} = \frac{1.9926\times10^{-26}}{12}\text{kg}$$
$$=1.660\times10^{-27}\text{kg}$$

அணு நிறை அலகில், நியூட்ரானின் நிறை m_N = 1.008665 u, புரோட்டானின் நிறை m_p = 1.007276 u, ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை m_H = 1.007825 u மற்றும் ${}^{12}_{6}C$ –ன் நிறை 12 u. பொதுவாக, நிறையெனப்படுவது அணுக்களின் நிறையேயன்றி அணுக்கருக்களின் நிறை அல்ல. எனவே குறிப்பிட்ட அணுக்கருவின் நிறையைக் காண அதன் அணுக்களின் நிறையிலிருந்து எலக்ட்ரான்களின் நிறையைக் கழிக்க வேண்டும். அணுக்களின் நிறையை செய்முறை ஆய்வின் மூலம் கண்டறிய பெயின்பிரிட்ஜ் நிறைமாலைமானி என்ற கருவி பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஐசோடோப்புகளின் விளைவுகளைக் கருத்தில் கொள்ளாமல் தனிமத்தின் அணு நிறையைக் கண்டறிந்தோம் என்றால் அதிலுள்ள ஐசோடோப்புகளின் அளவுகளுக்கு (abundance) ஏற்ப கணக்கிடப்பட்ட சராசரி அணு நிறையே நமக்குக் கிடைக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு 9.6

குளோரினின் பல்வேறு ஐசோடோப்புகளுக்கு இடையே வேறுபாடுகள் இல்லையெனில், அவற்றின் சராசரி அணு நிறையைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

குளோரின் தனிமமானது 75.77% ${}^{35}_{17}Cl$ மற்றும் 24.23% ${}^{37}_{17}Cl$ ஆகியவற்றின் கலவையே. எனவே, அதன் சராசரி அணுநிறை

$$\frac{75.77}{100}\times34.96885u+\frac{24.23}{100}\times36.96593u$$
$$=35.453u$$

ஒரு தனிமத்தின் இந்த சராசரி அணுநிறை அல்லது வேதிய அணு எடை (குளோரினுக்கு இதன் மதிப்பு 35.453u) மதிப்புகளையே வேதியியலாளர்கள் (Chemists) பயன்படுத்துகின்றனர். எனவே, தனிம வரிசை அட்டவணையில் குறிப்பிடப்பட்டுள்ள அணு நிறை மதிப்புகள் இவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட சராசரி அணுநிறை மதிப்புகளே என்பதைக் கருத்தில் கொள்ளவும்.

9.4.4 அணுக்கருவின் அளவும் அதன் அடர்த்தியும்:

ஆல்பா துகள் சிதறல் ஆய்வு உள்ளிட்ட பலவிதமான செய்முறைகளைப் பயன்படுத்தி பல அணுக்கருக்களின் மீது வெவ்வேறு ஆய்வுகள் நடத்தப்பட்டுள்ளன. அவற்றில் இருந்து, அணுக்கருவானது கிட்டத்தட்ட கோள வடிவிலானது என்று தெரிகிறது. மேலும் செய்முறை ஆய்வுகளின் அடிப்படையில் $Z>10$ கொண்ட அணுக்கருக்களுக்கு அவற்றின் ஆரம் R ஆனது

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \qquad (9.19)$$

என்ற வாய்ப்பாடு சோதனை (empirically) மூலம் பெறப்பட்டுள்ளது. இங்கு A என்பது அணுக்கருவின் நிறை எண் மற்றும் R_0 = 1.2 F (1 F = 1 × 10^{-15}m). இங்கு F என்ற அலகு என்றிகோ பெர்மி என்பாரின் நினைவாக இடப்பட்டது ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 9.7

${}^{197}_{79}Au$ அணுக்கருவின் ஆரத்தைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

சமன்பாடு (9.19)–ன் படி,

$$R=1.2\times10^{-15}\times(197)^{\frac{1}{3}}=6.97\times10^{-15}m$$

அல்லது R = 6.97 F

எடுத்துக்காட்டு 9.8

நிறை எண் A கொண்ட அணுக்கருவின் அடர்த்தியைக் கணக்கிடுக.

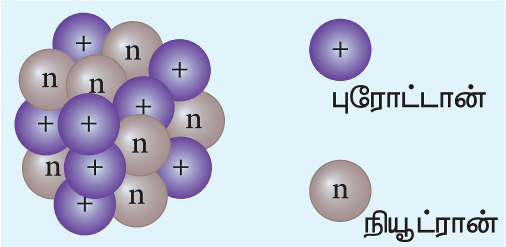
தீர்வு

சமன்பாடு (9.19)ன் படி, அணுக்கருவின் ஆரத்திற்கான சமன்பாடு $R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$ எனில், அணுக்கருவின் பருமன்

$$V=\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{4}{3}\pi R_0^3 A$$

புரோட்டானுக்கும் நியூட்ரானுக்கும் இடையேயுள்ள நிறை வேறுபாட்டைப் புறக்கணித்தால், நிறை எண் A கொண்ட அணுக்கருவின் நிறை $A.m$, இங்கு m என்பது புரோட்டானின் நிறை = 1.6726 × 10^{-27} kg.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 165 04-03-2022 16:44:28



அணுக்கருவின் அடர்த்தி

$$\rho = \frac{\text{அணுக்கருவின் நிறை}}{\text{அணுக்கருவின் பருமன்}} = \frac{A.m}{\frac{4}{3}\pi R_0^3 A} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R_0^3}$$

இந்த கோவையைக் கவனிக்கவும்: அணுக்கரு அடர்த்தி நிறை எண்ணைச் சார்ந்ததல்ல. அதாவது அனைத்து அணுக்கருக்களும் ($Z > 10$) ஒரே அடர்த்தியை உடையன. இது அணுக்கருவின் முக்கியமான பண்புகளில் இதுவும் ஒன்று.

கோவையில் உள்ள குறியீடுகளுக்கு மதிப்புகளைப் பிரதியிட, அணுக்கரு அடர்த்தியின் மதிப்பு

$$\rho = \frac{1.67\times10^{-27}}{\frac{4}{3}\pi\times(1.2\times10^{-15})^3} = 2.3\times10^{17}\,\text{kg m}^{-3}.$$

அணுக்கருவிலுள்ள நியூக்ளியான்கள் மிகவும் இறுகத் திணிக்கப்பட்ட நிலையில் இருக்கின்றன என்பதை இந்த மதிப்பு காட்டுகிறது. மேலும் இந்த அடர்த்தியின் மதிப்பை தண்ணீரின் அடர்த்தியுடன் (10^3 kg m^{-3}) ஒப்பிட்டுப் பார்க்கவும்.

உங்களுக்குத் தெரியுமா?

ஒரேயொரு தேக்கரண்டி அளவு அணுக்கருவின் பருப்பொருளின் நிறையானது கிட்டத்தட்ட டிரில்லியன் டன்களுக்குச் சமமாகும்.

9.4.5 நிறை குறைபாடும் பிணைப்பு ஆற்றலும்

எந்தவொரு அணுக்கருவின் நிறையும் அதிலுள்ள நியூக்ளியான் நிறைகளின் கூட்டுத்தொகையை விட குறைவாக உள்ளது என்று ஆய்வுகளின் மூலம் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, கார்பன்–12 அணுக்கருவானது 6 புரோட்டான்களையும் 6 நியூட்ரான்களையும் கொண்டது.

6 நியூட்ரான்களின் நிறை =

$$6\times1.00866\,u = 6.05196\,u$$

6 புரோட்டான்களின் நிறை =

$$6\times1.00727\,u = 6.04362\,u$$

6 எலக்ட்ரான்களின் நிறை =

$$6\times0.00055\,u = 0.0033\,u$$

எனவே, கார்பன்–12 அணுக்கருவின் எதிர்ப்பார்க்கப்படும் நிறை =

$$6.05196\,u + 6.04362\,u = 12.09558\,u$$

ஆனால், நிறைமாலைமானியைக் கொண்டு கண்டறியப்பட்ட கார்பன்–12 அணுவின் நிறை = 12 u. இதிலிருந்து 6 எலக்ட்ரான்களின் நிறையை (0.0033 u) கழித்தால், கார்பன்–12–ன் அணுக்கரு நிறை =11.9967 u. இங்கு ஆய்வுகளின் அடிப்படையில் கண்டறியப்பட்ட கார்பன்–12 அணுக்கரு நிறையானது, அதிலுள்ள நியூக்ளியான் நிறைகளின் கூட்டுத்தொகையை விட $\Delta m = 0.09888\,u$ அளவு குறைவாக உள்ளதைக் கவனிக்கவும். இந்த நிறை வேறுபாடு Δm ஆனது நிறை குறைபாடு அல்லது நிறை இழப்பு என்றழைக்கப்படும். பொதுவாக, M, m_p மற்றும் m_n ஆகிய குறியீடுகள் முறையே ${}^A_Z X$ –அணுக்கருவின் நிறை, புரோட்டானின் நிறை மற்றும் நியூட்ரானின் நிறை ஆகியவற்றைக் குறிக்கின்றன எனில், நிறை குறைபாடு

$$\Delta m = \left(Zm_p + Nm_n\right) - M \quad (9.20)$$

இந்த நிறை எங்கே மறைந்தது? இந்தக் கேள்விக்கான விளக்கம் ஐன்ஸ்டீனின் நிறை–ஆற்றல் சமன்பாட்டின் $(E = mc^2)$ மூலம் தரப்படுகிறது. இந்த சமன்பாட்டின்படி, நிறையை ஆற்றலாகவும், ஆற்றலை நிறையாகவும் மாற்ற முடியும்.கார்பன்–12அணுக்கருவைப்பொறுத்தவரை 6 புரோட்டான்களும் 6 நியூட்ரான்களும் இணைந்து கார்பன்–12 அணுக்கருவாகும்போது, இந்த நிறை குறைபாட்டிற்குச் சமமான நிறை Δm மறைந்து, அதுவே ஆற்றலாக வெளிப்பட்டுள்ளது. இந்த ஆற்றல் பிணைப்பு ஆற்றல் (B.E) என்று அழைக்கப்படுகிறது மற்றும் அது $(\Delta m)c^2$ க்கு சமமாகும். உண்மையில், கார்பன்–12 அணுக்கருவை தனித்தனி நியூக்ளியான்களாகப் பிரிப்பதற்கு இப்பிணைப்பு ஆற்றலுக்குச் சமமான ஆற்றலை நாம் அளிக்க வேண்டும்.

பிணைப்பு ஆற்றலின் அடிப்படையில் சமன்பாடு (9.20) ஆனது பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது.

$$BE = \left(Zm_p + Nm_n - M\right)c^2 \quad (9.21)$$

அணுக்கரு நிறையை விட அணு நிறையைப் பயன்படுத்துவது வசதியாகக் கருதப்படுகிறது.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 166 04-03-2022 16:44:32

எனவே சமன்பாடு (9.21)–ல் Z எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்களின் நிறையைக் கூட்டி பிறகு கழிக்கும் போது,

$$BE = \left(Zm_p + Zm_e + Nm_n - M - Zm_e\right)c^2 \quad (9.22)$$

$$BE = \left[Z\left(m_p + m_e\right) + Nm_n - M - Zm_e\right]c^2$$

இங்கு $m_p + m_e = m_H$ (ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை)

$$BE = \left[Zm_H + Nm_n - (M + Zm_e)\right]c^2 \quad (9.23)$$

இங்கு $M + Zm_e = M_A$ அதாவது, M_A என்பது ^A_ZX தனிமத்தின் அணுவின் நிறையாகும்.

இறுதியாக, அணு நிறைகளின் அடிப்படையில், பிணைப்பு ஆற்றல்

$$BE = \left[Zm_H + Nm_n - M_A\right]c^2 \quad (9.24)$$

குறிப்பு

ஐன்ஸ்டீனின் நிறை–ஆற்றல் சமத்தன்மையைப் பயன்படுத்தி ஒரு அணு நிறை அலகிற்குச் சமமான ஆற்றல் வருமாறு $1u = 1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$ $= 14.94 \times 10^{-11} J \approx 931 MeV$ ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 9.9

பின்வரும் தகவல்களைப் பயன்படுத்தி ^4_2He அணுக்கருவின் பிணைப்பு ஆற்றலைக் கணக்கிடுக: ஹீலியம் அணுவின் அணு நிறை $M_A(He) = 4.00260u$ மற்றும் ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை $m_H = 1.00785u$.

தீர்வு:

பிணைப்பு ஆற்றல் $BE = \left[Zm_H + Nm_n - M_A\right]c^2$

ஹீலியம் அணுவிற்கு $Z = 2, N = A - Z = 4 - 2 = 2$

நிறை குறைபாடு

$$\Delta m = \left[(2 \times 1.00785u) + (2 \times 1.008665u) - 4.00260u\right] \Delta m = 0.03043u$$

$$B.E = 0.03043u \times c^2$$

$$B.E = 0.03043 \times 931 MeV = 28.33 MeV$$

$$\left[\because 1\, uc^2 = 931 MeV\right]$$

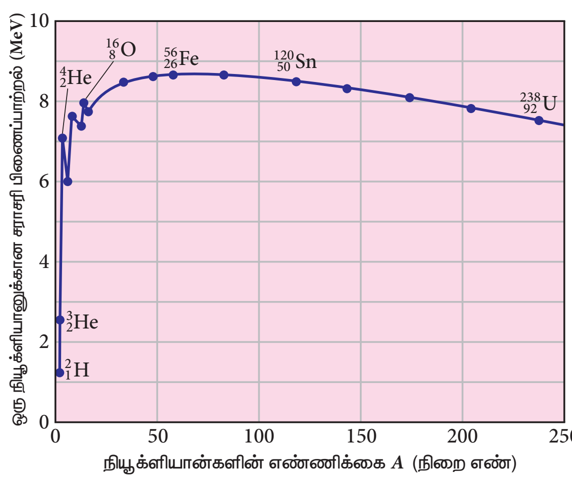
^4_2He அணுக்கருவின் பிணைப்பு ஆற்றல் 28.33 MeV.

9.4.6 பிணைப்பு ஆற்றல் வளைகோடு:

முந்தைய பிரிவில் பிணைப்பு ஆற்றலின் தோற்றம் குறித்து பார்த்தோம். இப்போது ஒரு நியூக்ளியானுக்கான சராசரி பிணைப்பாற்றலைக் $\overline{BE}$ கணக்கிடுவோம்.

$$\overline{BE} = \frac{\left[Zm_H + Nm_n - M_A\right]c^2}{A} \quad (9.25)$$

ஒரு நியூக்ளியானுக்கான சராசரி பிணைப்பாற்றல் என்பது **அணுக்கரு ஒன்றிலிருந்து ஒரு நியூக்ளியானை வெளியேற்றத் தேவைப்படும் சராசரி ஆற்றலாகும்.** அனைத்து அறியப்பட்ட அணுக்கருக்களின் நிறையெண் (A) மதிப்புகளை x–அச்சிலும் அவற்றின் $\overline{BE}$ மதிப்புகளை y–அச்சிலும் வைத்து வரைபடம் வரைந்தால், படம் 9.24–ல் உள்ளது போன்ற வளைகோடு நமக்குக் கிடைக்கின்றது.



படம் 9.24 நியூக்ளியான்களின் சராசரி பிணைப்பாற்றல் வரைபடம்

சராசரி பிணைப்பாற்றல் வளைகோடு தொடர்பான சில முக்கிய குறிப்புகள்:

(1) நிறையெண்ணின் மதிப்பு கூடக்கூட $\overline{BE}$ –ன் மதிப்பு அதிகரித்து, A=56 (இரும்பு) அணுக்கருவிற்கு அதன் பெரும மதிப்பை, அதாவது 8.8 MeV அடைந்து, அதன் பிறகு மெதுவாகக் குறைகிறது.

(2) நிறை எண் $A = 40$ இலிருந்து 120 வரையிலான அணுக்கருக்களின் ஒரு நியூக்ளியானுக்கான சராசரி பிணைப்பாற்றல் $\overline{BE}$ மதிப்பு 8.5 MeV.

பிற தனிமங்களுடன் ஒப்பிடும்போது இந்த தனிமங்கள் அதிக நிலைத்தன்மையுடனும் கதிரியக்கத்தன்மை இல்லாமலும் உள்ளன. பிற அதிக நிறை எண் தனிமங்களுக்கு, $\overline{BE}$ இன் மதிப்பு மெதுவாகக் குறைந்து கொண்டே வருகிறது; யுரேனியத்தின் $\overline{BE}$ மதிப்பு 7.6 MeV. நிலைத்தன்மை இல்லாத இத்தனிமங்கள் கதிரியக்கத் தன்மையோடு உள்ளன.

(3) $A<28$ கொண்ட இரு இலேசான அணுக்கருக்களைச் சேர்த்து $A<56$ கொண்ட ஒரு அணுக்கருவை உருவாக்கும்போது படம் 9.24–ன் படி, இறுதி அணுக்கருவின் $\overline{BE}$ மதிப்பு தொடக்க அணுக்கருவின் மதிப்பை விட அதிகமாக உள்ளதைக் காணலாம். எனவே, இரு இலேசான தனிமங்களை இணைவு செய்து அதன் மூலம் ஒரு இடைநிலை A மதிப்புடைய தனிம அணுக்கருவை உருவாக்கும்போது, ஏராளமான ஆற்றல் வெளிப்படுகின்றது. இதுவே அணுக்கரு இணைவு (nuclear fusion) என்ற நிகழ்விற்கான அடிப்படையாகவும் ஹைட்ரஜன் குண்டின் தத்துவமாகவும் விளங்குகிறது.

(4) கனமான தனிமத்தின் அணுக்கருவைப் பிளவு (fission) செய்து இரண்டு அல்லது அதற்கு மேலான, இடைநிலை A மதிப்புடைய அணுக்கருக்களை உருவாக்கும்போதும் ஏராளமான ஆற்றல் வெளிப்படுகின்றனது. அணு குண்டின் தத்துவமாக இது விளங்குகிறது. மேலும், கட்டுப்பாடற்ற அணுக்கரு பிளவு ஏற்படும்போதுதான் அணு குண்டிலிருந்து ஏராளமான ஆற்றல் வெளிப்படுகின்றது.

எடுத்துக்காட்டு 9.10

${}^{4}_{2}He$ அணுக்கருவின் ஒரு நியூக்ளியானுக்கான பிணைப்பாற்றலைக் கணக்கிடு.

தீர்வு

எடுத்துக்காட்டு 9.9 லிருந்து ${}^{4}_{2}He$–ன் BE = 28.33 MeV

ஒரு நியூக்ளியானுக்கான பிணைப்பாற்றல் = $\overline{B.E}$ = 28.33 MeV/4 ≈ 7 MeV.

9.5 அணுக்கரு விசை

அணுக்கருவானது புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் உள்ளடக்கியது. ஆனால், நிலைமின்னியலில், ஓரின மின்துகள்கள் ஒன்றையொன்று விலக்கும் என்பதையும் பார்த்தோம். அணுக்கருவினுள் உள்ள புரோட்டான்கள் ஒரு சில பெர்மி $(10^{-15}m)$ அளவேயுள்ள (மிக நெருங்கிய) தொலைவுகளால் பிரிக்கப்பட்டுள்ளதால், அவற்றிற்கிடையே மிக வலிமையான விலக்கு விசை இருத்தல் வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக $10^{-15}m$ இடைவெளியில் உள்ள புரோட்டான்களுக்கு இடையேவுள்ள நிலைமின்னியல் விலக்கு விசை,

$$F = k \times \frac{q^2}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{\left(1.6\times10^{-19}\right)^2}{\left(10^{-15}\right)^2} \approx 230N$$

இவ்விசையால் (230N) ஒரு புரோட்டான் அடையும் முடுக்கம்

$$a = \frac{F}{m} = \frac{230N}{1.67\times10^{-27}kg} \approx 1.4\times10^{29}\,m\,s^{-2}.$$

இது புவியின் ஈர்ப்பு முடுக்கத்தைக் (g) காட்டிலும் கிட்டதட்ட 10^{28} மடங்கு அதிகமாகும். ஆகவே, அணுக்கருவினுள் உள்ள புரோட்டான்கள் இந்த நிலைமின்னியல் விசையை மட்டுமே உணர்வதாகக் கொண்டால், மிகவிரைவிலேயே அந்த அணுக்கரு சிதறிப் போயிருக்க வேண்டும். அப்படியெனில் புரோட்டான்களை அணுக்கருவினுள் வைத்திருப்பது எது?

இதன் மூலம் புரோட்டான்களுக்கு இடையே கூலூம் விலக்கு விசையை விட வலிமையான கவர்வு விசை ஒன்று செயல்பட வேண்டும் என்பது தெளிவாகிறது. (சிதறிப்போகாமல்) அணுக்கருவைப் பிணைத்து வைத்திருக்கும் இந்த கவர்வு விசையை வலிமையான அணுக்கரு விசை என்பர். 1930கள் தொடங்கி 1950கள் வரை மேற்கொள்ளப்பட்ட பல்வேறு சோதனைகளின் மூலம் இந்த அணுக்கரு விசையின் பண்புகள் அறியப்பட்டன. அவற்றுள் சிலவற்றை இங்கே காண்போம்.

(i) அணுக்கரு விசை மிகவும் குறுகிய எல்லைக்குள் செயல்படக்கூடியது; ஒரு சில பெர்மி தொலைவு வரை மட்டுமே அது செயல்படுகிறது. அணுக்கருவினுள் இரு புரோட்டான்களுக்கு இடையே செயல்படும் கூலூம் விலக்கு விசை மற்றும் ஈர்ப்பு விசைகள் மிகவும் வலிமை குறைந்தவை. அதேபோல், இரு நியூட்ரான்களுக்கு இடையே நிலவும் ஈர்ப்பு விசையும் கூட அவை இரண்டிற்கும் இடையேயான அணுக்கரு விசையை விட மிகவும் வலிமை குறைந்தது. எனவே,

இயற்கையிலேயே மிகவும் வலிமையானது அணுக்கரு விசையே ஆகும்.

(ii) அணுக்கரு விசை ஒரு கவர்வு விசையாகும்; மேலும் புரோட்டான்– புரோட்டான், புரோட்டான்– நியூட்ரான் மற்றும் நியூட்ரான்– நியூட்ரான் இவற்றிற்கு இடையே அவ்விசை சம வலிமையுடன் (மதிப்புடன்) செயல்படுகின்றது.

(iii) அணுக்கரு விசை எலக்ட்ரான்களின் மீது செயல்படுவதில்லை. எனவே, அது அணுவின் வேதியியல் பண்புகளை மாற்றியமைப்பதில்லை.

9.6 கதிரியக்கம்

பிணைப்பாற்றல் வளைகோட்டில் $Z > 82$ கொண்ட அணுக்கருக்களின் நிலைத்தன்மை குறைவதைக் காணலாம். மேலும் அவை நிலைத்தன்மை அற்ற அணுக்கருக்கள் என்றழைக்கப்படுகின்றன. அவற்றுள் சில அணுக்கருக்கள் இயற்கையாகச் சிதைந்து, சில வகைத் துகள்களை வெளிவிடுவதன் மூலம் நிலைத்தன்மை பெறுகின்றன. அணு எண் $Z > 82$ கொண்ட தனிமங்களும் இயற்கையில் காணப்படும் கதிரியக்கப் பொருள்களாகும். இந்த கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் ${}^{4}_{2}He$ அணுக்கருவையோ ($\alpha -$ சிதைவு) அல்லது எல்க்ட்ரான்/ பாசிட்ரானையோ ($\beta -$ சிதைவு) அல்லது காமா கதிர்களையோ ($\gamma -$ சிதைவு) வெளிவிடுவதன் மூலம் நிலைத்தன்மை பெறுகின்றன.

ஒரு தனிமத்திலிருந்து அதிக ஊடுருவு திறன் கொண்ட கதிர்வீச்சுகளான α, β மற்றும் γ கதிர்கள் தன்னிச்சையாக உமிழப்படும் நிகழ்வு கதிரியக்கம் எனப்படும்; மேலும், இத்தகைய கதிர்வீச்சுகளை உமிழும் தனிமங்கள் கதிரியக்கத் தனிமங்கள் எனப்படும். இவை கனமான தனிமங்களாகவோ $Z > 82$, இலேசான மற்றும் கனமான தனிமங்களின் ஐசோடோப்புகளாகவோ உள்ளன. இவற்றுக்கு கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் என்று பெயர். எடுத்துக்காட்டாக, கார்பனின் ஐசோடோப்பான ${}^{14}_{6}C$ கதிரியக்கத் தன்மை கொண்டது. ஆனால் ${}^{12}_{6}C$ அத்தன்மை கொண்டதல்ல.

கார்பன் காலக்கணிப்பு, புற்றுநோய் சிகிச்சை உள்ளிட்ட பல்வேறு பயன்பாடுகளில் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் உதவுகின்றன. ஒரு கதிரியக்க அணுக்கரு சிதைவுறும் போது அவ்வமைப்பின் நிறை குறைகிறது. அதாவது, சிதைவுக்கு முன் தொடக்க அணுக்கருவின் நிறையானது இறுதி அணுக்கருவின் நிறை மற்றும் உமிழப்படும் துகளின் நிறை ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகையை விட அதிகமாக இருக்கும். இந்த நிறை வேறுபாடானது, அதாவது Δm, (ஐன்ஸ்டீனின் $E = |\Delta m| c^2$ சமன்பாட்டின்படி) ஆற்றலாகத் தோன்றுகிறது.

கதிரியக்கச் செயல்பாட்டை 1896–ஆம் ஆண்டில் முதன்முதலாகக் கண்டறிந்தவர் ஹென்றி பெக்காரல் ஆவார். பின்னர் மேரி கியூரியும் அவரது கணவர் பியர் கியூரியும் மேற்கொண்ட தொடர் ஆய்வுகள் கதிரியக்க நிகழ்வினைப் புரிந்து கொள்ளப் பெரிதும் உதவின. இந்தியாவில் கொல்கத்தாவிலுள்ள 'அணுக்கரு இயற்பியலுக்கான சாஹா (Saha) நிறுவனம் (SINP)' என்றழைக்கப்படும் கல்வி நிறுவனம் அணுக்கரு இயற்பியல் துறையில் உயிர்ப்பான ஆராய்ச்சிகளை மேற்கொண்டு வரும் முதன்மையான ஆராய்ச்சி நிறுவனமாகும்.

குறிப்பு

அணுக்கரு இயற்பியல் ஆராய்ச்சியின் தொடக்க காலங்களில் கதிர்வீச்சு என்ற சொல் கதிரியக்க அணுக்கருக்களில் இருந்து வெளிவரும் உமிழ்வுகளைக் குறிப்பிடுவதற்காகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வந்தது. α–கதிர்கள் உண்மையில் ${}^{4}_{2}He$ அணுக்கருக்கள் என்பதையும் β–கதிர்கள் எலக்ட்ரான்கள் என்பதையும் இப்போது நாம் அறிவோம். கண்டிப்பாக அவை மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகள் அல்ல. எனவே, γ–கதிர் மட்டுமே மின்காந்தக் கதிர்வீச்சாகும்.

9.6.1 ஆல்பா சிதைவு (Alpha decay):

நிலைத்தன்மையற்ற அணுக்கரு ஒன்று α–துகளை (${}^{4}_{2}He$ அணுக்கரு) வெளியிடும்போது, அது இரு புரோட்டான்களையும் இரு நியூட்ரான்களையும் இழக்கின்றது. இதன் விளைவாக, அதன் அணு எண் மதிப்பில் (Z) இரண்டும், நிறை எண் மதிப்பில் (A) நான்கும் குறையும். α–சிதைவைப் பின்வரும் முறையில் குறிப்பிடலாம்.

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad (9.26)$$

இங்கு X என்பது தாய் அணுக்கரு என்றும் Y என்பது சேய் அணுக்கரு என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

எடுத்துக்காட்டு: ${}^{4}_{2}He$ அணுக்கருவை (α-துகள்) உமிழ்வதன் மூலம் யுரேனியம் ${}^{238}_{92}U$ தோரியமாக ${}^{234}_{90}Th$ சிதைவுறுதல்.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 169 04-03-2022 16:44:51

$^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$

ஏற்கனவே கூறப்பட்டுள்ளதைப் போன்றே, சேய் அணுக்கரு மற்றும் $^{4}_{2}He$ அணுக்கரு ஆகியவற்றின் மொத்த நிறையானது தாய் அணுக்கருவின் நிறையை விடக் குறைவாக இருக்கும். நிறையில் காணப்படும் வேறுபாடு $(\Delta m = m_X - m_Y - m_\alpha)$ ஆற்றலாக வெளிப்படுகின்றது; இந்த ஆற்றலுக்கு சிதைவு ஆற்றல் Q என்று பெயர். மேலும்,

$$Q = (m_X - m_Y - m_\alpha)c^2 \qquad (9.27)$$

குறிப்பு

ஆல்பா சிதைவின் போது, நிலைத்தன்மையற்ற அணுக்கருவானது ஏன் $^{4}_{2}He$ அணுக்கருவை வெளிவிடுகின்றது? அது ஏன் நான்கு தனித்தனி நியூக்ளியான்களை வெளிவிடுவதில்லை? ஏனெனில் $^{4}_{2}He$ –இலும் இரண்டு புரோட்டான்களும் இரண்டு நியூட்ரான்களும் அல்லவா உள்ளன. இதன் காரணத்தை பின்வருமாறு விளக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக $^{238}_{92}U$ அணுக்கருவானது நான்கு தனித்தனி நியூக்ளியான்களை (இரண்டு புரோட்டான்கள் மற்றும் இரண்டு நியூட்ரான்கள்) வெளியிடுவதன் மூலம் $^{234}_{90}Th$ அணுக்கருவாகச் சிதைவுற்றால், இந்நிகழ்வின் சிதைவு ஆற்றல் Q எதிர்க்குறி கொண்டதாக இருக்க வேண்டும். ஆல்பா சிதைவிற்கு பிறகு உண்டாகும் விளைவுப் பொருள்களின் மொத்த நிறையானது, தாய் அணுக்கருவின் $(^{238}_{92}U)$ நிறையை விட அதிகமாக இருக்கும் என்பதை இது காட்டுகிறது. ஆற்றல் மாறா விதியை இது மீறும் என்பதால் இத்தகைய நிகழ்வு இயற்கையில் ஏற்படாது. எந்தவொரு சிதைவு நிகழ்வும் ஆற்றல் மாறா விதி, நேர்க்கோட்டு உந்தம் மாறா விதி மற்றும் கோண உந்த மாறா விதி ஆகியவற்றுக்கு உட்பட்டு இருக்க வேண்டும்.

தன்னியல்பு (spontaneous) சிதைவுக்கு (இயற்கைக் கதிரியக்கம்) $Q > 0$ என்பதைக் கவனிக்கவும். ஆல்பா சிதைவு நிகழ்வில், சிதைவு ஆற்றலின் மதிப்பு நேர்க்குறி $Q > 0$ உடையது என்பது தெளிவு. உண்மையில், சிதைவு ஆற்றல் Q என்பது சிதைவு நிகழ்வின்போது பெறப்படும் நிகர இயக்க ஆற்றலே அல்லது சிதைவுக்கு முன் தாய் அணுக்கரு ஓய்வு நிலையில் இருப்பின், Q என்பது சேய் அணுக்கரு மற்றும் $^{4}_{2}He$ அணுக்கரு ஆகியவற்றின் மொத்த இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமாகும். $Q < 0$ எனில், சிதைவு நிகழ்வு தன்னிச்சையாக நிகழாது; அப்போது சிதைவைத் தூண்டுவதற்கு ஆற்றல் அளிக்கப்பட வேண்டும்.

எடுத்துக்காட்டு 9.11

(அ) ஓய்வு நிலையிலுள்ள $^{232}_{92}U$ அணுக்கருவானது α–துகளை வெளிவிடுவதன் மூலம் $^{228}_{90}Th$ அணுக்கருவாக சிதையும் நிகழ்வில் சிதைவு ஆற்றலைக் கணக்கிடுக. அணுநிறைகள் பின்வருமாறு: $^{232}_{92}U = 232.037156u$, $^{228}_{90}Th = 228.028741u$, $^{4}_{2}He = 4.002603u$

(ஆ) $^{228}_{90}Th$ மற்றும் α–துகள் ஆகியவற்றின் இயக்க ஆற்றல் மற்றும் அவற்றின் தகவு ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு.

தீர்வு

நிறை குறைபாடு $\Delta m = (m_U - m_{Th} - m_\alpha)$

= (232.037156–228.028741 – 4.002603)u

இச்சிதைவின் போது ஏற்படும் நிறை இழப்பு = 0.005812 u

$1u = 931 MeV$, ஆதலால், வெளிவிடப்படும் ஆற்றல்

$$Q = (0.005812u) \times (931 MeV/u)$$
$$= 5.41 MeV$$

இச்சிதைவு ஆற்றல் Q வானது, α–துகள் மற்றும் சேய் அணுக்கரு ஆகியவற்றின் இயக்க ஆற்றலாகத் தோன்றுகிறது.

(அ) எந்தவொரு சிதைவு நிகழ்விலும் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் மாறாமல் இருக்க வேண்டும்.

தாய் அணுக்கருவின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம்= சேய் அணுக்கரு மற்றும் α–துகளின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம். இந்த நேர்வில், சிதைவுக்கு முன் யுரேனியம் அணுக்கரு ஓய்வுநிலையில் இருப்பதால், அதன் நேர்க்கோட்டு உந்தம் சுழியாகும்.

உந்தம் மாறா விதியின் படி,

$$0 = m_{Th}\vec{v}_{Th} + m_\alpha \vec{v}_\alpha$$

$$m_\alpha \vec{v}_\alpha = -m_{Th}\vec{v}_{Th}$$

α–துகளும் சேய் அணுக்கருவும் எதிரெதிர் திசையில் செல்கின்றன என்பதை இது காட்டுகிறது.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 170 04-03-2022 16:44:59

$m_\alpha \upsilon_\alpha = m_{Th}\upsilon_{Th}$ (எண்மதிப்பில்,)

α–துகளின் வேகம் $\upsilon_\alpha = \dfrac{m_{Th}}{m_\alpha}\upsilon_{Th}$

இங்கு $m_{Th} > m_\alpha$. ஆகையால் $\upsilon_\alpha > \upsilon_{Th}$. மேலும்

α–துகள் மற்றும் சேய் அணுக்கரு இவ்விரண்டின் இயக்க ஆற்றல் தகவு

$$\frac{K.E_\alpha}{K.E_{Th}} = \frac{\frac{1}{2} m_\alpha \upsilon^2{}_\alpha}{\frac{1}{2} m_{Th} \upsilon^2{}_{Th}}$$

மேலேயுள்ள சமன்பாட்டில் υ_α ஐப் பிரதியிட,

$$\frac{K.E_\alpha}{K.E_{Th}} = \frac{m_{Th}}{m_\alpha} = \frac{228.02871}{4.002603} = 57$$

α–துகளின் இயக்க ஆற்றல் சேய் அணுக்கருவின் $({}^{228}_{90}Th)$ இயக்க ஆற்றலை விட 57 மடங்கு அதிகம்.

சிதைவு ஆற்றல் Q = விளைவுப் பொருள்களின் மொத்த இயக்க அற்றல்

$$K.E_\alpha + K.E_{Th} = 5.41\,MeV$$

$$57K.E_{Th} + K.E_{Th} = 5.41MeV$$

$$K.E_{Th} = \frac{5.41}{58}MeV = 0.093MeV$$

$$K.E_\alpha = 57K.E_{Th} = 57 \times 0.093 = 5.301\,MeV$$

மொத்த இயக்க ஆற்றலில் கிட்டத்தட்ட 98% அளவு α துகளால் எடுத்துக்கொள்ளப் படுகிறது.

9.6.2 பீட்டா சிதைவு (Beta decay)

பீட்டா சிதைவின் போது, கதிரியக்க அணுக்கரு எலக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரானை வெளிவிடுகிறது. எலக்ட்ரான் (e^-) வெளியிடப்பட்டால் β^- சிதைவு என்றும், பாசிட்ரான் (e^+) வெளியிடப்பட்டால் β^+ சிதைவு என்றும் அழைக்கப்படும். பாசிட்ரான் என்பது எலக்ட்ரான் நிறையும் மற்றும் $+e$ மின்னூட்டமும் கொண்ட எலக்ட்ரானின் எதிர்த்துகள் ஆகும். பாசிட்ரான் மற்றும் எலக்ட்ரான் இவ்விரண்டுமே பீட்டா துகள்கள் எனக் குறிப்பிடப்படுகின்றன.

β^- சிதைவு

β^- சிதைவில் அணுக்கருவின் நிறையெண் மதிப்பு மாறாத நிலையில் அதன் அணு எண் மதிப்பு ஒன்று அதிகரிக்கும். இச்சிதைவினை பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்:

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu} \qquad (9.28)$$

அணுக்கரு X ஒரு எலக்ட்ரானையும் ஒரு எதிர் நியூட்ரினோவையும் (anti–neutrino) வெளியிடுவதனால் Y ஆக மாறுகின்றது. அதாவது, ஒவ்வொரு β^- சிதைவிலும் அணுக்கரு X –இல் உள்ள நியூட்ரான் ஒன்று ஒரு எலக்ட்ரான் மற்றும் ஒரு எதிர் நியூட்ரினோவை வெளிவிடுவதால் புரோட்டானாக மாறுகின்றது. இது பின்வருமாறு குறிப்பிடப்படுகிறது.

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

இங்கு p –புரோட்டான், $\bar{\nu}$ –எதிர்நியூட்ரினோ.

எடுத்துக்காட்டு: β^- சிதைவின் மூலம் கார்பன் ${}^{14}_{6}C$ நைட்ரஜனாக ${}^{14}_{7}N$ மாறுகின்றது.

$${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e^- + \bar{\nu}$$

β^+ சிதைவு:

β^+ சிதைவில் அணு எண் மதிப்பு ஒன்று குறையும், ஆனால் நிறை எண் மாறாமல் இருக்கும். இச்சிதைவினைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்:

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^+ + \nu \qquad (9.29)$$

அணுக்கரு X ஒரு பாசிட்ரானையும் ஒரு நியூட்ரினோவையும் வெளிவிட்டு Y ஆக மாறுகின்றது. அதாவது, ஒவ்வொரு β^+ சிதைவிலும் அணுக்கரு X –ல் உள்ள புரேட்டான் ஒன்று ஒரு பாசிட்ரான் (e^+) மற்றும் ஒரு நியூட்ரினோவை வெளிவிடுவதனால் நியூட்ரானாக மாறுகின்றது. இதை நாம் பின்வருமாறு குறிக்கிறோம்.

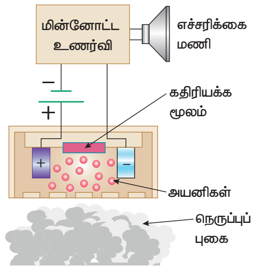
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu$$

ஆனால் தனித்த ஒரு புரோட்டான் (எந்தவொரு அணுக்கருவிற்கும் உள்ளே இல்லையெனில்) β^+ சிதைவுக்கு உட்படாது. ஏனென்றால் நியூட்ரானின் நிறையானது, புரோட்டானின் நிறையை விட அதிகமாக உள்ளதால், ஆற்றல் மாறா விதியின்படி, இந்த நிகழ்வு சாத்தியப்படாது. ஆனால் தனித்த ஒரு நியூட்ரான் (எந்தவொரு அணுக்கருவிற்கும் உள்ளே இல்லையென்றாலும்) β^- சிதைவுக்கு உட்படுகிறது.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 171 04-03-2022 16:45:05

உங்களுக்குத் தெரியுமா?

ஆல்பா சிதைவின் ஒரு முக்கியமான பயன்பாடு, ஆபத்து நிறைந்த எவ்வகைத் தீயிலிருந்தும் நம்மைக் காத்திடும் தீயுணர் (smoke detector) கருவியாகும்.



தீயுணர் கருவியானது, கிட்டத்தட்ட 0.2 mg அளவுள்ள, அமெரிசியம் $\left({}^{241}_{95}Am\right)$ என்றழைக்கப்படும் மிகக்குறைந்த கதிரியக்கத் தன்மை கொண்ட ஒரு செயற்கைக் கதிரியக்க ஐசோடோப்பு பயன்படுத்தப்படுகிறது. எதிரெதிர் மின்னேற்றம் செய்யப்பட்ட இரு உலோகத் தட்டுகளுக்கு இடையில் இந்த கதிரியக்க மூலம் வைக்கப்படுகின்றது. தட்டுகளுக்கிடையே காற்றிலுள்ள நைட்ரஜன் மற்றும் ஆக்சிஜன் மூலக்கூறுகள் ${}^{241}_{95}Am$ இலிருந்து வெளிவிடப்படும் α–கதிர் வீச்சினால் தொடர்ந்து அயனியாக்கம் செய்யப்படுகின்றன. இதன் விளைவாக, சிறிய அளவு நிலையான மின்னோட்டம் தொடர்ந்து மின்சுற்றில் செல்கின்றது. இந்நிலையில், புகை உட்சென்றால் காற்று மூலக்கூறுகளுக்குப் பதிலாக புகைத் துகள்களால் கதிர்வீச்சு உட்கவரப்படும். இதன் விளைவாக, குறைவான அளவே அயனியாக்கம் நடைபெறுவதால் உருவாகும் மின்னோட்டமும் குறையும். மின்னோட்டத்தின் இந்த சரிவு மின்சுற்றால் உணரப்பட்டு எச்சரிக்கை மணியும் ஒலிக்கப்படுகின்றது. அமெரிசியத்தால் வெளிவிடப்படும் கதிர்வீச்சு அளவு பாதுகாப்பான அளவை விடவும் மிக குறைவானதாகவே இருப்பதால் அது நமது உடலுக்கு தீங்கற்றது.

எடுத்துக்காட்டு: சோடியம் $\left({}^{22}_{11}Na\right)$ β^+ சிதைவின் மூலம் நியானாக $\left({}^{22}_{10}Ne\right)$ மாறுகிறது.

$${}^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + e^+ + \nu$$

பீட்டா சிதைவின் போது அணுக்கருவிலிருந்து வெளியேறும் எலக்ட்ரானோ, பாசிட்ரானோ அணுக்கருவினுள் எப்போதுமே இருந்ததில்லை என்பதைப் புரிந்து கொள்வது அவசியம். மாறாக, நியூட்ரான் புரோட்டானாகவோ அல்லது புரோட்டான் நியூட்ரானாகவோ அணுக்கருவினுள்ளேயே மாறும் போது அவை உருவாகி, வெளியேறுகின்றன.

நியூட்ரினோ (ν)

பீட்டா சிதைவின் போது, தாய் அணுக்கருவிலுள்ள நியூட்ரான் ஒன்று எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டு சேய் அணுக்கருவாக மாறுகின்றது என்றே முதலில் கருதப்பட்டது.

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + e^- \qquad (9.30)$$

ஆனால் அணுக்கருவிலிருந்து வெளியேறும் எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் மதிப்பு ஆய்வுகளின் முடிவுகளுடன் பொருந்தவில்லை. ஆல்பா சிதைவில், ஆல்பா துகள்கள் குறிப்பிட்ட சில அனுமதிக்கப்பட்ட, தனித்தனியான (discrete) குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மதிப்புகளை மட்டுமே பெற்றுள்ளன. ஆனால் பீட்டா சிதைவில், பீட்டா துகள்கள் (எலக்ட்ரான்கள்) தொடர்ச்சியான ஆற்றல் மதிப்புகளைப் பெற்று விளங்குகின்றன. ஆற்றல் மாறாவிதி மற்றும் உந்தம் மாறா விதியின் அடிப்படையில் எலக்ட்ரான் ஆற்றல் மற்றும் சேய் அணுக்கரு Y ஆகியவை குறிப்பிட்ட தனித்த மதிப்புகளைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். ஆற்றல் மாறா விதியும், உந்தம் மாறா விதியும் இங்கு மீறப்பட்டுள்ளன போல் தெரிகின்றது. மேலும், பீட்டா துகளின் ஆற்றல் ஏன் தொடர்ச்சியான மதிப்புகளைப் பெற்றுள்ளது என்பதையும் விளக்க இயலவில்லை. எனவே பீட்டா சிதைவானது, பல வருடங்களுக்கு ஒரு புதிராகவே இருந்து வந்தது.

விடுபட்ட ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் ஆகியவற்றை விளக்குவதற்கு, பீட்டா சிதைவில் மூன்றாவதாக இன்னுமொரு துகள் இருக்க வேண்டும் என்று கொள்கை மற்றும் சோதனைகளின் அடிப்படையில் பவுலி (W. Pauli) என்பார் 1931ஆம் ஆண்டு எடுத்துரைத்தார். மின்னூட்டமற்ற, மிகச்சிறிய நிறை கொண்ட இத்துகளுக்கு நியூட்ரினோ (சிறிய நடுநிலையான ஒன்று) என்ற பெயரை பெர்மி என்பவர் சூட்டினார். பல ஆண்டுகளுக்கு நியூட்ரினோ (ν என்பது கிரேக்கக் குறியீடு. இதை நியூ என்று உச்சரிக்க வேண்டும்) கொள்கை

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 172 04-03-2022 16:45:09

அளவிலானதுகளாகவும் ஆய்வினால் நிரூபிக்கப்பட முடியாமலும் இருந்து வந்தது. இறுதியில் 1956ஆம் ஆண்டு பிரடெரிக் ரெயின்ஸ் மற்றும் கிளைடு கோவன் ஆகியோர் சோதனைகளின் மூலம் நியூட்ரினோவைக் கண்டுபிடித்தனர். இந்தக் கண்டுபிடிப்புக்காக 1995ஆம் ஆண்டு ரெயின்ஸ் நோபல் பரிசினைப் பெற்றார்.

நியூட்ரினோ பின்வரும் பண்புகளைப் பெற்றுள்ளது:

- அதன் மின்னூட்டம் சுழி ஆகும்
- அது எதிர் நியூட்ரினோ என்ற எதிர்த்துகளை பெற்றுள்ளது.
- அண்மைக்கால ஆய்வுகளின் அடிப்படையில் மிகச்சிறிய நிறையை நியூட்ரினோ பெற்றுள்ளது என்பது கண்டறியப்பட்டுள்ளது.
- பருப்பொருளுடன் நியூட்ரினோ மிகமிகக்குறைந்த அளவே இடைவினை புரிகிறது. எனவே அதைக் கண்டுபிடிப்பது மிகவும் கடினம். உண்மையில், ஒவ்வொரு வினாடியும் சூரியனிலிருந்து வரும் டிரில்லியன் கணக்கிலான நியூட்ரினோக்கள் நம் உடலினூடே புகுந்து செல்கின்றன. எந்த இடைவினையும் இல்லாததால் நம்மால் அவற்றை அறிய இயலவில்லை.

9.6.3 காமா உமிழ்வு

α மற்றும் β சிதைவுகளில் சேய் அணுக்கரு பெரும்பாலும் கிளர்வுற்ற நிலையிலேயே காணப்படும். கிளர்வு நிலையின் ஆயுட்காலம் கிட்டத்தட்ட 10^{-11} s ஆக இருக்கும். ஆகவே இக்கிளர்வு நிலை அணுக்கரு, γ கதிர்கள் எனப்படும் உயர் ஆற்றல் ஃபோட்டான்களை வெளிவிடுவதன் மூலம் குறைந்த ஆற்றல் நிலைக்குத் திரும்புகின்றது. கிளர்வு நிலையிலிருந்து அடி நிலைக்குத் திரும்பும் அணுக்களிலிருந்து வெளிவிடப்படும் போட்டான்களின் ஆற்றல் வெறும் சில eV மதிப்புகளையே பெற்றுள்ளது. ஆனால், கிளர்வு நிலையிலுள்ள அணுக்கரு ஒன்று அடி நிலைக்குத் திரும்பும்போது MeV மதிப்புகளையுடைய உயர் ஆற்றல் போட்டான்களை அது வெளிவிடுகின்றது. காமா உமிழ்வைப் பின்வரும் முறையில் எழுதலாம்:

$$ {}_{Z}^{A}X^{*} \rightarrow {}_{Z}^{A}X + \text{காமா } (\gamma) \text{ கதிர்கள்} \quad (9.31)$$

இங்கு மேல் இடப்பட்டுள்ள உடுகுறி (*) கிளர்வு நிலையிலுள்ள அணுக்கருவைக் குறிக்கின்றது. காமா உமிழ்வில் நிறை எண் மற்றும் அணு எண்ணில் எவ்வித மாற்றமும் இருப்பதில்லை.

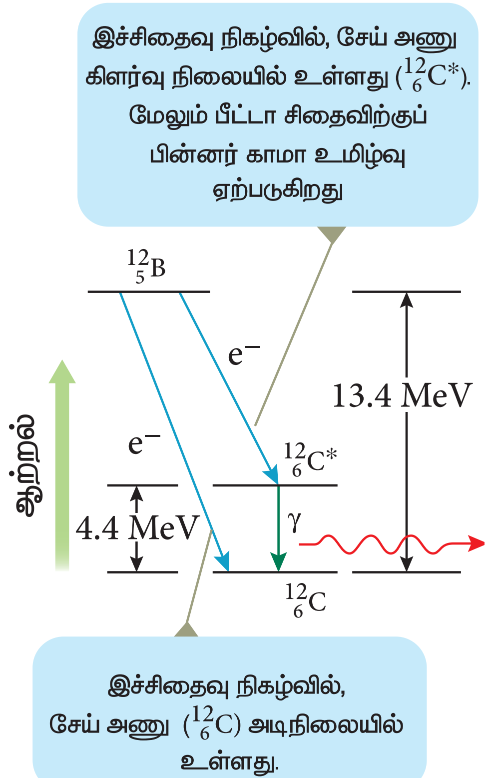
படம் 9.25ல் காட்டியுள்ளவாறு, போரான் $\left({}_{5}^{12}B\right)$ பீட்டா சிதைவு ஆனது இரு வழிகளில் நடைபெறுகிறது

(1) 13.4 MeV பெரும ஆற்றல் கொண்ட எலக்ட்ரானை வெளிவிடுவதன் மூலம் போரான் நேரடியாக பீட்டா சிதைவை அடைந்து அடி நிலையிலுள்ள கார்பனாக $\left({}_{6}^{12}C\right)$ மாறுகிறது,

(2) 9.0 MeV பெரும ஆற்றல் கொண்ட எலக்ட்ரானை வெளிவிடுவதன் மூலம் அது கிளர்வு நிலையிலுள்ள கார்பனாக $\left({}_{6}^{12}C^{*}\right)$ மாறுகிறது. அதன் பின்பு 4.4 MeV ஆற்றல் கொண்ட போட்டானை வெளிவிடுவதன் மூலம் அடி நிலைக்கு வருகிறது. இதைப் பின்வரும் சமன்பாட்டினால் குறிப்பிடலாம்:

$$ {}_{5}^{12}B \rightarrow {}_{6}^{12}C + e^{-} + \bar{\nu}$$

$$ {}_{6}^{12}C^{*} \rightarrow {}_{6}^{12}C + \gamma$$



படம் 9.25 காமா உமிழ்வு

9.6.4 கதிரியக்க சிதைவு விதி

முந்தைய பகுதியில் ஒரு தனித்த கதிரியக்க அணுக்கருவின் சிதைவுப் பாங்கினைப் பற்றி அறிந்தோம். நடைமுறையில் கதிரியக்க தனிமங்கள், மிக அதிக அளவிலான கதிரியக்க அணுக்கருக்களைக் கொண்டுள்ளது. மேலும் அதிலுள்ள அனைத்து அணுக்கருக்களும் ஒரே சமயத்தில் சிதைவு அடைவதில்லை என்பதை அறிவோம். ஒரு குறிப்பிட்ட

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 173 04-03-2022 16:45:11

கால நெடுக்கத்தில் இச்சிதைவு நிகழ்கின்றது. மேலும் இச்சிதைவு ஒரு ஒழுங்கற்ற நிகழ்வாகும் (random process). எந்த நொடியில், எந்த அணுக்கரு சிதைவடையும் என்பதை நம்மால் முன்கூட்டியே கணிக்க இயலாது. மாறாக (ஒரு நாணயத்தை சுண்டுவது போல்) நிகழ்தகவு அடிப்படையில்தான் நம்மால் கணக்கிட முடியும். கதிரியக்கத் தனிமம் ஒன்றில் ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் எத்தனை அணுக்கருக்கள் சிதைவடைந்துள்ளன என்பதைத் தோராயமாகக் கணக்கிடலாம்.

ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில், ஓரலகு நேரத்தில் நடைபெறும் சிதைவுகளின் எண்ணிக்கை (சிதைவு வீதம் $\left(\frac{dN}{dt}\right)$) ஆனது, அக்கணத்தில் உள்ள அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கைக்கு (N) நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

அதாவது, $\frac{dN}{dt} \propto N$

தகவு மாறிலியை அறிமுகப்படுத்தினால், இச்சமன்பாட்டினைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad (9.32)$$

இங்கு பயன்படுத்தப்படும் தகவு மாறிலி λ என்பது சிதைவு மாறிலி என்றழைக்கப்படும்; வெவ்வேறு கதிரியக்கப் பொருள்களுக்கு λ இன் மதிப்பு வெவ்வேறாக இருக்கும். மேலும், இச்சமன்பாட்டில் வரும் எதிர்க்குறியானது நேரம் செல்லச்செல்ல அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை Nஇன் மதிப்பு குறையும் என்பதைக் காட்டுகிறது.

சமன்பாடு (9.32)ஐ வேறு விதமாக எழுதினால்,

$$dN = -\lambda N dt \qquad (9.33)$$

இங்கு dN என்பது dt நேர இடைவெளியில் சிதைவடையும் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும். $t = 0$ நேரத்தில் (அதாவது ஆரம்ப நேரத்தில்) உள்ள அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை N_0 என்க. சமன்பாடு (9.33)ஐத் தொகையீடு செய்யும்போது, எந்தவொரு t கணத்திலும் உள்ள அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடலாம்.

சமன்பாடு (9.33)இலிருந்து,

$$\frac{dN}{N} = -\lambda\, dt \qquad (9.34)$$

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_{0}^{t} \lambda\, dt$$

$$\left[\ln N\right]_{N_0}^{N} = -\lambda t$$

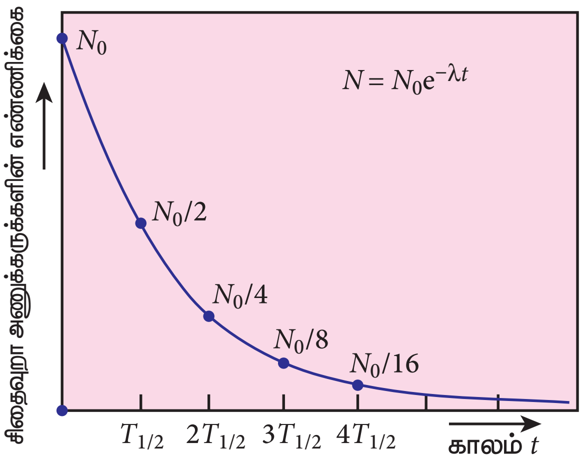
$$\ln\left[\frac{N}{N_0}\right] = -\lambda t$$

இருபுறமும் அடுக்குக்குறி மதிப்பைப் பெற, நமக்குக் கிடைப்பது

$$N = N_0\, e^{-\lambda t} \qquad (9.35)$$

[குறிப்பு: $e^{\ln x} = e^y \Rightarrow x = e^y$]

சமன்பாடு (9.35) கதிரியக்கச் சிதைவு விதி எனப்படும். இங்கு N என்பது t நேரத்திற்கு பிறகு, சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை மற்றும் N_0 என்பது t=0 நேரத்தில் உள்ள அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை ஆகும். நேரம் ஆக ஆக அணுக்களின் எண்ணிக்கை அடுக்குக்குறி முறைப்படி குறையும் என்பதை இச்சமன்பாட்டிலிருந்து நாம் அறிந்து கொள்ளலாம். அனைத்து கதிரியக்க அணுக்கருக்களும் சிதைவடைய முடிவிலா காலம் (infinte) ஆகும் என்பதை இதன் மூலமாக நாம் அறியலாம். சமன்பாடு (9.35)ஆனது படம் 9.26ல் வரைபடமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 9.26 கதிரியக்கச் சிதைவு விதி

(கதிரியக்கச்) செயல்பாடு (Activity) அல்லது சிதைவு வீதம் என்ற மற்றுமொரு பயனுள்ள அளவீட்டை நாம் வரையறுக்கலாம். அதாவது, (கதிரியக்கச்) செயல்பாடு அல்லது சிதைவு வீதம் (R) என்பது **ஒரு வினாடியில் சிதைவடையும் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை** ஆகும். இது $R = \left|\frac{dN}{dt}\right|$ என குறிக்கப்படுகிறது. R என்பது ஒரு நேர்க்குறி மதிப்புடைய அளவீடு ஆகும்.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 174 04-03-2022 16:45:14

சமன்பாடு (9.35)இலிருந்து,

$$R=\left|\frac{dN}{dt}\right|=\lambda N_0\, e^{-\lambda t} \qquad (9.36)$$

$$R=R_0\, e^{-\lambda t} \qquad (9.37)$$

இங்கு $R_0=\lambda N_0$

சமன்பாடு (9.37)–உம் கதிரியக்கச் சிதைவு விதிக்கு இணையானதே. இங்கு R_0 என்பது t = 0 நேரத்தில் கதிரியக்கப் பொருளின் செயல்பாடு மற்றும் R என்பது t நேரத்தில் அதன் செயல்பாடு ஆகும். சமன்பாடு (9.37)லிருந்து கதிரியக்கச் செயல்பாடும் அடுக்குக்குறியீட்டு அடிப்படையில் சிதைவடையும் தன்மை கொண்டது என்பது தெரிகிறது. எந்தவொரு கணம் t–இலும் அக்கணத்தில் சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையை வைத்து கதிரியக்கச் செயல்பாட்டை (R) எழுதலாம்.

$N=N_0\, e^{-\lambda t}$, ஆகையால், சமன்பாடு (9.37) லிருந்து,

$$R=\lambda N \qquad (9.38)$$

சமன்பாடு (9.38)–இன்படி, எந்தவொரு கணம் t–யிலும் கதிரியக்கச் செயல்பாடானது அக்கணத்தில் உள்ள சிதைவடையா அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை N மற்றும் சிதைவு மாறிலி λ ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்கு சமமாகும். நேரத்தைப் பொருத்து N குறைந்து கொண்டே இருப்பதால், R–ம் குறைந்து கொண்டே இருக்கும்.

கதிரியக்கச்செயல்பாட்டின் SI அலகு பெக்கரல் (Bq). மேலும் ஒரு பெக்கரல் என்பது ஒரு வினாடிக்கு ஒரு சிதைவைத் தரும் தனிமத்தின் செயல்பாட்டைக் குறிக்கும். கதிரியக்கச் செயல்பாட்டிற்கு மற்றொரு கியூரி (Ci) என்ற அலகும் உள்ளது.

1 கியூரி $=1\ \text{Ci}=3.7\times10^{10}$ சிதைவுகள் / வினாடி

$1\ \text{Ci}\ =\ 3.7\times10^{10}\ \text{Bq}$

குறிப்பு

ஒரு கியூரி என்பது 1 g ரேடியம் 1 வினாடியில் உமிழும் சிதைவுகளின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகும்; அதாவது ஒரு வினாடிக்கு 3.7×10^{10} சிதைவுகள்.

9.6.5 அரை ஆயுட்காலம்

N அணுக்கள் கொண்ட ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம் ஒன்று முழுவதுமாக சிதைவடைய எடுத்துக்கொள்ளும் காலத்தைக் கணக்கிடுவது கடினம். ஆனால், தொடக்கத்தில் இருந்த அளவில் ஒரு குறிப்பிட்ட பின்னமாகக் குறைவதற்கு ஆகும் காலத்தைக் கணக்கிடலாம்.

தொடக்கத்தில் உள்ள அணுக்களில் பாதியளவு அணுக்கள் சிதைவடைய ஒரு தனிமம் எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் அரை ஆயுட்காலம் $T_{1/2}$ எனப்படும். ஒவ்வொரு கதிரியக்கத் தனிமத்தின் முக்கியப் பண்புகளுள் ஒன்றாக அரை ஆயுட்காலம் உள்ளது. சில கதிரியக்க அணுக்கருக்கள் 10^{14} ஆண்டுகள் அளவிற்கு மிக அதிக அரை ஆயுட்காலம் கொண்டுள்ளன. மற்றும் சில அணுக்கருக்களோ 10^{-14} s என்ற அளவிற்கு மிகக் குறைந்த அரை ஆயுட்காலம் கொண்டுள்ளன.

சிதைவு மாறிலியின் அடிப்படையில் நாம் அரை ஆயுட்காலத்தைக் குறிப்பிடலாம். $t=T_{1/2}$ காலத்தில் சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை $N=\dfrac{N_0}{2}$ ஆகும்.

சமன்பாடு (9.35)ல் இம்மதிப்பைப் பிரதியிட,

$$\frac{N_0}{2}=N_0\, e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2}=e^{-\lambda T_{1/2}} \text{ அல்லது } e^{\lambda T_{1/2}}=2$$

இருபுறமும் மடக்கை மதிப்புகளை எடுத்து மாற்றி எழுதினால்,

$$T_{1/2}=\frac{\ln 2}{\lambda}=\frac{0.6931}{\lambda} \qquad (9.39)$$

குறிப்பு

குறைந்த அரை ஆயுட்காலம் கொண்ட பொருள் அதிக ஆயுட்காலம் கொண்ட பொருளை விடக் குறைவான காலமே செயல்பாட்டில் இருக்கும் என்பதால் அது பாதுகாப்பானது என்று கூறு முடியாது. ஏனெனில், குறைந்த ஆயுட்காலம் கொண்ட பொருள் அதிக கதிரியக்கச்செயல்பாட்டினைக் கொண்டிருக்கும். எனவே அது அதிக கதிரியக்கத் தன்மையுடன் இருப்பதால் அதிக ஆபத்து கொண்டது.

t=0 நேரத்தில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை N_0 எனில், முதல் அரை ஆயுட்காலத்திற்குப் பிறகு சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை $\frac{N_0}{2}$ மற்றும் இரண்டாவது அரை ஆயுட்காலத்திற்குப் பிறகு சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை $\frac{N_0}{4}$ என்று தொடரும். பொதுவாக, n அரை ஆயுட்காலங்களுக்குப் பிறகு சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை

$$N = \left(\frac{1}{2}\right)^n N_0 \qquad (9.40)$$

இங்கு n என்பது முழு எண்ணாகவோ அல்லது பின்ன எண்ணாகவோ இருக்கலாம். ஒரு கதிரியக்கத் தனிமத்தின் கதிரியக்கச் செயல்பாட்டிற்கான சமன்பாடும் அடுக்குக்குறி சிதைவின் அடிப்படையில் இருப்பதால் சமன்பாடு (9.40)ஐப் போலவே ஒரு சமன்பாட்டினை செயல்பாட்டிற்கும் எழுதலாம்.

n அரை ஆயுட்காலங்களுக்குப் பிறகு ஒரு கதிரியக்கத் தனிமத்தின் செயல்பாட்டிற்கான சமன்பாடு

$$R = \left(\frac{1}{2}\right)^n R_0 \qquad (9.41)$$

சராசரி ஆயுட்காலம் (τ):

ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம் சிதைவடையும் போது முதன்முதலாக சிதைவடையும் அணுக்கருவின் ஆயுட்காலம் சுழியாகும். இறுதியாகச் சிதைவடையும் அணுக்கருவின் ஆயுள் முடிவிலியாக இருக்கும். ஒவ்வொரு அணுக்கருவிற்கும் ஆயுட்காலம் சுழியிலிருந்து முடிவிலி வரை இருக்கலாம். எனவே, அழிவதற்கு முன்பு சராசரியாக எவ்வளவு காலம், (அதாவது சராசரி ஆயுட்காலம் τ) அத்தனிமம் சிதைவடையாமல் இருக்கின்றது என்பதை அறிவதே நடைமுறையில் பொருள்படக் கூடியது.

ஒரு அணுக்கருவின் சராசரி ஆயுட்காலம் என்பது **அனைத்து அணுக்கருக்களின் ஆயுட்காலங்களின் கூடுதல் அல்லது தொகையீட்டிற்கும், தொடக்கத்தில் இருந்த மொத்த அணுக்கருக்களின் மொத்த எண்ணிக்கைக்கும் உள்ள தகவு** ஆகும்.

t முதல் $t+\Delta t$ வரையுள்ள கால இடைவெளியில் சிதைவடையும் மொத்த அணுக்களின் எண்ணிக்கை $R\Delta t = \lambda N_0 e^{-\lambda t}\Delta t$ ஆகும். t காலம் ஆகும் வரை அளவிலான அணுக்கருக்கள் சிதைவடையாமல் இருந்துள்ளதை இது காட்டுகிறது. எனவே அணுக்கருக்களின் ஆயுட்காலம் $R\Delta t$ க்கு சமமாக இருக்க வேண்டும். எனவே, $\Delta t \to 0$ என்ற எல்லையில், அனைத்து அணுக்கருக்களின் மொத்த ஆயுட்காலமானது $t=0$ லிருந்து $t=\infty$ வரை $tRdt$ ன் தொகையீட்டிற்கு சமமாகும்.

சராசரி ஆயுட்காலம் =

$$\tau = \frac{\int_0^\infty t[Rdt]}{N_0} = \frac{\int_0^\infty t\left[\lambda N_0 e^{-\lambda t}\, dt\right]}{N_0} \qquad (9.42)$$

தொகையீடு செய்த பிறகு (பெட்டியில் உள்ளதைக் காணவும்) சராசரி ஆயுட்காலத்திற்கான சமன்பாட்டினை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \qquad (9.43)$$

சராசரி ஆயுளும் சிதைவு மாறிலியும் எதிர்த்தகவில் உள்ளதைக் கவனிக்கவும்.

சராசரி ஆயுட்காலத்தைப் பயன்படுத்தி அரை ஆயுட்காலத்தைப் பின்வரும் முறையில் எழுதலாம்:

$$T_{1/2} = \tau \ln 2 = 0.6931\tau \qquad (9.44)$$

சராசரி ஆயுட்காலம் : (தேர்வுக்கு அல்ல)

சமன்பாடு (9.42)ல் உள்ள தொகையீட்டினை பகுத்துத் தொகையிடல் முறையினைப் பயன்படுத்தி செய்திடலாம் :

$$\tau = \frac{\int_0^\infty \lambda N_0 t\, e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \frac{\lambda N_0 \int_0^\infty t\, e^{-\lambda t} dt}{N_0}$$

$$\tau = \lambda \int_0^\infty t\, e^{-\lambda t} dt \qquad u = t \quad dv = e^{-\lambda t}\, dt$$

$$\tau = \lambda \int_0^\infty t\, e^{-\lambda t} dt = \lambda \left[\frac{t\, e^{-\lambda t}}{-\lambda}\right]_0^\infty - \lambda \int_0^\infty \left[\frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda}\right] dt$$

எல்லைகளைப் பிரதியிட, மேலேயுள்ள சமன்பாட்டின் முதல் உறுப்பு சுழி மதிப்பை அடைகிறது.

$$\tau = \int_0^\infty e^{-\lambda t}\, dt = -\frac{1}{\lambda}\left[e^{-\lambda t}\right]_0^\infty = \frac{1}{\lambda}$$

எடுத்துக்காட்டு 9.12

தொடக்கத்திலுள்ள கதிரியக்கக் கார்பன்–14 அணுக்களின் எண்ணிக்கை 10,000 எனில், 22,920 ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுக. கார்பன்–14ன் அரை ஆயுட்காலம் 5730 ஆண்டுகள்.

தீர்வு.

அரை ஆயுட்காலங்களின் அடிப்படையில் கால இடைவெளியைக் கணக்கிட,

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} = \frac{22,920\,yr}{5730\,yr} = 4$$

22, 920 ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை,

$$N = \left(\frac{1}{2}\right)^n N_0 = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \times 10,000$$

$$N = 625$$

எடுத்துக்காட்டு 9.13

அரை ஆயுட்காலம் 10 நிமிடம் கொண்ட ஒரு கதிரியக்கப் பொருளின் சிறு அளவில், $2.6\,\mu g$ கலப்படமில்லா ${}^{13}_{7}N$ உள்ளது. (அ) தொடக்கத்தில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை எவ்வளவு? (ஆ) தொடக்கத்தில் கதிரியக்கச் செயல்பாடு எவ்வளவு? (இ) 2 மணி நேரத்திற்குப் பிறகு செயல்பாடு எவ்வளவு? (ஈ) இப்பொருளின் சராசரி ஆயுள் எவ்வளவு?

தீர்வு.

(அ) N_0ன் மதிப்பைக் கணக்கிட முதலில் $2.6\,\mu g$ ல் உள்ள ${}^{13}_{7}N$ அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிட வேண்டும். நைட்ரஜனின் அணு நிறை 13 ஆதலால், 13 g அளவிலான ${}^{13}_{7}N$ ல் அவகேட்ரோ எண்ணிற்குச் சமமான அணுக்கள் இருக்கும்.

1கிராம் உள்ள அணுக்களின் ${}^{13}_{7}N$ எண்ணிக்கை $\frac{6.02\times10^{23}}{13}$ எனில், $2.6\,\mu g$ ல் உள்ள தொடக்க ${}^{13}_{7}N$ அணுக்களின் எண்ணிக்கை

$$N_0 = \frac{6.02\times10^{23}}{13}\times2.6\times10^{-6} = 12.04\times10^{16}$$ அணுக்கள்

(ஆ) தொடக்கச் செயல்பாட்டினைக் (R_0) கண்டறிய சிதைவு மாறிலி λ ஐக் கணக்கிட வேண்டும்.

$$\lambda = \frac{0.6931}{T_{1/2}} = \frac{0.6931}{10\times60} = 1.155\times10^{-3}\,s^{-1}$$

எனவே,

$$R_0 = \lambda N_0 = 1.155\times10^{-3}\times12.04\times10^{16}$$

$$= 13.90\times10^{13}$$ சிதைவுகள்/s

$$= 13.90\times10^{13}\,\text{Bq}$$

கியூரி அலகின் அடிப்படையில்,

$$R_0 = \frac{13.90\cdot\ 10^{13}}{3.7\cdot\ 10^{10}} = 3.75\cdot\ 10^{3}\,\text{Ci}$$

(ஏனெனில், $1\text{Ci} = 3.7\cdot\ 10^{10}\text{Bq}$)

(இ) 2 மணி நேரத்திற்குப் பிறகான செயல்பாட்டை இரண்டு வழிகளில் கணக்கிடலாம்:

வழி 1: $R = R_0\, e^{-\lambda t}$

t = 2 மணி நேரம் = 7200 s

$$R = 3.75 \times 10^3 \times e^{-7200\times1.155\times10^{-3}}$$

$$R = 3.75 \times 10^3 \times 2.4\times10^{-4} = 0.9\ \text{Ci}$$

வழி 2: $R = \left(\frac{1}{2}\right)^n R_0$

இங்கு $n = \frac{120\,\text{min}}{10\,\text{min}} = 12$

$$R = \left(\frac{1}{2}\right)^{12}\times3.75\times10^3 \approx 0.9\,\text{Ci}$$

(ஈ) சராசரி ஆயுள் $\tau = \frac{T_{1/2}}{0.6931} = \frac{10\times60}{0.6931}$

$$= 865.67\,s$$

9.6.6 கார்பன் காலக்கணிப்பு

பீட்டா சிதைவின் ஒரு முக்கியமான பயன்பாடு கதிரியக்கக் காலக்கணிப்பு அல்லது கார்பன் காலக்கணிப்பு ஆகும். இந்த வழிமுறையைப் பயன்படுத்தி பழங்காலப் பொருள்களின் வயதைக் கண்டறியலாம். வாழும் அனைத்து உயிரினங்களும் காற்றிலிருந்து கார்பன் டையாக்சைடை (CO_2) உட்கவர்ந்து கரிம மூலக்கூறுகளை உருவாக்குகின்றன. இவ்வாறு உட்கவரப்பட்ட CO_2 வில் பெரும் பகுதி ${}^{12}_{6}C$ ஆகவும், மிகவும் சிறிய பகுதி (1.3×10^{-12}) கதிரியக்க ${}^{14}_{6}C$ ஆகவும் உள்ளது (இதன் அரை ஆயுட்காலம் 5730 ஆண்டுகள்).

வளிமண்டலத்திலுள்ள கார்பன்–14 தொடர்ந்து சிதைவடைகிறது. அதே நேரத்தில், புற விண்வெளியிலிருந்து வரும் காஸ்மிக் கதிர்களால்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 177 04-03-2022 16:45:29

வளிமண்டலத்திலுள்ள அணுக்கள் தொடர்ந்து மோதுவதால் ${}^{14}_{6}C$ ஆனது தொடர்ந்து உருவாகிக் கொண்டேயிருக்கும். இத்தொடர் உருவாதல் மற்றும் சிதைவு நிகழ்வுகளினால் ${}^{14}_{6}C$ மற்றும் ${}^{12}_{6}C$ க்கு இடையேயான விகிதம் மாறாமல் இருக்கும். மனிதர்கள், மரங்கள் அல்லது எந்தவொரு உயிரினமும் வளிமண்டலத்திலிருந்து தொடர்ந்து CO_2ஐ உட்கவர்கின்றன. எனவே வாழும் உயிர் ஒன்றில் காணப்படும் ${}^{14}_{6}C$ மற்றும் ${}^{12}_{6}C$ விகிதம் ஏறக்குறைய மாறிலியாக இருக்கும். ஆனால் அவ்வுயிரினம் இறந்தவுடன் CO_2 உட்கவர்வது நின்று விடுகிறது. எனவே ${}^{14}_{6}C$ சிதைவு காரணமாக, இறந்த உயிரினத்தின் உடலில் உள்ள ${}^{14}_{6}C : {}^{12}_{6}C$ விகிதம் நாளடைவில் குறையத் தொடங்குகிறது. மண்ணுக்குள் புதைந்த ஒரு பழங்கால மரத்தின் மாதிரிப் பொருள் ஒன்று தோண்டி எடுக்கப்பட்டு, அதன் ${}^{14}_{6}C : {}^{12}_{6}C$ விகிதம் அறியப்பட்டால் அம்மரத்தின் வயதைக் கணக்கிட முடியும்.

எடுத்துக்காட்டு 9.14

கீழடி என்ற சிறிய கிராமம் தமிழ்நாட்டிலுள்ள மிகவும் முக்கியமான அகழ்வாராய்ச்சி நடைபெறும் பகுதிகளில் (படம்) ஒன்றாகும். இது சிவகங்கை மாவட்டத்தில் அமைந்துள்ளது. (தங்க நாணயங்கள், மண்கலன்கள், மணிகள் , இரும்புக் கருவிகள், அணிகலன்கள் மற்றும் மரக்கரித்துண்டு உள்ளிட்ட) பல தொல் கைவினைப் பொருள்கள் கீழடியில் கண்டெடுக்கப்பட்டுள்ளன. இதன் மூலம் வைகை ஆற்றங்கரைகளில் பண்டைய நாகரிகம் செழித்திருந்தது என்பதற்கான தகுந்த ஆதாரம் கிடைத்துள்ளது. இப்பொருள்களின் காலத்தைக் கணிப்பதற்கு, (படத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள) 200 g கரியானது கார்பன் காலக்கணிப்பு சோதனைக்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. அதில் ${}^{14}_{6}C$ இன் செயல்பாடு 37 சிதைவுகள்/s எனில், அக்கரியின் வயதைக் கணக்கிடுக.

படம் (அ) கீழடி –அகழ்வாய்வுப் பகுதி

படம் (ஆ) கார்பன் காலக்கணிப்பிறகு அனுப்பப்பட்ட கரித்துண்டு

தீர்வு

கரியின் வயதைக் கணக்கிட, அது மரமாக உயிரோடு இருந்த போது, அதன் தொடக்க கதிரியக்கச் செயல்பாடு (R_0) தெரிய வேண்டும்.

மாதிரிப் பொருளின் கதிரியக்கச் செயல்பாடு

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \qquad (1)$$

அதன் காலம் t ஐக் கண்டறிய, சமன்பாடு (1)ஐப் பின்வருமாறு எழுதலாம், $e^{\lambda t} = \frac{R_0}{R}$

இரு புறமும் மடக்கை எடுக்க, நமக்கு கிடைப்பது

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{R_0}{R}\right) \qquad (2)$$

இங்கு R = 37 decays/s=37 Bq.

சிதைவு மாறிலியைக் கணக்கிட பின்வரும் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம்:

$$\lambda = \frac{0.6931}{T_{1/2}} = \frac{0.6931}{5730\,\text{yr} \times 3.156 \times 10^7\,\text{s/yr}}$$

$$[\because 1\text{yr} = 365.25 \times 24 \times 60 \times 60\,\text{s} = 3.156 \times 10^7\,\text{s}]$$

$$\lambda = 3.83 \times 10^{-12}\,s^{-1}$$

தொடக்க கதிரியக்கச் செயல்பாடு R_0 ஐக் கண்டுபிடிக்க, $R_0 = \lambda N_0$ என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்துவோம். இங்கு N_0 என்பது மாதிரிப் பொருள் பயன்பாட்டில் இருந்தபோது அதிலிருந்த கார்பன்–14 அணுக்களின் எண்ணிக்கையாகும். கரியின் நிறை 200 g. 12 g கார்பனில் 6.02×10^{23} கார்பன் அணுக்கள் இருக்கும். எனவே, 200 g– ல்

$$\frac{6.02 \times 10^{23}\,\text{அணுக்கள் / மோல்}}{12\,\text{கி / மோல்}} \times 200 \approx 1 \times 10^{25}\,\text{அணுக்கள்}$$

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 178 04-03-2022 16:45:35

(மாதிரிப் பொருளான) அதாவது மரம் உயிருடன் இருந்தபோது, ${}^{14}_{6}C : {}^{12}_{6}C$ –இன் விகிதம் 1.3×10^{-12}. எனவே கார்பன்–14 அணுக்களின் மொத்த எண்ணிக்கை,

$$N_0 = 1\times10^{25}\times1.3\times10^{-12} = 1.3\times10^{13} \text{ அணுக்கள்}$$

தொடக்க செயல்பாடு,

$$R_0 = 3.83\times10^{-12}\times1.3\times10^{13} \approx 50 \text{ சிதைவுகள் /s}$$
$$= 50\,Bq$$

R_0 மற்றும் λ மதிப்புகளை சமன்பாடு (2)ல் பிரதியிட,

$$t = \frac{1}{3.83\times10^{-12}}\times\ln\left[\frac{50}{37}\right]$$

$$t = \frac{0.301}{3.83}\times10^{12} \approx 7.86\times10^{10}\text{ sec}$$

ஆண்டுகளில்,

$$t = \frac{7.86\times10^{10}\,s}{3.156\times10^{7}\,s/yr} \approx 2500\text{ years}$$

இந்த அகழ்வாய்வில் கண்டெடுக்கப்பட்ட பொருள்கள் தமிழ்நாடு அரசின் தொல்லியல் துறையினரால் அமெரிக்காவிற்கு அனுப்பப்பட்டு கார்பன் காலக்கணிப்பு செய்ததில், கீழடியில் கண்டெடுக்கப்பட்ட கைவினைப் பொருள்களின் வயது 2200 ஆண்டுகளிலிருந்து 2500 ஆண்டுகள் இருக்கும் (சங்க காலம்– கி.மு. (பொ.ஆ.மு) 400 முதல் கி.மு. (பொ.ஆ.மு) 200) என்பது அறிக்கை மூலமாக உறுதிப்படுத்தப்பட்டுள்ளது. 2000 ஆண்டுகளுக்கு முன்னரேயே தமிழகத்தில் நகர்ப்புற நாகரிகம் இருந்துள்ளதை கீழடி அகழ்வாராய்ச்சி அறிவியல் பரிசோதனை வாயிலாக நிறுவியுள்ளது.

9.6.7 நியூட்ரான் கண்டுபிடிப்பு

பெரிலியத்தை α துகள்களால் மோதச் செய்யும்போது அதிக ஊடுருவு திறன் கொண்ட கதிர்வீச்சு வெளிப்படுகின்றது என்பதை போத்தே மற்றும் பெக்கர் ஆகிய ஜெர்மானிய இயற்பியல் அறிஞர்கள் 1930ல் கண்டறிந்தனர். தடிமனான காரீயப் பாளத்தைக் கூட ஊடுருவக்கூடிய இந்தக் கதிர்வீச்சு, மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களால் விலக்கமடைவதில்லை. முதலில் இது γ கதிர்வீச்சு என்றே கருதப்பட்டது. ஆனால் இக்கதிர்வீச்சுகள் மின்காந்த அலைகள் அல்ல என்பதையும் அவை புரோட்டானை விட சற்று அதிக நிறை கொண்ட மின்னூட்டமற்ற துகள்களே என்பதையும் 1932 ம் ஆண்டு ஜேம்ஸ் சாட்விக் என்பார் கண்டுபிடித்தார். அவற்றை நியூட்ரான்கள் என்று அவர் அழைத்தார். மேற்கூறிய வினையைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்:

$${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

இங்கு ${}^{1}_{0}n$ என்பது நியூட்ரானைக் குறிக்கும்.

அணுக்கருவினுள் நியூட்ரான்கள் நிலைத் தன்மையுடன் இருக்கின்றன. ஆனால் அணுக்கருவுக்கு வெளியே அவை நிலைத்தன்மையற்று உள்ளன. அணுக்கருவை விட்டு வெளியேறும் நியூட்ரான் (தனித்த நியூட்ரான்) மிக விரைவிலேயே (அரை ஆயுட்காலம்–13 நிமிடங்கள்) புரோட்டான், எலக்ட்ரான் மற்றும் எதிர்நியூட்ரினோ ஆகியவையாக சிதைவுறுகிறது.

நியூட்ரான்களை, அவற்றின் இயக்க ஆற்றலின் அடிப்படையில் பின்வருமாறு வகைப்படுத்தலாம் (i) குறைவேக நியூட்ரான்கள் (0 to 1000 eV) (ii) வேக நியூட்ரான்கள் (0.5 MeV to 10 MeV). கிட்டத்தட்ட 0.025 eV அளவிலான சராசரி ஆற்றல் கொண்ட, வெப்பச் சமநிலையில் உள்ள நியூட்ரான்கள் வெப்ப நியூட்ரான்கள் எனப்படும். ஏனெனில், 298 K வெப்பநிலையில் அவற்றின் வெப்ப ஆற்றல் ($kT \sim 0.025eV$). குறைவேக மற்றும் வேக நியூட்ரான்கள் அணுக்கரு உலைகளில் முக்கிய பங்கு வகிக்கின்றன.

9.7 அணுக்கரு பிளவு (Nuclear Fission)

யுரேனியம் அணுக்கருவை நியூட்ரானால் மோதச் செய்யும்போது, அது கிட்டத்தட்ட சமமான நிறைகளையுடைய இரு சிறிய அணுக்கருக்களாகவும், அவற்றுடன் ஆற்றலும் வெளிப்படும் வண்ணம் பிளவுறுகிறது என்பதை ஜெர்மானிய அறிவியல் அறிஞர்களான ஆட்டோ ஹான் (Otto Hahn) மற்றும் ஸ்டிராஸ்மன் (Strassmann)ஆகியோரால் 1939ம் ஆண்டு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. **கனமான அணுவின் அணுக்கரு ஒன்று இரு சிறிய அணுக்கருக்களுடன் அதிக அளவிலான ஆற்றலும் வெளிப்படும் வண்ணம் பிளவுறும் நிகழ்வு அணுக்கரு பிளவு எனப்படும்.** பிளவு நிகழும் போது நியூட்ரான்களும் சேர்ந்தே வெளிப்படுகின்றன. அணுக்கரு பிளவில் வெளிப்படும் ஆற்றலின் அளவு வேதிவினைகளில்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 179 04-03-2022 16:45:39

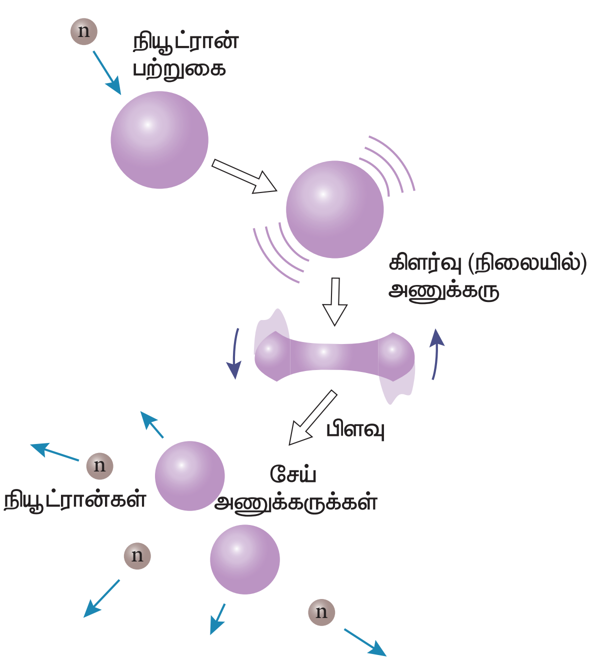
அதிகம் கண்டறியப்பட்ட ஆற்றலைக் காட்டிலும் பல மடங்கு அதிகமாக உள்ளது.

90 வெவ்வேறு வழிகளில் யுரேனியத்தின் பிளவு வினை நடைபெறுகின்றது. அவற்றுள் பெரும்பான்மையாக நிகழும் பிளவு வினைகள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n + Q \quad (9.45)$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2^{1}_{0}n + Q \quad (9.46)$$

இங்கு Q என்பது ஒவ்வொரு யுரேனிய அணுக்கருவும் பிளவுறும் போது வெளிப்படும் ஆற்றலைக் குறிக்கும். குறைவேக நியூட்ரான் ஒன்றினை யுரேனியம் அணுக்கரு உட்கவரும் போது, அதன் நிறை எண் ஒன்று அதிகரித்து $^{236}_{92}U^{*}$ என்ற கிளர்வு நிலைக்குச் செல்கிறது. ஆனால் இந்நிலை 10^{-12} s நேரத்திற்கு மேலாக நிலைக்க இயலாததால் அது 2 அல்லது 3 நியூட்ரான்களுடன் கூடிய இரு சேய் அணுக்கருக்களாகச் சிதைவுறுகிறது. ஒவ்வொரு வினையிலிருந்தும் சராசரியாக 2.5 நியூட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன. இது படம் 9.27 ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 9.27 அணுக்கரு பிளவு

பிளவில் வெளிப்படும் ஆற்றல்

ஒவ்வொரு யுரேனியம் அணுக்கருவின் பிளவிலும் வெளிப்படும் ஆற்றல் Q ஐ நாம் கணக்கிடலாம். அதிகளவில் நிகழும் அணுக்கரு பிளவு வினையானது, சமன்பாடு (9.45) கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n + Q$$

$^{235}_{92}U$ ன் நிறை $= 235.045733\ u$

$^{1}_{0}n$ ன் நிறை $= 1.008665\ u$

வினைபடு பொருள்களின் மொத்த நிறை $= 236.054398\ u$

$^{141}_{56}Ba$ ன் நிறை $= 140.9177\ u$

$^{92}_{36}Kr$ ன் நிறை $= 91.8854\ u$

3 நியூட்ரான்களின் நிறை $= 3.025995\ u$

வினைவிளை பொருள்களின் மொத்த நிறை $= 235.829095\ u$

நிறை இழப்பு $\Delta m = 236.054398\ u - 235.829095\ u = 0.225303\ u$

எனவே ஒவ்வொரு பிளவிலும் வெளிப்படும் ஆற்றல் $= 0.225303 \times 931 MeV \approx 200\ MeV$

இந்த ஆற்றல் முதலில் சேய் அணுக்கருக்கள் மற்றும் நியூட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலாக வெளிப்பட்டு பின்னர் இந்த இயக்க ஆற்றல் சுற்றியுள்ள பொருள்களில் வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றப்படுகின்றது.

தொடர் வினை

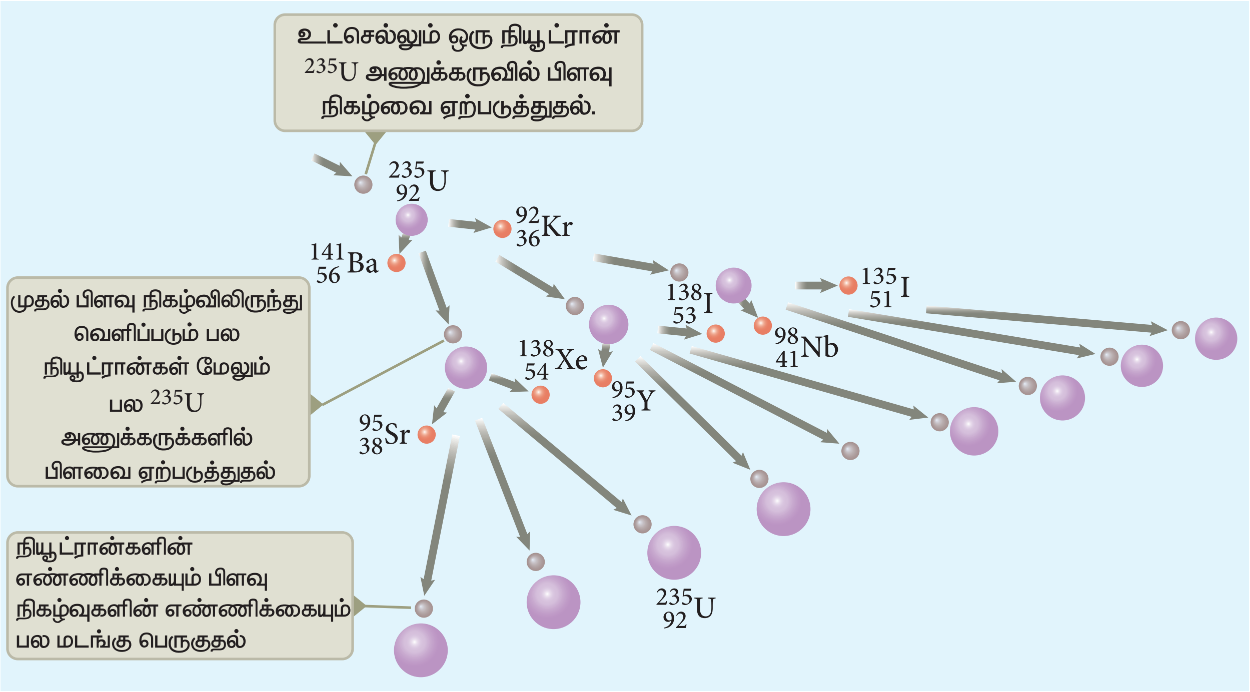
ஒரு $^{235}_{92}U$ அணுக்கரு பிளவுக்கு உட்படும்போது உருவாகும் ஆற்றல் சிறியதாக இருப்பினும், ஒவ்வொரு பிளவு வினையிலும் மூன்று நியூட்ரான்கள் உருவாகின்றன. அவை மூன்றும், மேலும் மூன்று $^{235}_{92}U$ அணுக்கருக்களைப் பிளந்து மொத்தம் 9 நியூட்ரான்களை உருவாக்குகின்றன. இந்த 9 நியூட்ரான்கள் ஒன்பது $^{235}_{92}U$ அணுக்கருக்களைப் பிளந்து மேலும் 27 நியூட்ரான்களை உருவாக்கி இந்த வினையை தொடர செய்கிறது. இதுவே தொடர்வினை எனப்படுகிறது. இதில் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை பெருக்குத் தொடர்ச்சியில் (geometric progression) பெருகிக் கொண்டே போகிறது (படம் 9.28).

இரண்டு விதமான தொடர் வினைகள் உள்ளன.

(i) கட்டுப்பாட்டிலுள்ள தொடர்வினை

(ii) கட்டுப்பாடற்ற தொடர்வினை: கட்டுப்பாடற்ற தொடர் வினையில் நியூட்ரான் எண்ணிக்கை முடிவில்லாமல் பெருகுவதால் மிகக்குறைந்த

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 180 04-03-2022 16:45:45



படம் 9.28 அணுக்கரு தொடர் வினை

நேரத்திலேயே மொத்த ஆற்றலும் வெளிப்படுகிறது. கட்டுப்பாடற்ற தொடர் வினையாக அணுக்கரு பிளவு நிகழ்வதற்கு ஒரு எடுத்துக்காட்டே அணுகுண்டு. இரண்டாம் உலகப்போரின் போது 1945 ஆம் ஆண்டு ஆகஸ்ட் 6 மற்றும் ஆகஸ்ட் 9 ஆகிய தினங்களில் ஜப்பானிலுள்ள ஹிரோசிமா மற்றும் நாகசாகி ஆகிய இரு இடங்களில் அமெரிக்கா அணுகுண்டை வீசியது. இதன் விளைவாக லட்சக்கணக்கில் மக்கள் உயிரிழந்து அவ்விரு நகரங்களுமே முழுமையாக அழிந்தது. அணுகுண்டுகளின் வெடிப்பினால் ஏற்படும் பக்க விளைவுகளால் அப்பகுதிகளில் வாழும் மக்கள் இன்றளவும் பாதிப்புக்கு உள்ளாகின்றனர்.

ஒரு தொடர் வினையில் வெளியிடப்படும் ஆற்றலைக் கணக்கிட இயலும். முதல் படியில் ஒரு அணுக்கருவில் பிளவை ஒரு நியூட்ரான் துவங்குவதால் மூன்று நியூட்ரான்களும், 200 MeV ஆற்றலும் உருவாகின்றன. இரண்டாவது படியில் மூன்று அணுக்கருக்களும் மூன்றாவது படியில் ஒன்பது அணுக்கருக்களும் நான்காவது படியில் 27 அணுக்கருக்களும் இவ்வாறு தொடர்ச்சியாக உருவாகின்றன. நூறாவது படியில் பிளவுக்கு உட்படும் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை 2.5×10^{40} ஐத் தொடும். இவ்வாறு 100 வது படியில் தோற்றுவிக்கப்படும் ஆற்றலின் மதிப்பு $2.5\times10^{40}\times200\,MeV = 8\times10^{29}\,J$. இது உண்மையிலேயே மிகப்பெரிய ஆற்றலாகும், இது தமிழ்நாட்டின் பல ஆண்டுகளுக்கான மின்னாற்றல் தேவைக்கு சமமானதாகும்.

இத்தொடர் வினையைக் கட்டுக்குள் வைக்க முடிந்தால், மாபெரும் ஆற்றலை நம் தேவைகளுக்காக நாம் பயன்படுத்த இயலும். இது கட்டுப்பாட்டிலுள்ள தொடர் வினையில் இது சாத்தியமாகும். கட்டுப்பாட்டிலுள்ள தொடர்வினையில் ஒவ்வொரு நிலையிலும் வெளியேற்றப்படும் நியூட்ரான்களின் சராசரி எண்ணிக்கை ஒன்று என்றளவில் கட்டுப்படுத்தப்படுவதால், இதில் வெளிப்படும் ஆற்றலை சேமிக்க இயலும். அணுக்கரு உலைகளில் தொடர்வினை கட்டுக்குள் இருத்தப்படுவதால் உருவாக்கப்படும் ஆற்றலானது மின்திறன் உற்பத்திற்கும் ஆராய்ச்சி நோக்கத்திற்கும் பயன்படுத்தப்படுகிறது

எடுத்துக்காட்டு 9.15

1kg நிறையுள்ள $^{235}_{92}U$ பிளவுறும் போது வெளிப்படும் ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

235 g $^{235}_{92}U$ இல் 6.02×10^{23} அணுக்கள் உள்ளன.

1 g $^{235}_{92}U$ இல் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை

$$= \frac{6.02\times10^{23}}{235} = 2.56\times10^{21}$$

1 kg ல் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை $^{235}_{92}U$

$= 2.56\times10^{21}\times1000 = 2.56\times10^{24}$

ஒவ்வொரு $^{235}_{92}U$ பிளவையிலிருந்தும் 200 MeV ஆற்றல் வெளிப்படும் எனவே, 1kg $^{235}_{92}U$ விலிருந்து வெளிப்படும் மொத்த ஆற்றல்,

$$Q = 2.56\times10^{24}\times200MeV = 5.12\times10^{26}MeV$$

இதை ஜூல் அலகிற்கு மாற்றும் போது,

$$Q = 5.12\times10^{26}\times1.6\times10^{-13}J = 8.192\times10^{13}J.$$

இதை கிலோவாட்–மணி அலகிற்கு மாற்றும் போது,

$$Q = \frac{8.192\times10^{13}}{3.6\times10^{6}} = 2.27\times10^{7}\ kWh$$

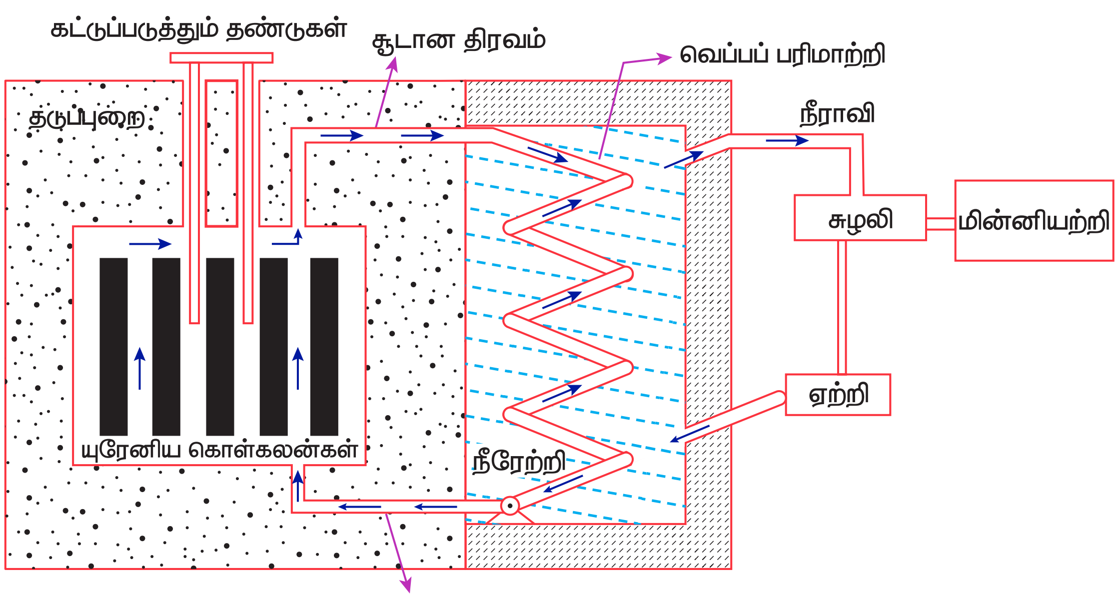
100 W ஒளி விளக்கு ஒன்றினை 30,000 ஆண்டுகள் இயக்குவதற்குத் தேவையான அளவிற்கு இது மிகப்பெரிய அளவிலான ஆற்றலாகும். வேதிவினைகளின் மூலம் இவ்வாற்றலைப் பெற வேண்டுமானால் 20,000 டன் TNT (டிரை நைட்ரோ டொலுவீன்)–ஐ வெடிக்கச் செய்ய வேண்டும்.

அணுக்கரு உலை

அணுக்கரு உலை என்பது தற்சார்புடைய மற்றும் கட்டுக்குள் இருக்கும் வகையில் அணுக்கரு பிளவு நடைபெறும் அமைப்பாகும். இதில் உருவாகும் ஆற்றல் ஆராய்ச்சித் தேவைகளுக்கோ அல்லது மின்திறன் உருவாக்கத்திற்கோ பயன்படுத்தப்படுகிறது. முதல் அணுக்கரு உலை என்ரிகோ பெர்மி (Enrico Fermi) என்ற இயற்பியல் அறிஞரால் 1942ஆம் ஆண்டு அமெரிக்க நாட்டின் சிகாகோ நகரில் கட்டப்பட்டது. அணுக்கரு உலையின் முக்கிய பாகங்கள் : எரிபொருள் (அணுக்கருப்பிளவுக்கு உட்படும் பொருள்), தணிப்பான், மற்றும் கட்டுப்படுத்தும் தண்டுகள். இவை தவிர, மின்சார உற்பத்தி அமைப்புடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் குளிர்விக்கும் அமைப்பும் உள்ளது.

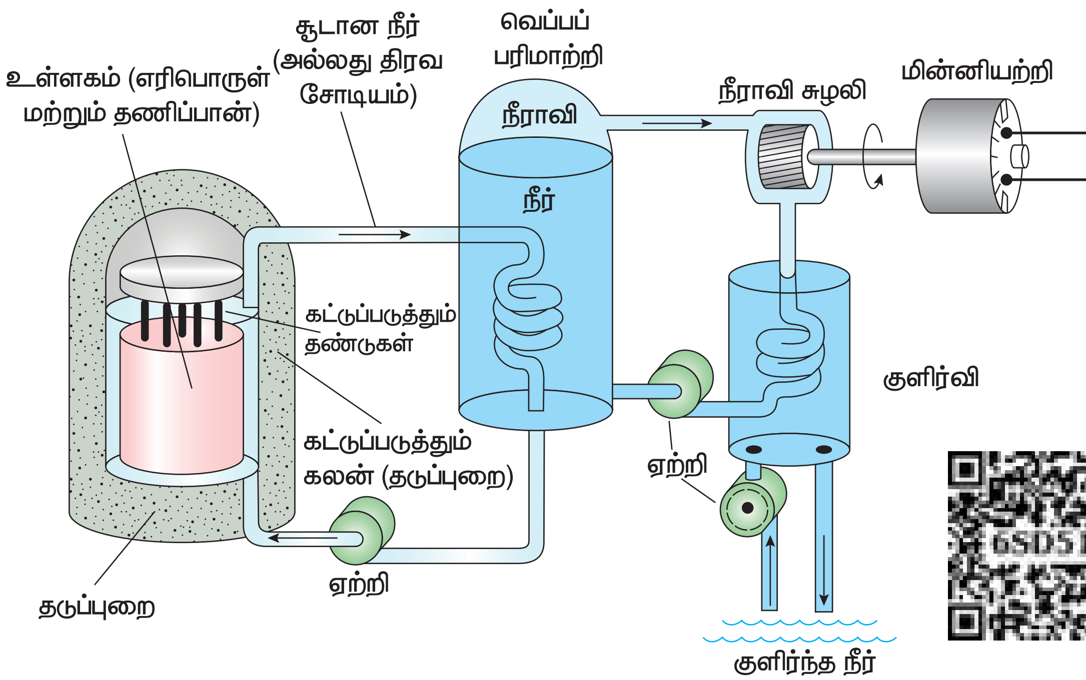
எரிபொருள்: எரிபொருள் என்பது அணுக்கரு பிளவுக்கு உட்படும் பொருள் (பொதுவாக, யுரேனியம் அல்லது புளூட்டோனியம்). இயற்கையில் கிடைக்கும் யுரேனியத்தில் 0.7% அளவே $^{235}_{92}U$ உள்ளது, 99.3% அளவு $^{238}_{92}U$ உள்ளது. எனவே, $^{238}_{92}U$ செறிவூட்டப்பட்டு, அதில் 2–4% அளவு $^{235}_{92}U$ இருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது. இதைத் தவிர, தொடர் வினையைத் துவக்குவதற்கு நியூட்ரான் மூலம் தேவைப்படுகிறது. புளூட்டோனியம் அல்லது பொலோனியத்துடன் பெரிலியம் கலந்த கலவை நியூட்ரான் மூலமாகப் பயன்படுகிறது. $^{235}_{92}U$ இன் அணுக்கரு பிளவின் போது வெளிப்படும் வேக நியூட்ரான்களால் மற்றொரு அணுக்கருவைப் பிளவடைய செய்வதற்கு மிகக் குறைந்த வாய்ப்பே உள்ளது. எனவே அணுக்கரு வினைகள் தொடர்ந்து நடைபெறுவதற்கு குறைவேக நியூட்ரான்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

தணிப்பான்கள்: வேக நியூட்ரான்களை குறைவேக நியூட்ரான்களாக மாற்றுவதற்கு உதவும் பொருள் தணிப்பான் எனப்படும். பொதுவாக, நியூட்ரான்களின் நிறைக்குச் சமமான நிறையுடைய இலேசான அணுக்கருக்களே தணிப்பான்களாகப்



படம் 9.29 (அ) அணுக்கரு உலையின் கட்டப்படம்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 182 04-03-2022 16:45:53



படம் 9.29 (ஆ) அணுக்கரு உலையின் குறியீட்டுப் படம்

பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த இலேசான அணுக்கருக்களுடன் வேக நியூட்ரான்கள் மோதலை நிகழ்த்தும் போது நியூட்ரான்களின் வேகம் குறைக்கப்படுகிறது. (பில்லியட் பந்து ஒன்று நிலையாகவுள்ள, சமநிறை கொண்ட மற்றொரு பில்லியட் பந்துடன் மோதும் போது ஓய்வு நிலைக்கு வருவதையும், அதே பந்து நிறை அதிகம் கொண்ட வேறொரு பொருளுடன் மோதும் போது, அதே வேகத்துடன் திருப்பி அனுப்பப்படுவதையும் பார்த்திருக்கலாம். இக்காரணத்தினாலேயே தணிப்பான்களில் இலேசான அணுக்கருக்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன). பெரும்பாலான உலைகளில் கனநீர் (D_2O) மற்றும் கிராபைட் ஆகிய பொருள்களே தணிப்பான்களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. யுரேனிய அடுக்குகளின் தொகுதியுடன் இடையில் கிராபைட் தண்டுகள் (தணிப்பான்கள்) இணைக்கப்பட்டு ஒரு பெரிய அடுக்காக உள்ளதைப் படம் 9.29(அ) மற்றும் (ஆ)ல் காணலாம்.

கட்டுப்படுத்தும் தண்டுகள்: அணுக்கரு பிளவு வினை நடைபெறும் வீதத்தை சரிசெய்வதற்கு அல்லது கட்டுக்குள் வைப்பதற்கு கட்டுப்படுத்தும் தண்டுகள் பயன்படுகின்றன. ஒவ்வொரு அணுக்கரு பிளவின் போதும் சராசரியாக 2.5 நியூட்ரான்கள் வெளியேறுகின்றன. எனவே, தொடர் வினையைக் கட்டுக்குள் வைப்பதற்கு ஒரேயொரு நியூட்ரான் மட்டுமே அடுத்த பிளவை ஏற்படுத்துமாறு செய்யப்பட்டு, மற்ற நியூட்ரான்கள் கட்டுப்படுத்தும் தண்டுகளால் உட்கவரப்படுகின்றன.

பொதுவாக, காட்மியம் அல்லது போரான் ஆகியவை கட்டுப்படுத்தும் தண்டுப்பொருளாக செயல்படுகிறது. மேலும், படம் 9.29(அ) மற்றும் (ஆ) இல் காட்டியுள்ளபடி யுரேனிய அடுக்குகளில் இத்தண்டுகள் செருகி வைக்கப்படுகின்றன. யுரேனியத்தில் கட்டுப்படுத்தும் தண்டுகளின் செருகப்படும் ஆழத்தைப் பொருத்து ஒரு பிளவில் உருவாகும் சராசரி நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ஒன்று அல்லது அதற்கு மேலாக வைக்க இயலும். ஒரு பிளவில் உருவாகும் சராசரி நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ஒன்று எனில், அணுக்கரு உலை செயல்பாட்டு நிலையில் (critical state) உள்ளது எனலாம். உள்ளபடி, கட்டுப்படுத்தும் தண்டுகளைத் தகுந்த முறையில் சரி செய்து அமைப்பதன் மூலம் அனைத்து அணுக்கரு உலைகளும் செயல்பாட்டு நிலையிலேயே வைக்கப்படுகின்றன. எண்ணிக்கை ஒன்றை விட அதிகமாக இருப்பின் அவ்வுலை மீச்செயல்பாட்டு நிலையை (super–critical) எட்டுகிறது; விரைவில் அது வெடித்து மிகப்பெரிய அழிவை ஏற்படுத்தக் கூடும்.

தடுப்பு அமைப்பு (Shielding): தீமை பயக்கும் கதிர்வீச்சுகளிலிருந்து நம்மை பாதுகாத்துக் கொள்ள 2–2.5 m தடிமனுள்ள கற்காரையினால் (concrete) ஆன சுவரானது அணுக்கரு உலையைச் சுற்றி அமைக்கப் படுகிறது.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 183 04-03-2022 16:45:54

குளிர்விக்கும் அமைப்பு: அணுக்கரு உலையின் உள்ளகத்தில் உருவாகும் வெப்பத்தை நீக்க குளிர்விக்கும் அமைப்பு உதவுகிறது. மிக அதிக தன் வெப்ப ஏற்புத்திறனும், அதிக அழுத்தத்தில் அதிக கொதிநிலையையும் கொண்டுள்ள நீர், கனநீர் மற்றும் திரவ சோடியம் ஆகியவை குளிர்விப்பான்களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. படம் 9.29(அ) மற்றும் (ஆ)–வில் காட்டப்பட்டுள்ளபடி, குளிர்விப்பான் அமைப்பானது, எரிபொருள் அடுக்கின் வழியே சென்று உட்கவர்ந்த வெப்பத்தை நீராவி இயற்றிக்குக் கடத்துகின்றது. நீராவியினால் சுழலிகள் (turbines) இயக்கப்பட்டு மின்சார உற்பத்தி உலைகளில் மின்னாற்றல் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது.

குறிப்பு

இந்தியாவில் தற்போது 22 அணுக்கரு உலைகள் செயல்பாட்டில் உள்ளன. தமிழ்நாட்டில் கல்பாக்கம், கூடங்குளம் ஆகிய இரு இடங்களில் அணுக்கரு உலைகள் கட்டப்பட்டுள்ளன. நம் ஆற்றல் தேவையை நிறைவேற்றுவதே அணுக்கரு உலைகளின் நோக்கமாக இருப்பினும் இந்தியாவின் ஆற்றல் தேவையில் வெறும் 2% அளவு மட்டுமே அவற்றால் வழங்க முடிகிறது.

9.8 அணுக்கரு இணைவு (Nuclear fusion)

இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட குறைந்த நிறை கொண்ட ($A<20$) அணுக்கருக்கள் இணைந்து அதிக நிறை கொண்ட அணுக்கருவை உருவாக்கும் நிகழ்வு அணுக்கரு இணைவு எனப்படும். அணுக்கரு இணைவில் உருவாகும் அணுக்கருவின் நிறையானது தொடக்கத்தில் உள்ள அணுக்கருக்களின் நிறைகளின் கூடுதலை விடக் குறைவாக இருக்கும். அணுக்கரு பிளவைப் போல அறை வெப்ப நிலையில் அணுக்கரு இணைவு நிகழாது. ஏனெனில், குறைந்த நிறையுடைய இரு அணுக்கருக்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்கும் போது கூலூம் விலக்கு விசையினால் அவை கடுமையாக விலக்கப்படுகின்றன.

இவ்விலக்கு விசையை ஈடு செய்து, அவற்றை மிகவும் அருகாமையில் நெருங்கச் செய்ய அதிக அளவிலான இயக்க ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. அருகாமையில் வந்த பிறகு வலிமைமிகு அணுக்கரு விசை செயல்படத் துவங்கி விடும். வெப்பநிலை மிக அதிகமாக, ஏறக்குறைய 10^7 K, இருந்தால் மட்டுமே இது சாத்தியமாகும். சூழலின் வெப்பநிலை 10^7 Kஐ நெருங்கும் போது குறைந்த நிறையுடைய அணுக்கருக்கள் இணைந்து அதிக நிறையுடைய அணுக்கருவை உருவாக்குவதால் இந்நிகழ்வு வெப்ப அணுக்கரு இணைவு வினை என்றழைக்கப்படுகிறது.

விண்மீன்களில் ஆற்றல் உருவாதல்:

விண்மீன்களின் வெப்பநிலை கிட்டத்திட்ட 10^7 K அளவில் இருப்பதால் இயற்கையிலேயே அணுக்கரு இணைவு நடைபெறுகிறது. ஒவ்வொரு விண்மீனிலும் ஆற்றல் உருவாகும் நிகழ்வு ஒரு வெப்ப அணுக்கரு இணைவு வினையே. நம் சூரியன் உட்பட பெரும்பாலான விண்மீன்களில் ஹைட்ரஜன் இணைந்து ஹீலியமும் சில விண்மீன்களில் ஹீலியம் இணைந்து மேலும் அதிக நிறையுடைய தனிமங்களும் உருவாகின்றன.

விண்மீனின் தொடக்க கட்டத்தில் மேகமும் தூசுகளும் மட்டுமே காணப்படுகின்றன. தன் ஈர்ப்பு விசையினால் அம்மேகங்கள் உள்நோக்கி வீழ்கின்றன. இதனால் ஈர்ப்பழுத்த ஆற்றல் இயக்க ஆற்றலாகவும் இறுதியில் வெப்ப ஆற்றலாகவும் மாறுகிறது. வெப்ப அணுக்கரு வினையைத் துவக்கத் தேவையான வெப்பநிலையை அடைந்தபின் ஏராளமான ஆற்றல் வெளிப்படுவதனால் உள்நோக்கிய வீழ்வு தடுக்கப்பட்டு விண்மீன் சமநிலையை எட்டுகிறது.

சூரியனின் உட்பகுதி வெப்ப நிலை ஏறக்குறைய 1.5×10^7 K. ஒவ்வொரு வினாடியும் அது 6×10^{11} kg ஹைட்ரஜனை ஹீலியமாக மாற்றுகிறது. இந்த இணைவு வினை மேலும் 5 பில்லியன் ஆண்டுகளுக்கு நீடித்திருப்பதற்குத் தேவையான ஹைட்ரஜன் சூரியனில் உள்ளது. அனைத்து ஹைட்ரஜனும் எரிந்த பிறகு, சிவப்புப் பெருமீன் (red giant) என்ற புதிய கட்டத்தை சூரியன் அடையும். இதில் ஹீலியம் இணைந்து கார்பனாக மாறுகின்ற அணுக்கரு இணைவு வினை நடக்க ஆரம்பிக்கும். இக்கட்டத்தில், சூரியன் அனைத்து கோள்களையும் விழுங்கும் அளவிற்கு மிகப்பெரியதாக விரிவடையும்.

ஹான்ஸ் பெத்தே (Hans Bethe) என்பாரின் கருத்துப்படி சூரியனின் ஆற்றல் **புரோட்டான்–புரோட்டான் சுற்று** எனப்படும் இணைவு வினையினால் உருவாகிறது. இச்சுற்று மூன்று படிநிலைகளைக் கொண்டது, அதில் முதலிரண்டு படிநிலைகள் பின்வருமாறு:

$$ {}_1^1H + {}_1^1H \rightarrow {}_1^2H + e^+ + \nu \qquad (9.44)$$

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 184 04-03-2022 16:45:54

$$ {}_{1}^{1}H + {}_{1}^{2}H \rightarrow {}_{2}^{3}He + \gamma \qquad (9.45) $$

மூன்றாவது படிநிலையில் பல விதமான வினைகள் நிகழலாம். அதில் மேலோங்கிய ஒன்று,

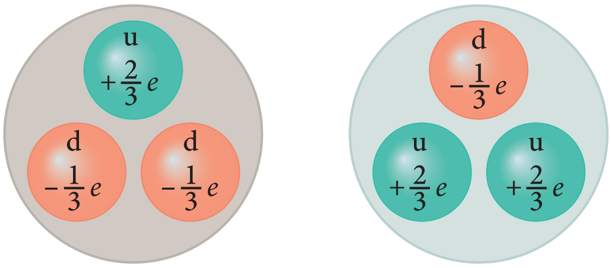
$$ {}_{2}^{3}He + {}_{2}^{3}He \rightarrow {}_{2}^{4}He + {}_{1}^{1}H + {}_{1}^{1}H \qquad (9.46) $$

மேலே குறிப்பிடப்பட்ட வினைகளில் உருவாகும் மொத்த ஆற்றலின் மதிப்பு 27 MeV. சூரியனிலிருந்து நாம் பெறுகின்ற கதிர்வீச்சு ஆற்றல் இந்த இணைவு வினைகளால் உருவாவதே.

அடிப்படைத் துகள்கள் (Elementary particles):

ஓர் அணுவில் அணுக்கருவும் அதனைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்களும் உள்ளன; அணுக்கரு புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்களைக் கொண்டது. புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள், எலக்ட்ரான்கள் ஆகியவையே பருப்பொருள்களின் அடிப்படைத் துகள்கள் என 1960கள் வரை நம்பப்பட்டு வந்தது. 1964ஆம் ஆண்டில் முர்ரே கெல்மேன் (Murray Gellman) மற்றும் ஜார்ஜ் ஸ்வேக் (George Zweig) ஆகிய இயற்பியல் அறிஞர்கள் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் அடிப்படைத் துகள்கள் அல்ல; அவை குவார்க்குகள் என்ற துகள்களால் ஆனவை என்ற கருத்தியலை முன்மொழிந்தனர். தற்போது இக்குவார்க்குகளே அடிப்படைத் துகள்களாகக் கருதப்படுகின்றன. ஆனால் எலக்ட்ரான்கள் வேறு எந்த துகள்களாலும் உருவாக்கப்படாததால் அவை அடிப்படைத் துகள்களாகவே கருதப்படுகின்றன.

1968ஆம் ஆண்டு அமெரிக்காவிலுள்ள ஸ்டான்போர்டு துகள் முடுக்கி மையத்தில் (SLAC) நடந்த சோதனைகளில் குவார்க்குகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. மேல்(up) குவார்க், கீழ்(down) குவார்க், கவர்வு (charm) குவார்க், புதுமை (strange) குவார்க், உச்சி (top) குவார்க், அடி (bottom) குவார்க் என ஆறு வகை குவார்க்குகளும் அவற்றின் எதிர்த்துகள்களும் உள்ளன. குவார்க்குகள் அனைத்துமே பின்ன மதிப்புடைய மின்னூட்டங்களைப்பெற்றுள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக, மேல் குவார்க்கின் மின்னூட்ட மதிப்பு $+\frac{2}{3}e$, மேலும் கீழ் குவார்க்கின் மின்னூட்ட மதிப்பு $-\frac{1}{3}e$. குவார்க் மாதிரியின்படி, ஒரு புரோட்டான் இரண்டு மேல் குவார்க்குகள், மற்றும் ஒரு கீழ் குவார்க்காலும் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதே போல், ஒரு நியூட்ரான் இரண்டு கீழ் குவார்க்குகள் மற்றும் ஒரு மேல் குவார்க்காலும் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 9.30)



படம் 9.30 நியூக்ளியான்களின் உட்கூறுகள்

அடிப்படைத் துகள்களை ஆராயும் இயல் 'துகள் இயற்பியல்' என்றழைக்கப்படுகிறது. இன்றும் இது தொடர்ந்து செயல் ஆய்வில் இருக்கும் ஒரு துறையாக உள்ளது. இது வரையிலும், இருபதுக்கு மேற்பட்ட இயற்பியல் நோபல் பரிசுகள் இத்துறையின் ஆராய்ச்சிக்காக வழங்கப்பட்டுள்ளன.

இயற்கையின் அடிப்படை விசைகள்:

இரு நிறைகளுக்கு இடையில் ஈர்ப்பு விசை செயல்படுவதையும் அது இயல்பில் அனைத்துக்கும் பொதுவான ஒன்று என்பதையும் அறிவோம். சூரியனின் ஈர்ப்பு விசையாலேயே அனைத்து கோள்களும் சூரியனை சுற்றி வருகின்றன. +2 இயற்பியல், தொகுதி–Iல் இரு மின்துகள்களுக்கு இடையே மின்காந்த விசை செயல்படுகிறது என்பதையும் நம் அன்றாட நிகழ்வுகள் பலவற்றில் அது முக்கிய பங்காற்றுகிறது என்பதையும் அறிந்தோம். இந்த அலகில், இரு நியூக்ளியான்களுக்கு இடையே ஒரு வலிமையான அணுக்கரு விசை செயல்படுகிறது என்பதையும் அணுக்கருவின் நிலைத்தன்மைக்கு இது காரணமாக உள்ளது என்றும் அறிந்தோம். இம்மூன்று விசைகளைத் தவிர, வலிமை குன்றிய விசை அல்லது மென்விசை (weak force) எனப்படும் மற்றொரு அடிப்படை விசையும் உள்ளது. இந்த மென் விசையானது அணுக்கரு விசையை விடக் குறைந்த தொலைவுகளில் செயல்படக் கூடியது. பீட்டா சிதைவு மற்றும் விண்மீன்களில் ஆற்றல் உருவாதல் ஆகிய நிகழ்வுகளில் இந்த விசை முக்கிய பங்காற்றுகிறது. சூரியனில் ஹைட்ரஜன் ஹீலியமாகும் நிகழ்வில் நியூட்ரினோக்களும் ஏராளமான கதிர்வீச்சுகளும் மென் விசையினாலேயே உருவாகின்றன. மென் விசையின் விரிவான செயல்படுமுறை இப்பாடநூலின் நோக்கத்திற்கு அப்பாற்பட்டது. மென் விசையைப் பற்றி மேலும் அறிந்து கொள்ள, தகுந்த குறிப்புதவி நூல்களைப் படித்தல் வேண்டும்.

ஈர்ப்புவிசை, மின்காந்தவிசை, அணுக்கருவிசை மற்றும் மென் விசை ஆகிய நான்கும் இயற்கையின்

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 185 04-03-2022 16:45:56

அடிப்படை விசைகள். நம் அன்றாட வாழ்வில் கூட இந்த அடிப்படை விசைகள் தேவைப்படுகின்றன அல்லது முக்கிய பங்காற்றுகின்றன என்பது ஒரு வியப்பான உண்மை. எளிமையாகச் சொன்னால், நாம் பூமியில் இருப்பதற்கு புவியின் ஈர்ப்பு விசை காரணமாக உள்ளது. நாம் புவியின் பரப்பில் இருத்தலுக்கு புவிப்பரப்பிலுள்ள அணுக்களுக்கும் நம் பாதத்திலுள்ள அணுக்களுக்கும் இடையேயுள்ள மின்காந்த விசை காரணமாக உள்ளது. நம் உடலிலுள்ள அணுக்கள் நிலைத்தன்மையுடன் இருப்பதற்கு வலிமையான அணுக்கரு விசை தேவைப்படுகிறது. இறுதியாக, பூமியிலுள்ள பல்வேறு உயிரினங்களின் வாழ்விற்குத் தேவையான சூரிய ஆற்றல், சூரியனிலிருந்து உருவாதலுக்குக் காரணமாகவும், சூரியனின் உள்ளகத்தில் அணுக்கரு இணைவு வினை நிகழ்வதற்கும் மென்விசை முக்கிய பங்கு வகிக்கிறது.

பாடச்சுருக்கம்

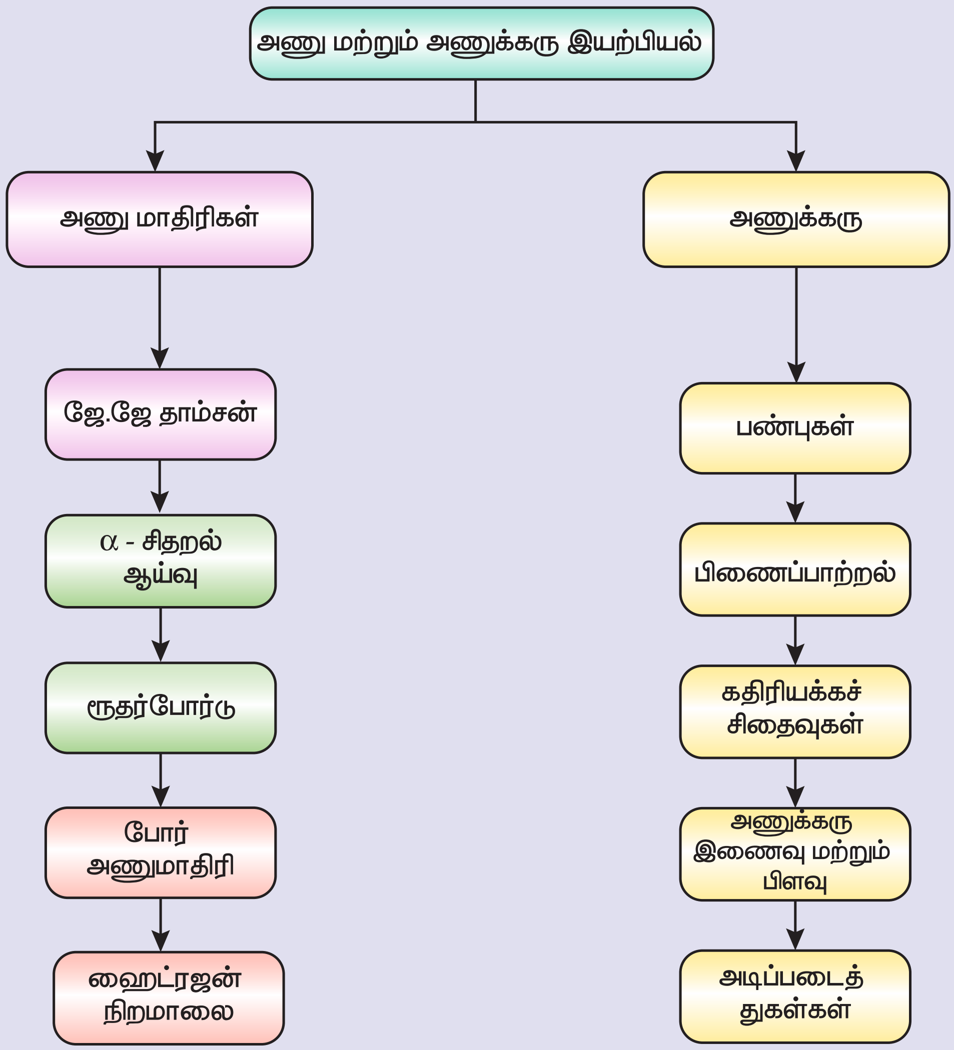
- வளிமங்களின் வழியே மின்னோட்டம் பாயும் நிகழ்வினை ஆராய உதவும் கருவி மின்னிறக்கக் குழாய் எனப்படும்.
- ஓரலகு நிறைக்கான மின்னூட்ட மதிப்பு மின்னூட்ட எண் அல்லது இயலுறு மின்னூட்டம் (normalised charge) எனப்படும். இது வளிமத்தையோ மின்வாய்களின் இயல்பையோ சார்ந்ததல்ல.
- 180^{o} கோணத்தில் திருப்பப்படுவதற்கு முன்னராக ஆல்பா துகளின் நிலைக்கும் அணுக்கருவின் மையத்திற்கும் இடையே உள்ள சிறும தொலைவு மீச்சிறு அணுகு தொலைவு r_0 எனப்படும்.
- வெகு தொலைவில் ஆல்பா துகள் உள்ள நிலையில் அதன் திசைவேக வெக்டரின் திசைக்கும் அணுக்கருவின் மையத்திற்கும் இடைப்பட்ட செங்குத்து தொலைவு 'மோதல் காரணி b' என வரையறுக்கப்படுகிறது.
- போர் அணு மாதிரியின்படி, கோண உந்தம் குவாண்டம் தன்மை உடையது.
- போர் அணு மாதிரியில் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் $r_n = a_0 \frac{n^2}{Z} \; ms^{-1}$
- முதல் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் $a_0 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2} = 0.529$ Å, இது போர் ஆரம் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.
- nஆவது சுற்றுப்பாதையில் எலக்ட்ரானின் திசைவேகம் $\upsilon_n = \frac{h}{2\pi m a_0} \frac{Z}{n}$
- நுண்வரியமைப்பு மாறிலி $\alpha = \frac{1}{137}$. இது பரிமாணமற்ற மாறிலி.
- nஆவது சுற்றுப்பதையில் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் $E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{Z^2}{n^2} = -13.6 \frac{1}{n^2} eV$
- குறைந்த ஆற்றல் நிலையிலிருந்து அதிக ஆற்றல் நிலைக்கு ஒரு எலக்ட்ரானை கிளர்வுறச் செய்யத் தேவைப்படும் ஆற்றல் கிளர்வு ஆற்றல் எனப்படும், அதற்கு தேவையான மின்னழுத்தம் கிளர்வு மின்னழுத்தம் எனப்படும்.
- அடி நிலையிலுள்ள ஒரு எலக்ட்ரானை அணுவிலிருந்து வெளியேற்றத் தேவைப்படும் சிறும ஆற்றல் அயனியாக்க ஆற்றல் எனப்படும்.
- அயனியாக்க ஆற்றலைப் பெற எலக்ட்ரானை முடுக்குவிக்கத் தேவைப்படும் மின்னழுத்த வேறுபாடு அயனியாக்க மின்னழுத்தம் எனப்படும்.
- லைமன் வரிசைக்கான நிறமாலை வரிகளின் அலைநீளம் புற ஊதாப் பகுதியிலும் பாமர் வரிசைக்கான அலைநீளம் கண்ணுறு ஒளிப் பகுதியிலும் பாஷன் மற்றும் பிராக்கெட் வரிசைகளுக்கான அலைநீளங்கள் அகச்சிவப்புப் பகுதியிலும் அமைகின்றன.
- Z அணு எண்ணும் A நிறை எண்ணும் கொண்ட தனிமத்தின் (X) அணுக்கரு $^{A}_{Z}X$ என்று குறிக்கப்படுகிறது.
- நிறை எண் A கொண்ட அணுக்கருவின் ஆரம் $R = R_0 A^{1/3}$ இங்கு $R_0 = 1.2\,F$

அணுக்கருவின் அடர்த்தி $\rho = 2.3 \times 10^{17}\, kg\, m^{-3}$

- M, m_p மற்றும் m_n ஆகியவை முறையே அணுக்கரு, புரோட்டான் மற்றும் நியூட்ரானின் நிறைகள் எனில், நிறை இழப்பு $\Delta m = \left(Zm_p + Nm_n\right) - M$
- அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல் $B.E = \left(Zm_p + Nm_n - M\right)c^2$
- இரும்பு அணுக்கருவின் ஒரு நியூக்ளியானுக்கான சராசரி பிணைப்பாற்றல் பெரும மதிப்பைப் (8.8 MeV) பெற்றுள்ளது.
- ஆல்பா சிதைவு ${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$
- β^- சிதைவு ${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^- + \overline{\nu}$
- β^+ சிதைவு ${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^+ + \nu$
- காமா உமிழ்வு ${}^{A}_{Z}X^* \longrightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$
- கதிரியக்கச் சிதைவு விதி $N = N_0\, e^{-\lambda t}$
- பொதுவாக, n அரை ஆயுள்களுக்குப் பிறகு சிதைவடையாமல் இருக்கும் அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை $N = \left(\frac{1}{2}\right)^n N_0$
- அரை ஆயுளுக்கும் சிதைவு மாறிலிக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பு $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.6931}{\lambda}$
- சராசரி ஆயுள் $\tau = \frac{1}{\lambda}$; $T_{1/2} = \frac{0.6931}{\lambda} = 0.6931\tau$.
- அதிக நிறை கொண்ட ஒரு அணுக்கரு குறைந்த நிறை கொண்ட அணுக்கருக்களாக சிதைவுறுவது அணுக்கரு பிளவு எனப்படும்.
- குறைந்த நிறை கொண்ட இரு அணுக்கருக்கள் அதிக நிறை கொண்ட அணுக்கருவாக இணைவது அணுக்கரு இணைவு எனப்படும்.
- அணுக்கரு உலைகளில் அணுக்கரு தொடர்வினை கட்டுக்குள் உள்ளது. விண்மீன்களில் அணுக்கரு இணைவு நிகழ்வினால் ஆற்றல் உருவாகிறது.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 187 04-03-2022 16:46:02

கருத்து வரைபடம்


அணு மற்றும் அணுக்கரு இயற்பியல்
அணு மாதிரிகள்
அணுக்கரு
ஜே.ஜே தாம்சன்
α - சிதறல் ஆய்வு
ரூதர்போர்டு
போர் அணுமாதிரி
ஹைட்ரஜன் நிறமாலை
பண்புகள்
பிணைப்பாற்றல்
கதிரியக்கச் சிதைவுகள்
அணுக்கரு இணைவு மற்றும் பிளவு
அடிப்படைத் துகள்கள்

மதிப்பீடு

I சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடுத்தல்

1. மின்னழுத்தம் V வோல்ட் மூலமாக முடுக்கப்படும் ஆல்ஃபா துகள் ஒன்று அணு எண் Z கொண்ட அணுக்கருவை நோக்கி மோதலுக்கு உட்பட அனுமதிக்கப்படும் போது, அணுக்கருவிலிருந்து ஆல்பா துகளின் மீச்சிறு அணுகு தொலைவு

(a) $14.4\frac{Z}{V}$ Å (b) $14.4\frac{V}{Z}$ Å

(c) $1.44\frac{Z}{V}$ Å (d) $1.44\frac{V}{Z}$ Å

2. ஹைட்ரஜன் அணுவில் நான்காவது சுற்றுப்பாதையில் இயங்கும் எலக்ட்ரானின் கோண உந்தம்:

(a) h (b) $\frac{h}{\pi}$

(c) $\frac{4h}{\pi}$ (d) $\frac{2h}{\pi}$

3. $n = 1$ சுற்றுப்பாதைக்கு அயனியாக்க அழுத்தம் 122.4 V கொண்ட அணுவின் அணு எண் :

(a) 1 (b) 2 (c) 3 (d) 4

4. ஹைட்ரஜன் அணுவின் முதல் மூன்று சுற்றுப்பாதைகளின் ஆரங்களின் விகிதம்

(a) 1:2:3 (b) 2:4:6

(c) 1:4:9 (d) 1:3:5

5. கேதோடு கதிர்களின் மின்னூட்டம்

(a) நேர்க்குறி (b) எதிர்க்குறி

(c) நடுநிலை (d) வரையறுக்கப் படவில்லை

6. ஜே.ஜே தாம்சன் e/m ஆய்வில், 2.6 kV மின்னழுத்தத்தில் முடுக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான மின் மற்றும் காந்தப்புல மதிப்புள்ள 3.0×10^4 Vm^{-1} மற்றும் 1.0×10^{-3} T பகுதியில் செலுத்தப்படும்போது விலக்கமடையாமல் செல்கிறது எனில் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட எண்

(a) 1.6×10^{10} $C\,kg^{-1}$

(b) 1.7×10^{11} $C\,kg^{-1}$

(c) 1.5×10^{11} $C\,kg^{-1}$

(d) 1.8×10^{11} $C\,kg^{-1}$

7. Li^{++}, He^{+} மற்றும் H ஆகியவற்றில் $n = 2$ லிருந்து $n = 1$க்கு நகர்வு ஏற்படும் போது உமிழப்படும் அலைநீளங்களின் விகிதம்:

(a) 1: 2: 3 (b) 1: 4: 9

(c) 3:2:1 (d) 4: 9: 36

8. ஒரு புரோட்டான் மற்றும் ஒரு எலக்ட்ரானின் மின்னழுத்தம் $V = V_0 \ln\left(\frac{r}{r_0}\right)$ எனக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. (இங்கு r_0 ஒரு மாறிலி) மின்னழுத்தத்திற்கு போர் அணு மாதிரியைப் பயன்படுத்தினால், முதன்மை குவாண்டம் எண் nஐப் பொறுத்து nஆவது சுற்றுப்பாதை r_n இன் மாறுபாட்டின் தன்மை

(a) $r_n \propto \frac{1}{n}$ (b) $r_n \propto n$

(c) $r_n \propto \frac{1}{n^2}$ (d) $r_n \propto n^2$

9. ^{27}Al அணுக்கரு ஆரம் 3.6 பெர்மி எனில் ^{64}Cu அணுக்கரு ஆரம் ஏறக்குறைய

(a) 2.4 (b) 1.2

(c) 4.8 (d) 3.6

10. அணுக்கரு கிட்டத்தட்ட கோள வடிவம் கொண்டது எனில் நிறை எண் A கொண்ட அணுக்கரு ஒன்றின் பரப்பு ஆற்றல் எவ்வாறு மாறுபடும்?

(a) $A^{2/3}$ (b) $A^{4/3}$

(c) $A^{1/3}$ (d) $A^{5/3}$

11. $^{7}_{3}Li$ அணுக்கருவின் நிறையானது அதிலுள்ள அனைத்து நியூக்ளியான்களின் மொத்த நிறையை விட 0.042 u குறைவாக

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 189 04-03-2022 16:46:08

உள்ளது எனில், $^{7}_{3}Li$ அணுக்கருவின் ஒரு நியூக்ளியானுக்கான பிணைப்பாற்றல்:

(a) 46 MeV (b) 5.6 MeV

(c) 3.9MeV (d)23 MeV

12. M_p என்பது புரோட்டானின் நிறையையும் M_n என்பது நியூட்ரானின் நிறையையும் குறிக்கும். Z புரோட்டான்களும் N நியூட்ரான்களும் கொண்ட அணுக்கரு ஒன்றின் பிணைப்பாற்றல் B எனில் அவ்வணுக்கருவின் நிறை M(N,Z) ஆனது: (இங்கு c என்பது ஒளியின் வேகம்)

(a) $M(N,Z) = NM_n + ZM_p - Bc^2$

(b) $M(N,Z) = NM_n + ZM_p + Bc^2$

(c) $M(N,Z) = NM_n + ZM_p - B/c^2$

(d) $M(N,Z) = NM_n + ZM_p + B/c^2$

13. (தொடக்க நிறை எண் A மற்றும் தொடக்க அணு எண் Z கொண்ட) கதிரியக்க அணுக்கரு ஒன்று 2 ஆல்பா துகள்கள் மற்றும் 2 பாசிட்ரான்களை உமிழ்கிறது. இறுதி அணுக்கருவின் நியூட்ரான் மற்றும் புரோட்டான் எண்களின் விகிதம்:

(a) $\frac{A-Z-4}{Z-2}$ (b) $\frac{A-Z-2}{Z-6}$

(c) $\frac{A-Z-4}{Z-6}$ (d) $\frac{A-Z-12}{Z-4}$

14. கதிரியக்கத் தனிமம் A இன் அரை ஆயுட்காலம் மற்றொரு கதிரியக்கத் தனிமம் B–இன் சராசரி ஆயுட்காலத்திற்கு சமமாகும். தொடக்கத்தில் அவ்விரண்டு தனிமங்களின் அணுக்களின் எண்ணிக்கை சமமாக உள்ளது எனில்:

(a) A மற்றும் Bன் தொடக்கச் சிதைவு வீதம் சமம்

(b) A மற்றும் B ன் சிதைவு வீதம் எப்போதும் சமம்

(c) A வைவிட B வேகமாக சிதைவடையும்

(d) B யை விட A வேகமாக சிதைவடையும்

15. $t = 0$ நேரத்தில் அமைப்பு ஒன்றிலுள்ள அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை N_0. அரை ஆயுட்காலத்தில் பாதியளவு காலம் ($t = \frac{1}{2}T_{\frac{1}{2}}$) ஆகும் போது உள்ள அணுக்கருக்களின் எண்ணிக்கை:

(a) $\frac{N_0}{2}$ (b) $\frac{N_0}{\sqrt{2}}$

(c) $\frac{N_0}{4}$ (d) $\frac{N_0}{8}$

விடைகள்

1) b	2) d	3) c	4) c	5) b
6) b	7) d	8) b	9) c	10) A
11) b	12) c	13) b	14) c	15) b

II. சிறுவினாக்கள்

1. கேத்தோடு கதிர்கள் என்றால் என்ன?
2. கேத்தோடு கதிர்களின் பண்புகளை எழுதுக.
3. ரூதர்போர்டு ஆல்பா சிதறல் ஆய்வின் முடிவுகளைக் கூறுக.
4. போர் அணு மாதிரியின் கருதுகோள்களைக் கூறுக.
5. கிளர்வு ஆற்றல் என்றால் என்ன?
6. அயனியாக்க ஆற்றல் மற்றும் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் – வரையறுக்கவும்.
7. போர் அணு மாதிரியின் குறைபாடுகளைக் கூறுக.
8. மீச்சிறு அணுகு தொலைவு என்றால் என்ன?
9. மோதல் காரணி– வரையறுக்கவும்.
10. தனிமத்தின் அணுக்கருவின் குறியீட்டு முறையை எழுதுக. அதில் ஒவ்வொரு உறுப்பும் எதைக் குறிக்கின்றன?
11. ஐசோடோப்பு என்றால் என்ன? எடுத்துக்காட்டு ஒன்று தருக.
12. ஐசோடோன் என்றால் என்ன? எடுத்துக்காட்டு ஒன்று தருக.
13. ஐசோபார் என்றால் என்ன? எடுத்துக்காட்டு ஒன்று தருக.
14. வரையறு– அணுநிறை அலகு u.
15. அனைத்து அணுக்கருக்களின் (Z>10) அணுக்கரு அடர்த்தி மாறிலி எனக் காட்டுக.
16. நிறை குறைபாடு என்றால் என்ன?
17. அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல் என்றால் என்ன? அதன் கோவையை எழுதுக.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 190 04-03-2022 16:46:16

18. ஒரு அணு நிறை அலகிற்கு சமமான ஆற்றல் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

19. நியூக்ளியான் ஒன்றுக்கான பிணைப்பாற்றல் என்பதன் அர்த்தத்தை கூறுக.

20. கதிரியக்கம் என்றால் என்ன?

21. குறியீட்டு முறையில் பின்வருவனவற்றை எழுதுக: (i) ஆல்பா சிதைவு (ii) பீட்டா சிதைவு (iii) காமா உமிழ்வு

22. ஆல்பா சிதைவில் நிலைத்தன்மையற்ற ஒரு அணுக்கரு ஏன் $_{2}^{4}He$ அணுக்கருவை உமிழ்கிறது? நான்கு தனித்தனி நியூக்ளியான்களை அது ஏன் உமிழ்வதில்லை?

23. அணுக்கருவின் சராசரி ஆயுட்காலம் என்றால் என்ன? அதன் சமன்பாட்டினை எழுதுக.

24. அணுக்கருவின் அரை ஆயுட்காலம் என்றால் என்ன? அதன் சமன்பாட்டினை எழுதுக.

25. கதிரியக்கச் செயல்பாடு அல்லது சிதைவு வீதம் என்றால் என்ன? அதன் அலகு என்ன?

26. கியூரி–வரையறுக்கவும்.

27. நியூட்ரான் மற்றும் புரோட்டான் ஆகியவை எந்த துகள்களினால் ஆனவை?

III. நெடுவினாக்கள்

1. எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட எண்ணைக் கண்டறிய உதவும் ஜே.ஜே. தாம்சன் ஆய்வினை விவரிக்கவும்.

2. எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட மதிப்பைக் கண்டறிய உதவும் மில்லிகன் எண்ணெய்த் துளி ஆய்வினை விவரிக்கவும்.

3. போர் அணு மாதிரியைப் பயன்படுத்தி ஹைட்ரஜன் அணுவின் ஆற்றலுக்கான கோவையைத் தருவிக்கவும்.

4. ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறமாலை தொடர்களை விளக்குக.

5. நிறை எண்ணைப் பொருத்து சராசரி பிணைப்பாற்றலின் மாறுபாட்டை வரைபடத்துடன் விளக்கி அதன் இயல்புகளை விளக்குக.

6. அணுக்கரு விசையைப் பற்றி விளக்குக.

7. ஆல்பா சிதைவு நிகழ்வினை எடுத்துக்காட்டுடன் விளக்குக.

8. பீட்டா சிதைவு நிகழ்வினை எடுத்துக்காட்டுடன் விளக்குக.

9. காமா உமிழ்வு நிகழ்வினை எடுத்துக்காட்டுடன் விளக்குக.

10. கதிரியக்க சிதைவு விதியினைத் தருவிக்க.

11. நியூட்ரினோவின் பண்புகளை விளக்கி பீட்டா சிதைவில் அதன் பங்கினை எடுத்துரைக்க.

12. கார்பன் காலக்கணிப்பை விளக்கவும்.

13. அணுக்கரு பிளவு நிகழ்வினையும் அதன் பண்புகளையும் எடுத்துரைக்க.

14. அணுக்கரு இணைவினை விளக்கி விண்மீன்களில் ஆற்றல் உருவாதலை விரிவாக எழுதுக.

15. படத்தின் உதவியுடன் அணுக்கரு உலை வேலை செய்யும் விதத்தை விளக்கவும்.

16. நான்கு அடிப்படை விசைகளைப் பற்றி விரிவாக எழுதவும்.

17. இயற்கையில் உள்ள அடிப்படைத் துகள்களைப் பற்றி விளக்குக.

IV. பயிற்சிகள்

1. அடிநிலையிலுள்ள H_A மற்றும் H_B ஆகிய இரு ஹைட்ரஜன் அணுக்களைக் கருதவும். H_A ஓய்வு நிலையில் உள்ளது. குறிப்பிட்ட வேகத்துடன் இயங்கும் H_B அணு, ஓய்வு நிலையிலுள்ள H_A அணுவின் மீது நேருக்கு நேர் மோதுகிறது. மோதலுக்குப் பின் அவையிரண்டும் ஒன்றாக இணைந்து இயங்குகின்றன. இவ்விரு ஹைட்ரஜன் அணுக்களில் ஏதேனும் ஒன்று முதல் கிளர்வு நிலையை அடைய வேண்டும் என்றால் இயக்கத்தில் உள்ள H_B ஹைட்ரஜன் அணுவின் குறைந்தபட்ச இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

[விடை: 20.4 eV]

2. போர் அணு மாதிரியில், நிலைமாற்றங்களின் (transitions) அதிர்வெண் பின்வரும் சமன்பாட்டினால் அறியப்படுகிறது.

$$v = Rc\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right), \text{ இங்கு } n < m,$$

பின்வரும் நிலை மாற்றங்களைக் கருதுக.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 191 04-03-2022 16:46:17

நிலை மாற்றங்கள்	$m \rightarrow n$
1	$3 \rightarrow 2$
2	$2 \rightarrow 1$
3	$3 \rightarrow 1$

இந்நிலை மாற்றங்களின் அதிர்வெண் கூட்டல் விதிக்கு (இவ்விதி ரிட்ஸ் சேர்க்கைத் தத்துவம் என்றழைக்கப்படுகிறது) உட்படும் என்பதை நிறுவுக.

[விடை: $v_{3\rightarrow2} + v_{2\rightarrow1} = v_{3\rightarrow1}$]

3. (அ) ஹைட்ரஜன் அணு ஒன்று அலைநீளம் 97.5 nm கொண்ட கதிர்வீச்சினால் கிளர்வுற செய்யப்படுகிறது. அக்கிளர்வு நிலையின் முதன்மைக் குவாண்டம் எண்ணைக் கணக்கிடுக.

(ஆ) வெளிவிடு நிறமாலையில் வரிகளின் மொத்த எண்ணிக்கை $\frac{n(n-1)}{2}$ என்று காட்டுக. மேலும் கேள்வி (அ)–வில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள கிளர்வு நிலையிலிருந்து கிடைக்கும் வெளிவிடு நிறமாலையில் சாத்தியமாகும் வரிகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுக.

[விடை : அ) n =4 ஆ) ஆறு நிலைமாற்றங்கள் சாத்தியம்]

4. புவியின் அடர்த்தியும் அணுக்கருவின் அடர்த்தியும் ஒன்றாக இருப்பின் புவியின் ஆரத்தைக் கணக்கிடுக. (புவியின் நிறை= $5.97\times10^{24} kg$)

[விடை: 180 m]

5. $^{108}_{47}Ag$ அணுக்கருவின் நிறை இழப்பு மற்றும் ஒரு நியூக்ளியானுக்கான பிணைப்பாற்றல் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடவும். ($^{108}_{47}Ag$ அணு நிறை= Ag =107.905949 u)

விடை: $\left[\begin{array}{l}\Delta m = 0.990391u \text{ and} \\ \overline{B.E} = 8.5 MeV\end{array}\right]$

6. A மற்றும் B ஆகிய இரு கதிரியக்கத் தனிமங்களின் அரை ஆயுட்காலங்கள் முறையே 20 நிமிடங்கள் மற்றும் 40 நிமிடங்கள். தொடக்கத்தில் இவையிரண்டும் சம எண்ணிக்கையிலான அணுக்கருக்களைப் பெற்றுள்ளன எனில் 80 நிமிடங்களுக்குப் பிறகு A மற்றும் B ஆகியவற்றின் சிதைவடைந்த அணுக்கரு எண்ணிக்கைகளின் விகிதம் எவ்வளவு?

[விடை: 5:4]

7. அரை ஆயுட்காலம் 5.01 நாள்கள் கொண்ட சிறு அளவு ^{210}Bi தனிமத்தின் செயல்பாட்டினை உன் பிறந்தநாளன்று அளவிடுகிறாய் என வைத்துக் கொள்வோம். தொடக்கத்தில் அதன் செயல்பாடு $1\mu Ci$ (அ) உன் அடுத்த பிறந்தநாளில் அதன் தோராயமான கதிரியக்கச் செயல்பாட்டு மதிப்பு எவ்வளவு? மேலும் (ஆ) சிதைவு மாறிலி (இ) சராசரி ஆயுள் மற்றும் (ஈ) தொடக்கத்தில் இருந்த அணுக்களின் எண்ணிக்கை ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

[விடை: (அ) $10^{-22}\mu Ci$ (ஆ) $1.6\times10^{-6} s^{-1}$ (இ) 7.23 நாள்கள் (ஈ) 2.31×10^{10}]

8. ரேடான் உள்ள சிறு அளவு கதிரியக்கப் பொருள் 60% சிதைவடைய ஆகும் காலத்தைக் கணக்கிடுக. (ரேடானின் $T_{1/2}$ =3.8 நாள்கள்)

[விடை: 5.022 நாள்கள்]

9. $^{235}_{92}U$ அணுக்கரு ஒன்று பிளவுறும் போது வெளிப்படும் ஆற்றல் 200 Mev எனக்கொண்டு, 1 watt திறனை உருவாக்க ஒரு வினாடியில் ஏற்பட வேண்டிய பிளவுகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுக.

[விடை: 3.125×10^{10}]

10. கதிரியக்கச் செயல்பாடு 1 Ci என்றிருக்கும் ரேடியத்தின் ($^{226}_{88}Ra$) நிறை ஏறக்குறைய 1 g எனக் காட்டுக. ($T_{1/2}$ =1600 ஆண்டுகள்)

11. தொல்லியல் பகுதி (archaeological site) ஒன்றிலிருந்து மரத்தின் கரித்துண்டுகள் கிடைக்கின்றன. தற்போது உயிருடன் உள்ள மரத்திலிருந்து பெறப்பட்ட சிறுபகுதியிலுள்ள கார்பன்–14ன் அளவைப் போல் இக்கரியிலுள்ள அதேயளவு மாதிரியில் காணப்படும் கார்பன்–14 ன் அளவு 17.5% மட்டுமே உள்ளது எனில் அம்மரத்தின் வயது என்ன?

[விடை: 1.44×10^4 yr]

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 192 04-03-2022 16:46:24

மேற்கோள் நூல்கள் (BOOKS FOR REFERENCE)

1. Introduction to Modern Physics, H.S. Mani and G.K. Mehta, East-West Press, New Delhi
2. Concepts of Modern Physics, Arthur Beiser, McGraw Hill, 6th edition
3. Concepts of Physics – H. C. Verma, Volume 2, Bharati Bhawan Publisher
4. Fundamentals of Physics, Halliday, Resnick and Walker, Wiley Publishers, 10th edition
5. Physics for scientist and engineers with modern physics, Serway and Jewett, Brook/Coole publishers, 8th edition
6. Physics for scientist and engineers with modern physics, Paul Tipler and Gene Mosca, Sixth edition, W.H.Freeman and Company

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 193 04-03-2022 16:46:24

இணையச் செயல்பாடு

அணு மற்றும் அணுக்கரு இயற்பியல்

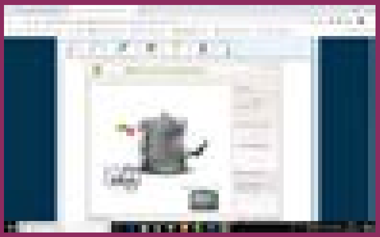
இந்த செயல்பாட்டின் மூலம் மாணவர்கள் (i) மில்லிகனின் எண்ணெய்த் துளி ஆய்வினை மெய்நிகர் வகுப்பறையில் செயல்விளக்கமளிப்பார்கள். (ii) எண்ணெய்த் துளியின் முற்றுத் திசைவேகத்தை கண்டுபிடிப்பார்கள் (iii) எண்ணெய்த் துளிகள் மீதான மின்னூட்டத்தை கண்டுபிடிப்பார்கள்.

தலைப்பு: மில்லிகனின் எண்ணெய்த் துளி ஆய்வு

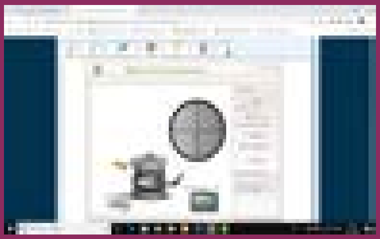
படிகள்

- உலாவியைத் திறந்து முகவரிப் பட்டியில் "vlab.amrita.edu" எனத் தட்டச்சு செய்க.
- 'Physical Sciences' என்ற தாவலைக் கிளிக் செய்க. பின்னர் 'Modern Physics Virtual Lab' இணைப்பை கிளிக் செய்து , 'Millikan's oil drop experiment' ஐ கிளிக் செய்க. "simulator" என்ற தாவலுக்கு செல்லுங்கள்.
- 'START' பொத்தானைக் கிளிக் செய்க. எண்ணெய் அல்லது கிளிசரினை தெரிவு செய்யுங்கள்.
- Stop watch ல் உள்ள 'START' பொத்தானை கிளிக் செய்து இரண்டு புள்ளிகளுக்கு (0 மற்றும் 0.5செமீ என எடுத்துக் கொள்ளலாம்) இடையே குறிப்பிட்ட தூரத்தை l_1 கடக்க எண்ணெய்த் துளி எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தை t_1 என கணக்கிடுக. எண்ணெய்த் துளியின் முற்றுத் திசைவேகத்தை $\upsilon_1 = \frac{l_1}{t_1}$ என்ற சமன்பாட்டை பயன்படுத்தி கணக்கிடுக,
- 'Voltage On' ஐ கிளிக் செய்து, மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பை மாற்றம் செய்து எண்ணெய்த் துளியினை சமநிலைக்கு கொண்டு வரவும். சமநிலை மின்னழுத்தம் V மதிப்பை காண்க.
- 'X Ray ON' கிளிக் செய்து இரண்டு புள்ளிகளுக்கு இடையே குறிப்பிட்ட தூரத்தை l_2 கடக்க எண்ணெய்த் துளி எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தை t_2 என கணக்கிடுக. எண்ணெய்த் துளியின் முற்றுத் திசைவேகத்தை $\upsilon_2 = \frac{l_2}{t_2}$ என்ற சமன்பாட்டை பயன்படுத்தி கணக்கிடுக.
- q = $\frac{6\pi\eta r(\upsilon_1 + \upsilon_2)d}{V}$ என்ற சமன்பாட்டை பயன்படுத்தி எண்ணெய்த் துளியின் மின்னூட்டத்தை கணக்கிடுக. r–எண்ணெய்த் துளியின் ஆரம் (நுண்ணோக்கியை பயன்படுத்தி கண்டுபிடிக்கலாம்), η– காற்றின் பாகுநிலை எண் 1.81×10^{-5} kgm^{-1}s^{-1}, d என்பது இரண்டு தட்டுகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு.

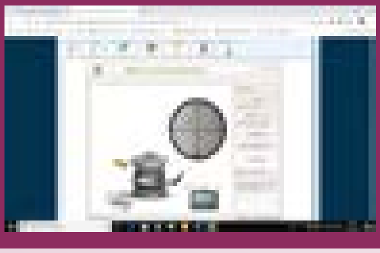
படி 1



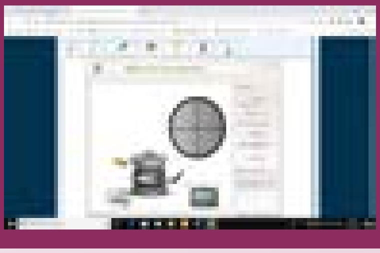
படி 2



படி 3



படி 4



குறிப்பு:

1. உங்கள் மின்னஞ்சல் கணக்கை பயன்படுத்தி ஒருமுறை பதிவு செய்ய வேண்டும்.
2. உங்கள் உலாவியில் flash player இல்லையென்றால் அதனை நிறுவவும்.

உரலி:

http://vlab.amrita.edu/index.php?sub=1&brch=195&sim=357&cnt=4

*படங்கள் அடையாளத்திற்கு மட்டும்.

* தேவையெனில் Flash Player or Java Script அனுமதிக்க.

XII_Physics_Vol-2_UNIT-9_TM.indd 194 04-03-2022 16:46:25