26 కేంద్రకాలు మరియు రేడియోధార్మికత

ద్రవ్య నిర్మాణంలో వాడిన అతిచిన్న పలక పరమాణువు అని మనం తెలుసుకొన్నాం. పరమాణువు న్యూక్లియస్ అనడే చిన్న అంతర్భాగం (కేంద్రకం) ను కలిగి ఉంటుంది. దాని చుట్టూ కొన్ని నిర్ణీత కక్ష్యల్లో ఎలక్ట్రాన్‌లు తిరుగుతుంటాయి. చిన్నదైనా కేంద్రకం సంక్లిష్టమైనది. దీని గురించి మీరు మరింత తెలుసుకోవాలనుకుంటున్నారు కదా! 19 శతాబ్దం చివరలో సహజ రేడియో ధార్మికతను కనుగొనే ప్రయత్నంలో నుండి న్యూక్లియస్‌ల భౌతికశాస్త్రాన్ని అర్థంచేసుకోవడం ప్రారంభమైంది. స్థిరత్వాన్ని పొందడానికి పరమాణు కేంద్రకం విఘటనం చెందడాన్ని సహజ రేడియో ధార్మికత అంటారు. ఈ ఆవిష్కరణ కేంద్రక నిర్మాణాన్ని కనుక్కోవడానికి కావలసిన పరిజ్ఞానాన్ని అందించింది. దాని పరిమాణం, ద్రవ్యరాశి ఎంత? దీనిలో ఏముంటుంది? ఇది తయారుకావడానికి వాడిన కణాలను ఏ బలాలు కట్టి ఉంచాయి?ఎందుకు? లాంటి ప్రశ్నలకు సమాధానాలు కనుక్కుందాం.

పరమాణువులో ఏముందో చూడడానికి గిగల్ మరియు మార్స్‌డెన్ వాడిన $\alpha-$కణాలను $^{214}B_i$ అనే సహజ రేడియో మూలకం నుండి పొందారు. ఈ పరిశోధనలు చాలా ఫలవంతమయి కొత్త పరిశోధనలకు దారితీసాయి. కొద్ది కాలంలోనే కొత్త పరమాణు భౌతికశాస్త్రం ఆవిర్భవించి శాస్త్ర పురోగతిని మార్చివేసింది. వీటి గురించి ఇప్పుడు తెలుసుకుంటారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠాన్ని చదివిన తరవాత కింది విషయాలను మీరు తెలుసుకొంటారు.

- వివిధ పరమాణువులలో ఉన్న న్యూట్రాన్లు మరియు ప్రోటాన్ల సంఖ్య కనుక్కోవడం.
- పరమాణు పరిమాణాన్ని కనుక్కోవడం.
- నూక్లియాన్‌ల మధ్య ఉండే బలాల స్వభావాన్ని వివరించడం.

- ద్రవ్యరాశి లోపం మరియు బంధన శక్తులను వివరించడం.
- రేడియో ధార్మికత దృగ్విషయాన్ని వివరించడం మరియు మూడు రకాలైన రేడియోధార్మిక వికిరణాలను గుర్తించడం.
- ఒక నమూనాలో రేడియోధార్మికత వృద్ధి మరియు క్షయం నియమాలను వివరించండం.
- రేడియో ధార్మిక పదార్థం యొక్క అర్థ జీవితకాలం మరియు క్షయ స్థిరాంకాలను కనుక్కోవడం.
- వివిధ రంగాల్లో రేడియోధార్మికత అనువర్తనాలను వివరించడం.

26.1 పరమాణు కేంద్రకం

1911లో రూథర్‌ఫోర్డ్ పరమాణువులో కేంద్రకాన్ని కనుగొన్న తరవాత, భౌతికశాస్త్రజ్ఞులు కేంద్రకంలో ఏముంటుందో తెలుసుకోడానికి ప్రయత్నించారు. 1932లో జేమ్స్ ఛాడ్‌విక్ (James Chadwick) న్యూట్రాన్‌ను కనుగొనటం పరిశోధనలకు ఊతం ఇచ్చింది. న్యూట్రాన్లు, ప్రోటాన్లతో కేంద్రకం నిర్మితమవుతుందని శాస్త్రలోకానికి తెలిసింది.

26.1.1 ఆవేశం మరియు ద్రవ్యరాశి

పరమాణు కేంద్రకం రెండు రకాలైన కణాలను కలిగి ఉంటుంది. అవి **ప్రోటాన్లు, న్యూట్రాన్లు**. ప్రోటాన్లు ధనావేశం గలవైతే, నూట్రాన్లు తటస్థ కణాలు. ఎలక్ట్రానులు కొన్ని ప్రత్యేక కక్ష్యల్లో కేంద్రకం చుట్టూ తిరుగుతూ రుణావేశం కలిగి ఉంటాయి. కేంద్రకంలో ఉన్న ప్రోటాన్ల మీద ఆవేశ పరిమాణం ఎలక్ట్రాన్‌లపై ఉన్న ఆవేశ పరిమాణానికి సరిగ్గా సమానం. అంతేకాక కేంద్రకంలో ఉన్న ప్రోటాన్ల సంఖ్య, ఎలక్ట్రాన్‌ల సంఖ్యకు సమానం. దీనివల్ల పరమాణువు ఆవేశం మొత్తం మీద తటస్థమవుతుంది.

న్యూట్రాన్‌లను, ప్రోటాన్‌లను కలిపి నూక్లియాన్‌లు అనిటారు. కేంద్రకంలో వీటి మొత్తం సంఖ్య అనగా నూక్లియాన్‌ల సంఖ్యను ద్రవ్యరాశి సంఖ్య అంటారు. దీన్ని A తో సూచిస్తారు. కేంద్రకంలోని ప్రోటాన్ల సంఖ్య (లేదా పరమాణువులో ఎలక్ట్రాన్‌ల సంఖ్య)ను పరమాణు సంఖ్య అంటారు. దీన్ని Z తో సూచిస్తారు. కేంద్రకంలో ఉన్న న్యూట్రాన్‌ల సంఖ్యను సాధారణంగా $N = A - Z$ అని వ్రాస్తారు. మామూలుగా $N \geq Z$, A పెరిగిన కొద్దీ $(N - Z)$ భేదం పెరుగుతుంది. 3 ప్రోటాన్లు, 4 న్యూట్రాన్లుగల లిథియం (Lithium) నూక్లియస్ పరమాణు సంఖ్య $Z = 3$ మరియు ద్రవ్యరాశి సంఖ్య $A = 7$.

ప్రోటాన్లు, న్యూట్రాన్ల కంటె తేలికైనవి. దాదాపు భారమంతా దాని కేంద్రకంలో సాంద్రీకృతమయి ఉంటుంది. కేంద్రకం ద్రవ్యరాశి, ద్రవ్యరాశి సంఖ్య A మరియు ఒక ప్రోటాన్ ద్రవ్యరాశి (లేదా ఒక న్యూట్రాన్ ద్రవ్యరాశి) ల లబ్ధానికి దాదాపు సమానం. ప్రోటాన్ భారం 1.67×10^{-27} kg మరియు A విలువ చాలా కేంద్రకాలకు 1 నుండి 240 మధ్య ఉంటుంది. కాబట్టి కేంద్రకాల ద్రవ్యరాశి సుమారుగా 1.67×10^{-27} kg నుండి 4.0×10^{-25} kg ల మధ్య ఉంటుంది.

కేంద్రక ఆవేశం Ze కి సమానం. e (ఎలక్ట్రాన్‌పై ఆవేశం యొక్క పరిమాణం) ఆవేశానికి మూల ప్రమాణం. అది 1.6×10^{-19} C కు సమానం. సహజ సిద్ధంగా లభించే కేంద్రకాలకు Z విలువలు 1 నుండి 92 వరకు మారుతూ ఉంటాయి. ట్రాన్స్‌రానిక్ (Transuranic) మూలకాలకు (కృత్రిమంగా ఉత్పత్తి చేయబడినవి) Z విలువలు 93 నుండి 105 వరకు ఉంటాయి.

26.1.2 పరిమాణం

కేంద్రక పరిమాణాన్ని సాధారణంగా వ్యాసార్ధాల్లో తెలుపుతారు. చాలా కేంద్రకాలు గోళాకారంగా ఉంటాయి. వీటి వ్యాసార్ధాన్ని (R) సుమారుగా ఈ కింది ఫార్ములాలో కనుక్కోవచ్చు.

$$R = r_0 A^{1/3}$$

ఇక్కడ r_0 ప్రమాణ న్యూక్లియర్ వ్యాసార్ధం. దీని విలువను 1.2 ఫెర్మి (fermi) గా తీసుకొంటారు. (ఫెర్మి పొడవుకు ప్రమాణం. దీని విలువ 10^{-15} మీ. దీని పేరు ఎర్నిక్ ఫెర్మి (Eenrico Fermi) జ్ఞాపకార్థం పెట్టారు). అతి తేలికైన హైడ్రోజన్ కేంద్రక పరిమాణం 1.2 f (హైడ్రోజన్ A = 1). అతి బరువైన సహజ సిద్ధంగా లభించే యురేనియం న్యూక్లియస్ వ్యాసార్ధం సుమారుగా 7.5 f (A = 238). ఏ గోళాకారానికైనా వ్యాసార్ధం $r = \left[\frac{4}{3}\right]\pi R^3$ కాబట్టి కేంద్రక ఘనపరిమాణం, ద్రవ్యరాశి సంఖ్య A కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

పరమాణువుతో పోల్చిన కేంద్రకం ఘనపరిమాణం ఎంతో మీరు ఊహించగలరా? కేంద్రకం పరిమాణం 10^{-15} m అని, పరమాణు పరిమాణం 10^{-10} m అని మనకు తెలుసు. దీనివల్ల పరమాణు పరిమాణం కేంద్రకం పరిమాణం కన్నా 10^{+5} రెట్లు ఎక్కువ అని తెలుస్తుంది. దీనిని ఎలా ఊహించవచ్చు అంటే, భాక్రానంగల్ డామ్‌లోని నీరు పరమాణు పరిమాణం అయితే కేంద్రకం పరిమాణం ఒక బక్కెట్ నీళ్ళు అంత.

మీరు కేంద్రక ద్రవ్యం యొక్క సాంద్రత పరిమాణం గురించి తెలుసుకోవాలనుకుంటున్నారు గదా? 1.1673×10^{-2} kg ద్రవ్యరాశి మరియు 1.2×10^{15} m వ్యాసార్ధంగల అతి తేలికైన గోళాకార హైడ్రోజన్ కేంద్రకాన్ని తీసుకోండి. దాని సాంద్రతను కింది సమీకరణాన్ని ఉపయోగించి కనుక్కోవచ్చు.

$$d_H = \frac{M_H}{\frac{4\pi}{3} R_H^3} = \frac{1.673 \times 10^{-27}\,kg}{\frac{4\pi}{3} \times (1.2 \times 10^{-5}\,m)^3} = 2.3 \times 10^{17}\,kgm^{-3}$$

ఆక్సిజన్‌కు $R_0 = 3 \times 10^{-15}\,m$ మరియు $M_0 = 2.7 \times 10^{26}\,kg$ అందువల్ల

$$d_0 = 2.39 \times 10^{17}\,kg\,m^{-3}.$$

అంటే హైడ్రోజన్ మరియు ఆక్సిజన్ సాంద్రతలు ఒకే ఘాతంలో ఉన్నాయి. నీటి సాంద్రత 10^3 kg m^{-3} అని పాదరస సాంద్రత 13.6×10^3 kg m^{-3} అని తెలుసు. అనగా కేంద్రక ద్రవ్యం అత్యంత సాంద్రత కలిగి ఉన్నది. దీన్ని అవగాహన చేసుకోడానికి కింది విషయాలను ఊహించండి. భూమి, కేంద్రకం ద్రవ్యం అంత సాంద్రత కలదైన 184 m వ్యాసార్ధంగల గోళంగా ఉండేది (బరువు 6×10^{24} kg) అలాగే సూర్యుడంత బరువున్న కేంద్రకం వ్యాసార్ధం 10 km మాత్రమే అవుతుంది.

26.1.3 సంకేత పద్ధతి

ఒక మూలకం రసాయనిక సంకేతం X అయిన దాని కేంద్రకాన్ని $^{A}_{Z}X$ గా సూచిస్తారు. ఇక్కడ A ద్రవ్యరాశి సంఖ్య, Z పరమాణు సంఖ్య. ఉదాహరణకు 17 ప్రోటాన్లు, 18 న్యూట్రాన్లు ఉన్న క్లోరిన్ కేంద్రకాన్ని $^{35}_{17}Cl$ గా వ్రాయవచ్చు. 35 ద్రవ్యరాశి సంఖ్య అని గమనించగలరు.

వేరు వేరు మూలకాల్లోని ప్రోటాన్ల సంఖ్య వేరుగా ఉన్న అవి ఒకే ద్రవ్యరాశి సంఖ్యను కలిగి ఉండవచ్చు. ఒకే A విలువ కలిగి వేరువేరు Z విలువలుగల పరమాణువులను ఐసోబార్‌లు (Isobar) అంటారు.

A = 40 మరియు Z = 20 ఉన్న కాల్షియం యొక్క ఐసోబార్ A = 40, Z = 18 గల ఆర్గాన్ Z విలువ రసాయన ధర్మాన్ని నిర్ణయిస్తుంది కాబట్టి ఐసోబార్‌ల రసాయన ధర్మాలు ఒకేలా ఉండవు. ఒకే Z విలువ వేరువేరు A విలువలు ఉన్న ఒకే మూలకం పరమాణువులను ఐసోటోప్ (Isotopes) అంటారు. అంటే Z = 17, A = 35 గల క్లోరిన్ మరియు Z=17, A = 37 గల క్లోరిన్ ఒకే మూలకానికి చెందిన ఐసోటోప్‌లు. ఐసోటోపులు ఒకే Z విలువలు కలిగి ఉంటాయి. కాబట్టి అవి ఒకే రకమైన రసాయన ధర్మాలను చూపిస్తాయి. ఐసోటోప్‌ల కేంద్రకాల్లోని న్యూట్రాన్ల సంఖ్యలో భేదం ఉంటుందని గమనించండి. ఒకే న్యూట్రాన్ల సంఖ్య ఉన్న పరమాణువులను ఐసోటోన్‌లు (Isotones) అంటారు. A = 23, Z = 11 గల సోడియం, A = 24, Z = 12 గల మెగ్నీషియం యొక్క ఐసోటోన్.

ఉదాహరణ 26.1: $^{238}_{92}U$ పరమాణులోని ఎలక్ట్రాన్, ప్రోటాన్, న్యూట్రాన్ మరియు నూక్లియాన్‌ల సంఖ్యను కనుక్కోండి.

సాధన: $^{238}_{92}U$ యురేనియంకు సంకేతం. దీనిలో 92 ప్రోటాన్లు 238 నూక్లియాన్లు ఉన్నాయి. పరమాణు సంఖ్య Z = 92 = ప్రోటాన్ల సంఖ్య.

ద్రవ్యరాశి సంఖ్య A = 238 = (ప్రోటాన్లు + న్యూట్రాన్ల సంఖ్య) = న్యూక్లియాన్‌ల సంఖ్య

న్యూట్రాన్ల సంఖ్య = A – Z

= 238 – 92

= 146.

ఉదాహరణ 26.2: కింది జాబితాలో ఐసోటోప్, ఐసోబార్ మరియు ఐసోటోన్‌ల జతలను ఎన్నుకోండి.

$$^{12}_{6}C,\ ^{27}_{13}Al,\ ^{39}_{19}K,\ ^{22}_{14}Si,\ ^{76}_{32}Ge,\ ^{40}_{20}Ca,\ ^{76}_{34}Se,\ ^{14}_{6}C$$

సాధన: ఐసోటోప్స్ – (ఒకే Z విలువ): $^{12}_{6}C$ మరియు $^{14}_{6}C$

ఐసోటోన్స్ – (ఒకే A – Z విలువ): ($^{27}_{13}Al$ మరియు $^{22}_{14}Si$), ($^{39}_{19}K$ మరియు $^{40}_{20}Ca$)

ఐసోబార్స్ – (ఒకే A విలువ): ($^{76}_{32}Ge$ మరియు $^{76}_{34}Se$)

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 26.1

1. కింద వేరువేరు పరమాణువులకు ఐసోటోప్, ఐసోబార్ మరియు ఐసోటోన్‌ల సమూహంగా చేయండి.

   ${}^{16}_{8}O$, ${}^{207}_{82}Pb$, ${}^{12}_{6}C$, ${}^{40}_{18}A$, ${}^{3}_{1}H$, ${}^{7}_{3}Li$, ${}^{76}_{32}Ge$, ${}^{76}_{34}Se$, ${}^{3}_{2}He$, ${}^{40}_{20}Ca$, ${}^{7}_{4}Be$, ${}^{2}_{1}H$, ${}^{14}_{6}C$, ${}^{235}_{92}U$, ${}^{206}_{82}Pb$,

   ${}^{18}_{8}O$, ${}^{239}_{92}U$, ${}^{1}_{1}H$, ${}^{23}_{11}Na$, ${}^{27}_{13}Al$, ${}^{27}_{12}Mg$, ${}^{28}_{14}Si$, ${}^{37}_{17}Cl$, ${}^{35}_{17}Cl$

2. ఖాళీలను పూరించండి.

   i) న్యూట్రాన్ ప్రోటాను కంటె ....

   ii) ఒక పరమాణువులోని ప్రోటాన్ మరియు న్యూట్రాన్ల మొత్తం ఆ పరమాణువు .... సంఖ్య.

   iii) ప్రోటాన్ మరియు న్యూట్రాన్లను కలిపి .... అంటారు.

   iv) ${}^{27}_{13}Al$ లో న్యూట్రాన్ల సంఖ్య ....

   v) ${}^{28}_{14}Si$ ప్రోటాన్ల సంఖ్య ....

   vi) రెండు పరమాణువుల .... సంఖ్య వేరైన ఆ రెండు పరమాణువులు వేరువేరు మూలకాలకు చెందినవి అంటారు.

3. ద్రవ్యరాశి సంఖ్య, పరమాణు సంఖ్య, న్యూట్రాన్ సంఖ్యల్లో దేని సంఖ్య ఒకే మూలకానికి చెందిన పరమాణువుల్లో వేరుగా ఉండకూడదు. ....

26.1.4 ఏకీకృత పరమాణు ద్రవ్యరాశి (Unified Atomic Mass)

ప్రోటాన్ ద్రవ్యరాశి (m_p) ఎలక్ట్రాన్ ద్రవ్యరాశి (m_e) కన్నా 1836 రెట్లు ఎక్కువ అని ప్రయోగాత్మకంగా కనుగొన్నారు. న్యూట్రాన్ ద్రవ్యరాశి 1840 m_e. న్యూక్లియాన్ ద్రవ్యరాశితో పోల్చిన ఎలక్ట్రాన్ ద్రవ్యరాశి ఉపేక్షించవచ్చు కాబట్టి పరమాణు ద్రవ్యరాశికి మూలం న్యూక్లియాన్‌ల ద్రవ్యరాశియే. న్యూట్రాన్, ప్రోటాన్ కన్నా కొంచెం బరువుగా ఉంటుంది. అందువల్ల అన్ని పరమాణు ద్రవ్యరాశులను (ప్రోటాన్, న్యూట్రాన్ల ద్రవ్యరాశులను కూడా) తెలపడానికి ఒక ప్రమాణాన్ని ఎంపిక చేసుకోవలసిన అవసరం ఉంది. ప్రస్తుతం పరమాణు ద్రవ్యరాశులను కార్బన్ $\left({}^{12}C_6\right)$ ఐసోటోప్ వాస్తవిక ద్రవ్యరాశి పదాల్లో తెలుపుతారు. పరమాణు ద్రవ్యరాశి పరిమాణం (u)ను ${}^{12}C_6$ వాస్తవిక ద్రవ్యరాశిలో 1/12వ భాగంగా నిర్వచించారు. కార్బన్ పరమాణు ద్రవ్యరాశి 1.99267 x 10^{-26} kg అని మనకు తెలుసు కాబట్టి,

$$1u = \left(\frac{1}{12}\right) \times \text{ ఒక } A = 12 \text{ గల కార్బన్ పరమాణు ద్రవ్యరాశి}$$

$$= \left(\frac{1}{12}\right) \times 1.99267 \times 10^{-26} \text{kg}$$

$$= 1.660565 \times 10^{-27} \text{kg}$$

$$= 1.66 \times 10^{-27} \text{kg}$$

ప్రోటాన్ ద్రవ్యరాశి $\left(m_p\right) = 1.6723 \times 10^{-27}$ kg మరియు

న్యూట్రాన్ ద్రవ్యరాశి $(m_e) = 1.6747 \times 10^{-27}$ kg కాబట్టి, u పదాల్లో

$$m_p = \frac{1.6723 \times 10^{-27}}{1.6606 \times 10^{-27}} u = 1.00727u$$

మరియు $m_n = \frac{1.6747 \times 10^{-27}}{1.6606 \times 10^{-27}} u = 1.00865u$

మీరు ఎలక్ట్రాన్ ద్రవ్యరాశిని ($m_e = 9.1 \times 10^{-31}$kg) u పదాల్లో వ్రాయగలరా? మనం కేంద్రక ద్రవ్యరాశులను u పదాలలో వాడతాం కాబట్టి దీనికి సమానమైన శక్తిని తెలుసుకొనుటకు ఉపయోగకరం. దీన్ని కనుగొనుటకు $E = mc^2$ ఇక్కడ c శూన్యంలో కాంతి వేగం, ఐన్‌స్టీన్ ద్రవ్య-శక్తి తుల్యతా నియమాన్ని ఉపయోగిస్తాం.

$$1 \text{ u} = (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}) (2.9979 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2$$

$$= 14.92 \times 10^{-11} \text{ J.}$$

$$= \frac{14.92 \times 10^{-11}}{1.60 \times 10^{-13}} \text{MeV}$$

$$= 931.3 \text{ MeV.}$$

జౌల్ (J) కేంద్రక భౌతికశాస్త్రంలో చాలా పెద్ద ప్రమాణం. కనుక u ను MeV (మిలియన్ ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్)లో సూచిస్తారు.

ఒక మిలియన్ ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్ భేదంతో ఎలక్ట్రాన్ త్వరణంచెందినప్పుడు గ్రహించే శక్తి 1 MeV. ఇది 1.6×10^{-13} J సమానం.

26.1.5 ద్రవ్యరాశిలోపం, బంధన శక్తి (Mass Defect and Binding Energy)

ఏదైనా మూలకంలో కేంద్రకంలోని విడివిడి ప్రోటాన్ల, న్యూట్రాన్ల మొత్తం ద్రవ్యరాశి కంటే కేంద్రకం ద్రవ్యరాశి ఎప్పుడూ తక్కువగానే ఉంటుందని కనుగొన్నారు. ఒక కేంద్రకంలోని అన్ని న్యూక్లియాన్ల మొత్తం ద్రవ్యరాశి, కేంద్రకం యొక్క వాస్తవ ద్రవ్యరాశికి మధ్య భేదాన్ని **ద్రవ్యరాశి లోపం** (mass defect) అంటారు. ఉదాహరణకు హైడ్రోజన్ ఐసోటోప్ అయిన డ్యుటీరియం (deuterium) కేంద్రకంలో ఒక ప్రోటాను, ఒక న్యూట్రాన్ ఉంటాయి. ఈ కణాల ద్రవ్యరాశులు వరసగా 1.6723×10^{-27} kg మరియు 1.6747×10^{-27} kg అనగా ప్రోటాను, న్యూట్రాన్ల మొత్తం ద్రవ్యరాశి 3.34709×10^{-27} kg కాని డ్యుటీరియం కేంద్రక ద్రవ్యరాశి 3.34313×10^{-27} kg. అనగా ప్రోటాను,

న్యూట్రానుల ద్రవ్యరాశుల మొత్తం కన్నా డ్యుటీరియం కేంద్రక ద్రవ్యరాశి 3.96242 x 10^{-30} kg తక్కువ. దీనిని Δm తో సూచిద్దాం. గణితశాస్త్ర పరంగా $^{A}_{Z}X$ గా సూచింపబడ్డ పరమాణువుకు

న్యూక్లియాన్‌ల ద్రవ్యరాశుల మొత్తం $= Zm_p + (A - Z)m_n$

$$\Delta m = \left[Zm_p + (A - Z) m_n \right] - M \qquad \ldots \qquad (26.1)$$

ఇక్కడ M కేంద్రకం వాస్తవ ద్రవ్యరాశి.

ద్రవ్యరాశి లోపానికి తుల్యమైన శక్తిని ద్రవ్య-శక్తి తుల్యతా నియమాన్ని ఉపయోగించి కనుక్కోవచ్చు.

$$BE = \Delta mc^2 \text{Joules} \qquad \ldots \qquad (26.2)$$

డ్యుటిరీయంకు

$$BE = \left(3.962 \times 10^{-30}\,kg\right) \times \left(2.998 \times 10^{8}\,ms^{-1}\right)^2$$

$$= 35164 \times 10^{-14}\ kg\ m^2\ s^{-2}$$

$$= 3.5164 \times 10^{-13}\,J$$

$$= 2.223 \times 10^{6}\,eV$$

కనుక $1eV = 1.602 \times 10^{-19}\,J$

దీని అర్థం ఏమంటే డ్యూటిరీయం, కేంద్రకంలోని న్యూక్లియాన్‌లను అనగా ప్రోటాను, న్యూట్రాన్లను విడుదల చేయడానికి కనీసం 2.223 MeV శక్తిని పంపిణీ చేయాలి. దీన్ని మనం న్యూక్లియాన్‌లను బంధించే శక్తి ద్రవ్యరాశి లోపంగా కనిపిస్తుంది అని చెప్పవచ్చు. ఇది న్యూక్లియాన్‌లను బంధించడానికి వాడే బలాలకు వ్యతిరేకంగా పనిచేస్తుందని చెప్పవచ్చు.

ఒక న్యూక్లియాన్‌కు బంధన శక్తి, $B = \Delta m\, c^2 / A$

లేదా
$$B = \frac{\left[Zm_p + (A - Z) m_n - M \right] c^2}{A} \qquad \ldots \qquad (26.3)$$

$^{12}_{6}C$, మూలకానికి Z = 6, A = 12, (A – Z) = 12 – 6 = 6 మరియు

M = 12u, (1 u = 931.3 MeV)

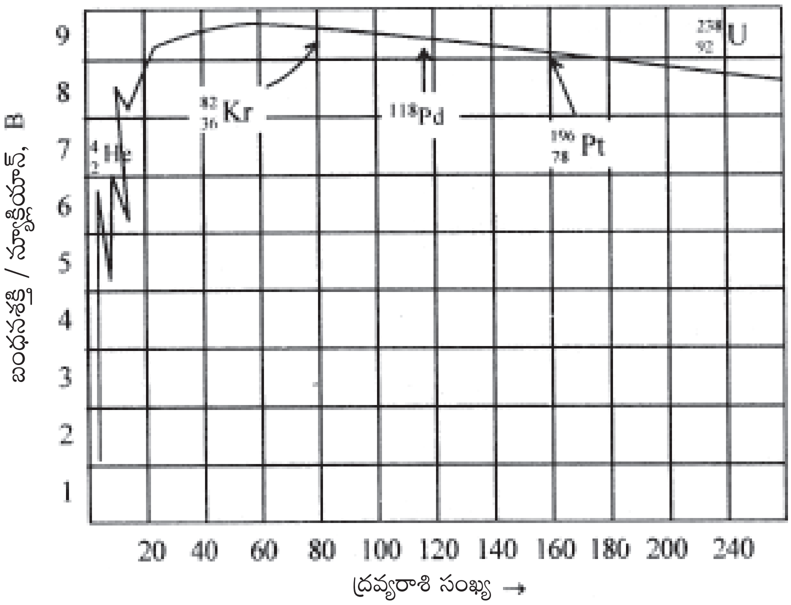
$$B = \frac{\left(6m_p + 6m_n - 12\right) \times 931.3}{12} MeV$$

$$= 7.14\ MeV$$

ఇక్కడ $m_p = 1.007274$ u మరియు $m_n = 1.00865$u గా తీసుకున్నాం.

కార్బన్ పరమాణువు కేంద్రకాన్ని విచ్ఛిన్నం చేసినప్పుడు సుమారు 90 MeV శక్తి వెలువడుతుంది. దీన్ని వివిధ పనులకు వీపయోగించవచ్చు. దీన్ని $^{238}_{92}U$ లాంటి భార మూలకం కేంద్రక విచ్ఛిత్తిలో పొందవచ్చు. దీన్ని గురించి మీరు తరవాతి పాఠంలో నేర్చుకుంటారు. ఇది పరమాణు బాంబు శక్తికి జనకం.

మనం హీలియం (A = 4) నుండి ఇనుము (A = 56) ఒరుగుతున్నప్పుడు B విలువ 8.8 MeV కి పెరుగుతుంది. తరవాత నెమ్మదిగా తగ్గుతూ వచ్చి యురేనియం (A = 238) వద్ద 7.6 MeV పడిపోతుంది. ద్రవ్యరాశి సంఖ్యతో ఒక న్యూక్లియాన్ బంధన శక్తితో మార్పును పటం 26.2 సూచిస్తుంది.



పటం 26.2 ద్రవ్యరాశి సంఖ్యలో ఒక న్యూక్లియాన్ బంధన శక్తిలో మార్పు

బంధన శక్తి వక్రం $^{4}_{2}He, ^{12}_{6}C, ^{16}_{8}O$, $^{20}_{9}Ne$ లకు నిశిత శిఖరాలను కలిగి ఉంటుంది. అంతేకాక B విలువ $A < 20$ ఉంటాయని తెలుపుతున్నాయి. భార హైడ్రోజన్ $\left(^{2}_{1}He\right)$ బంధన శక్తి 1.1 MeV (ఒక న్యూక్లియాన్‌కు). దాని పక్కన ఉన్న $^{2}_{1}He, ^{12}_{6}C, ^{16}_{8}O$ (సరి-సరి న్యూక్లియాన్‌లు అనగా సరిసంఖ్యలో ప్రోటాన్లు, న్యూట్రాన్లు గల నూక్లియస్)కు నిశిత శిఖరాలు ఉండడం అవి తమ పక్కనున్న కేంద్రకాల కంటె ఎక్కువ స్థిరత్వం కలిగి ఉంటాయని తెలుస్తుంది.

కేంద్రతక విచ్ఛిత్తి, కేంద్రక సంలీనాలనే దృగ్విషయాలను వివరించడంలో ఒక న్యూక్లియాన్ బంధనశక్తి వక్రం ఎంతో ఉపయోగపడుతుంది.

ఉదాహరణ 26.3: బోరాన్ (Boran ${}^{10}_{5}B$) ద్రవ్యరాశి 10.811u. దాని ద్రవ్యరాశిని kg లలో గణించండి.

సాధన: $u = 1.660565 \times 10^{-27}$ kg కాబట్టి

$$10.811u = 10.811 \times 1.660565 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$= 17.952368 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

పాఠ్యంలోని ప్రశ్నలు 26.2

1. ${}^{7}_{3}Li$ పరమాణు కేంద్రక ద్రవ్యరాశి 6.01513u భంధన శక్తి ద్రవ్యరాశి లోపం (ఒక్కొక్క న్యూక్లియాన్‌కు) కనుక్కోండి. $m_P = 1.00727u$; $m_n = 1.00865u$ మరియు 1u = 931 MeV గా తీసుకోండి.

   ....

2. ${}^{8}_{4}Be$ పరమాణు కేంద్రక వ్యాసార్ధాన్ని కనుక్కోండి. ($R = r_0 A^{1/3}$; $r_0 = 1.2 \times 10^{-15}$ m లను ఉపయోగించండి)

   ....

26.2 న్యూక్లియాన్‌లు ఎలా బంధించబడి ఉంటాయి: కేంద్రక బలం

శాస్త్రజ్ఞులు న్యూట్రాన్-ప్రోటాన్ సిద్ధాంతాన్ని అంగీకరించిన తరవాత ఒక ముఖ్యమైన ప్రశ్న ఉత్పన్నమైంది. న్యూక్లియాన్‌లను బంధించే బలం స్వభావం ఏమిటి? గురుత్వాకర్షణ, విద్యుత్ అయస్కాంత అన్యోన్య చర్యలు మనం గమనించిన ఎన్నో విషయాలను వివరించగలవు, కనుక ఆ బలం వీటిలో ఏదో ఒకటి అవుతుంది అనుకోవడం సహజం. కాని కేంద్రకం యొక్క అతి చిన్న పరిమాణంలోగల, ప్రోటాన్లు, న్యూట్రాన్లను గమనించినచో ఈ బలంఅత్యంత శక్తివంతమైన, తక్కువ వ్యాప్తిగల ఆకర్షణ బలం అని తెలుస్తుంది. ఇది రెండు ప్రోటాన్ల మధ్య స్థిర విద్యుత్ మూలంగా గల బలం కాదు. ఒక వేళ ఈ బలాలే పనిచేస్తున్నట్లయితే న్యూక్లియాన్‌లు ఎగిరిపోయేవి. కాని ఇది జరగడంలేదు కదా! అంతేకాక న్యూక్లియాన్‌ల మధ్య బలం ఎక్కువ బంధన శక్తి (ఒక్కొక్క న్యూక్లియాన్‌కు సుమారు 8 MeV)కి కారణం. ఇప్పుడు గురుత్వాకర్షణ బలాన్ని తీసుకొందాం. ఏ రెండు జతల న్యూక్లియాన్‌ల మధ్య ఆకర్షణ బలానికైనా ఇది కారణం అనే విషయంలో ఏం అనుమానం లేదు. ఇది చాలా బలహీనమైనది కనుక న్యూక్లియాన్‌ల మధ్య ఉండే శక్తివంతమైన బలానికి కారణం కాజాలదు. రెండు న్యూక్లియాన్‌ల మధ్య బలం ఏకాంకమైన, గురుత్వాకర్షణ బలం 10^{-39} ఘాతంలో ఉంటుంది. ఇది వరకు మనకు తెలిసిన ఏ భౌతికశాస్త్ర సాంప్రదాయ బలంతో సంబంధం లేకుండా రెండు న్యూక్లియాన్ల మధ్య బలం పూర్తి ఆకర్షణ బలమైన కొత్త రకమైనది. ఈ కొత్త ఆకర్షణ బలాన్ని **కేంద్రక బలం** అంటారు.

26.2.1 అభిలక్షణ ధర్మాలు

గురుత్వాకర్షణ మరియు స్థిర విద్యుత్ బలాలు విలోమ వర్గ నియమాన్ని పాటిస్తాయని తెలుసు. న్యూక్లియాన్‌లు అత్యంత సాంద్రతలో సంపుటీకరణం చెంది ఉంటాయి. న్యూక్లియాన్లను బంధించి ఉంచే కేంద్రక బలం పరిసరాల్లో ఉండే

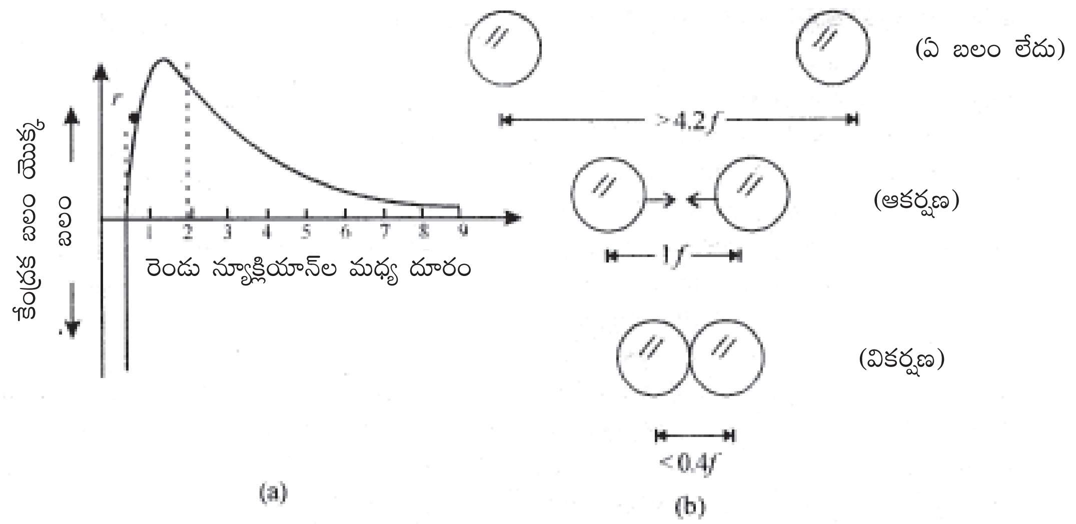
న్యూక్లియాన్ల మధ్యే ఉండాలి. కనుక కేంద్రక బలం తక్కువ దూరంలో $\left(\sim 10^{-15}\,\mathrm{m}\right)$ పనిచేసే అల్పవ్యాప్తి బలమై (short - range) ఉండాలి.

కేంద్రక బలాలు కింది వాటి మధ్య ఆకర్షణ బలాలకు కారణమవ్వాలి.

- ఒక ప్రోటాన్ మరియు ఒక న్యూట్రాన్
- రెండు ప్రోటాన్లు
- రెండు న్యూట్రాన్లు

కేంద్రకంలో ప్రోటాన్లు, న్యూట్రాన్లు ఏవిధంగా కలిసినా వాటి ఒకొక్క న్యూక్లియాన్ బంధన శక్తి (B) సమానం కనుక వాటి మధ్య బలం సమానం అని భావించవచ్చు. అనగా కేంద్రక బలం ఆవేశంపై ఆధారపడదు. కేంద్రక బలం సంతృప్త స్వభావం (saturation property) ను చూపిస్తుంది. అనగా కేంద్రక బలం పరిమిత ఆకర్షణ చూపిస్తుంది. కేంద్రకం ఒక చివర నుండి మరొక చివర ఉన్న న్యూక్లియాన్‌లో కాక ఒక న్యూక్లియాన్ తన పరిసరాలలోని న్యూకియాన్‌తో మాత్రమే అన్యోన్య చర్య జరుపుతుంది.

కేంద్రక బలం ఒక్క ఆకర్షణ బలమే అయినా అన్ని న్యూక్లియాన్‌లు దాని ప్రాబల్యంవల్ల కలిసిపోయి ఉండేవి. కాని న్యూక్లియాన్‌ల మధ్య సగటు దూరం స్థిరం అని మనకు తెలుసు. కేంద్రక ఘనపరిమాణం న్యూక్లియాన్‌ల సంఖ్యకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. దీనికి కారణం ఏమై ఉండవచ్చు అంటే, న్యూక్లియాన్లు ఒక సందిగ్ధ (critical) దూరంలో ఉన్నప్పుడు మాత్రమే కేంద్రక బలాలు ఆకర్షణ స్వభావాన్ని కలిగి ఉంటాయి. సందిగ్ధ విలువ కంటె దూరం తక్కువైనప్పుడు కేంద్రక బల స్వభావం అకస్మాత్తుగా మారుతుంది. ఆకర్షణ వికర్షణగా మారాలి (ఈ వికర్షణను స్థిర విద్యుత్ వికర్షణగా భావించవచ్చు). కేంద్రక బలాల ఈ గణితాత్మక విషయాలను పటం 26.3 లో చూడవచ్చు.



పటం 26.3: a) దూరంతో కేంద్రక బలంలో మార్పు b) న్యూక్లియాన్‌ల మధ్య బలాలపై న్యూక్లియర్ దూరాల ప్రభావం

26.3 రేడియో ధార్మికత

భూమి వయస్సు ఎంత? త్రవ్వకాలలో దొరికిన రాళ్ళు, శిలాజలాల వయస్సును భూ విజ్ఞాన శాస్త్రజ్ఞులు ఎలాఅంచనా వేస్తారు? క్యాన్సర్ కణాల వైద్యంలో వాడే రేడియో థెరపీ అనగానేమి? ఇలాంటి ఆసక్తికరమైన ప్రశ్నలకు సమాధానం రేడియో ధార్మికత అధ్యయనంలో ఉంది. స్థిరత్వాన్ని పొందుటకు పరమాణువులు వికిరణాన్ని ఉద్గారం చేసే సహజ ప్రక్రియ ఇది. దీన్ని యాదృచ్ఛికంగా కనుగొన్నను, ఇది కొత్త భౌతికశాస్త్రానికి ఆరంభం అయ్యింది. పారిశ్రామిక, వ్యవసాయ, వైద్య రంగాల్లో దీని వల్ల ఎన్నో ఉపయోగాలున్నాయి. దీని గురించి ఇప్పుడు చదువుకుందాం.

26.3.1 ఆవిష్కరణ

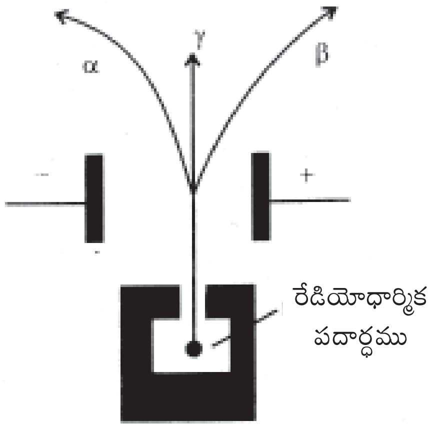
రేడియో ధార్మికతను కనుగొనడం వెనక ఆసక్తికరమైన కథ ఉంది. 1896లో ఫ్రాన్సుకు చెందిన భౌతికశాస్త్రవేత్త A.H. బెక్వరల్ (A.H.Becquerel) ప్రతిదీప్తి (Fluoresence) అనే దృగ్విషయంపై పరిశోధన చేస్తున్నాడు. తన టేబుల్ అరలో కొన్ని ఖనిజాలతో బాటు కొన్ని సీల్‌చేసిన పెట్టెల్లో ఫోటోగ్రాఫిక్ ప్లేటును పెట్టాడు. కొన్ని రోజుల పాటు వాటిని కదిలించలేదు. ఒక నాడు బెక్వరల్ ఫోటో తీయడానికి ఫోటోగ్రాఫిక్ ప్లేటును వాడి డెవలప్‌చేసి చూసిన, అవి ముందే వాడినట్లుగా ఉండడాన్ని గ్రహించి నిరుత్సాహపడ్డాడు. మరికొన్ని పెట్టెల్లోని ఫోటోగ్రాఫిక్ ప్లేట్లను వాడడానికి ప్రయత్నించి అవి కూడా పాడైపోయి ఉండడం చూసాడు. సీల్ చేయబడి, నల్లటి కాగితంలో చుట్టబడిన ప్లేట్లు ఎందుకు పాడైపోయాయో అతనికి అర్థంకాలేదు.

ఆశ్చర్యపోయిన బెక్విరల్ దీనిపై మరింత పరిశోధనలు సాగించాడు. టేబుల్ అరలో పెట్టిన యురేనియం దీనికి కారణం అని, యురేనియం లవణం నుంచి వచ్చే చొచ్చుకుపోయే కొత్తరకమైన వికిరణాలు దీనికి కారణం అని నిర్ధారించాడు. ఈ వికిరణాలను బెక్వెరల్ కిరణాలు అని, ఈ వికిరణాలు ఉద్గారం చెందే దృగ్విషయాన్ని రేడియో ధార్మికత అని అన్నారు. ఈ ధర్మాన్ని ప్రదర్శించే మూలకాలను రేడియో ధార్మిక మూలకాలు అంటారు.

ఈ ఆవిష్కరణ తరవాత, విపులంగా చేసిన పరిశోధనల ఆధారంగా మేడమ్ క్యూరీ తన భర్త పెర్రి క్యూరీతో కలసి అతి కష్టతరమైన (chemical fractionating) పద్ధతి ద్వారా యురేనియం ఖనిజం నుండి ఒక మూలకాన్ని వేరుచేసింది. రేడియం అనే ఈ కొత్త మూలకం యురేనియం కన్నా మిలియన్ రెట్లు రేడియో ధార్మికతను కలిగి ఉంటుంది. మేడమ్ క్యూరీ కనుగొన్న మరియొక మూలకం పేరు తన దేశం పోలాండ్ గౌరవార్థం పొలోనియం (Polonium) గా పెట్టింది.

26.3.2 వికిరణ స్వభావం

1899 లో బ్రిటిష్ భౌతికశాస్త్రవేత్త లార్డ్ రూథర్‌ఫోర్డ్ (Lord Rutherford) రేడియో ధార్మిక పదార్థాలు వెలవరించే బెక్వెరల్ కిరణాలను విశ్లేషించాడు. ఇతను రెండు సుస్పష్టమైన అంశాల అస్థిత్వాన్ని స్థిరపరచాడు. అవి α –కిరణాలు β –కిరణాలు. మూడో వికిరణమైన గామా γ కిరణాల అస్థిత్వాన్ని విల్లార్స్ (P.Villars) స్థిరపరచాడు.



పటం 26.4 : α, β, γ వికిరణాల ఉద్గారం

అన్ని పరమాణువుల కేంద్రకాలు ధనావేశిత ప్రోటాన్లనను కలిగి ఉంటాయని మనకు తెలుసు. ఇవి శక్తివంతమైన స్థిర విద్యుత్ వికర్షణ బలంవల్ల ఒకదానికొకటి దూరంగా ఉంటాయి. ఈ వికర్షణను అధిగమించడానికి కేంద్రకంలోని న్యూట్రాన్లు జిగురుగా పనిచేస్తాయి. కాని ఎక్కువ భారంగల కేంద్రకాల్లో స్థిర విద్యుత్ వికర్షణ కేంద్రకాన్ని స్థిరంగా ఉంచలేము. ఇలాంటి కేంద్రకాలు స్థిరత్వాన్ని పొందటానికి పటం 26.4లో చూపిన విధంగా α, β, γ కిరణాలను ఉద్గారంచేస్తు స్వచ్ఛందంగా విచ్ఛిన్నం అవుతాయి. కనుక మనం సహజ రేడియో ధార్మికతలో α, β, γ కిరణాలు వెలువడతాయని చెప్పవచ్చు.

ఉద్గార వికిరణాన్ని **రేడియోధార్మిక వికిరణం** అని పరమాణు కేంద్రకాలు విచ్ఛిన్నం చెందటాన్ని (α, β, γ కిరణాలను ఉద్గారం చేయడం ద్వారా) **రేడియో ధార్మిక క్షయం** (Radioactive decay) అని అంటారు. కొన్నిసార్లు స్థిరమైన కేంద్రకాలతో తేలికైన కణాలను (న్యూట్రాన్, ప్రోటాన్‌లాంటి వాటితో) ఢీకొట్టడం ద్వారా ప్రేరితం చేయవచ్చు. అప్పుడు దీన్ని **కృత్రిమ రేడియోధార్మికత** అంటారు. దీని అభిలక్షణం ఏమిటంటే, ఇది స్వచ్ఛందమైనది మరియు α, β ఉద్గారమయినప్పుడు కొత్త మూలకానికి చెందిన కొత్త కేంద్రకం ఏర్పడుతుంది. అనగా ఒక మూలకం ఇంకో మూలకంగా మారుతుంది. ఇది కేంద్రక విచ్ఛిన్న దృగ్విషయం మరియు కొత్త కేంద్రక ప్రస్తారాన్ని (mutation) ని సూచిస్తుంది α, β, γ వికిరణాల అభిలక్షణ ధర్మాలను చదువుదాం.

i) α –కిరణాలు:

α కణాలు (^4_2He) హీలియం కేంద్రకాలు. ఇది ద్విగుణ అయనీకృత (doubly ionised) హీలియం పరమాణువుకు సమానం. ఇది రెండు ప్రోటాన్లు, రెండు న్యూట్రాన్లను కలిగి ఉంటుంది. ఈ కణాల వివరణాత్మకమైన అభ్యాసం ద్వారా ఈ కింది ధర్మాలను చెప్పవచ్చు.

- ఆవేశ పూరిత కణాలు కావడంవల్ల ఇవి విద్యుత్ అయస్కాంత క్షేత్రాల్లో అపవర్తనం చెందుతాయి.
- జింక్ సల్ఫైడ్ (Zinc sulphide) బేరియం ప్లాటినో సైనైడ్ (Barium platino cyanide) లాంటి పదార్థాలలో ప్రతిదీప్తిని కలగచేస్తాయి. ఫోటోగ్రాఫిక్ ప్లేట్‌ను ప్రభావితం చేస్తాయి. కొన్ని మూలకాల్లో రేడియోధార్మికతను ప్రేరితంచేసి, కేంద్రక చర్యలను కలగచేస్తాయి.

- వీటి అయనీకరణ సామర్థ్యం చాలా ఎక్కువ. గాలిలో ప్రయాణిస్తున్న ఒక α కణం శోషణం చెందుటకు పూర్వం ఎన్నోవేల వాయు పరమాణువులను అయనీకరణం చేస్తాయి.
- వీటికి ఘనపదార్థాల్లో చొచ్చుకుపోయే శక్తి తక్కువ. ఇవి పలుచని లోహ పట్టికల చేత పరిక్షేపణ చెందుతాయి. 0.02 mm మందం గల అల్యూమినియం రేకులతో వీటిని ఆపవచ్చు.
- రేడియో ధార్మిక పదార్థాల నుండి వెలువడిన α కిరణాల శక్తి ఉద్గార కేంద్రకం అభిలక్షణం. ఇది $1.4 \times 10^7 \ ms^{-1}$ నుండి $2.05 \times 10^7 \ ms^{-1}$ మారుతున్న వేగాలకు అనురూపంగా ఉంటుంది.

ii) **β – కణాలు:**

β కణాలు రుణ మరియు ధనావేశాలు కలిగి ఉంటాయి. న్యూట్రాన్, ప్రోటాన్‌గా, ప్రోటాన్ న్యూట్రాన్‌గా మారే ప్రక్రియలో కేంద్రకం నుండి ఉత్పన్న మవుతాయి. మరింత అభ్యాసం ద్వారా ఈ కింది ధర్మాలను చెప్పవచ్చు.

- ఆవేశపూరిత కణాలు కావడంవల్ల ఇవి విద్యుత్, ఆయస్కాంత క్షేత్రాల్లో ఆవర్తనం చెందుతాయి.
- జింక్ సల్ఫైడ్, బేరియం ప్లాటినో సైనైడ్ లాంటి పదార్థాల్లో ప్రతిదీప్తిని కలగచేస్తాయి. ఫోటోగ్రాఫిక్ ప్లేటును ప్రభావితం చేస్తాయి.
- α కణాలకంటే చాలా తక్కువగా వాయు పరమాణువులను అయనీకరణం చేందిస్తాయి.
- రుణావేశిత β కణాలు కొన్ని మి.మీ. అల్యూమినియం పలకల గుండా చొచ్చుకుపోతాయి. ఇది α కణాలకన్నా 100 రెట్లు ఎక్కువ చొచ్చుకుపోయే శక్తిని కలిగి ఉంటాయి.
- రుణ β కణాల సగటు శక్తులు 2 MeV నుండి 3 MeV లమధ్య ఉంటాయి. తక్కువ ద్రవ్యరాశి వల్ల వీటి వేగాలు 0.33 c నుండి 0.988 c మధ్య ఉంటాయి. ఇక్కడ c కాంతి వేగం.

iii) **γ – కిరణాలు:**

γ –కిరణాలు ఎక్కువ పౌనఃపున్యంగల విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు, ఇవి విద్యుదయస్కాంత తరంగాల శక్తిని కలిగి ఉంటాయి. కింది ధర్మాల ఆధారంగా వీటి అభిలక్షణాలను తెలపవచ్చు.

- ఇవి విద్యుదయస్కాంత క్షేత్రాల్లో అపవర్తనం చెందవు. స్వేచ్ఛాంతరాళంలో (free space) ఇవి కాంతి వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి.
- వీటి చొచ్చుకు పోయే శక్తి α, β కణాలు కన్నా ఎక్కువ. ఇవి కొన్ని సె.మీ మందంగల ఇనుము మరియు సీసం పలకల గుండా చొచ్చుకుపోగలవు.
- α, β కణాల కన్నా వీటి అయనీకరణ సామర్థ్యం తక్కువ.
- ఇవి పదార్థాలతో ప్రతిదీప్తిని కలగచేస్తాయి మరియు ఫోటోగ్రాఫిక్ ప్లేట్లను ప్రభావితం చేస్తాయి.
- α –కిరణాలు లోహ తలంపై పడినప్పుడు ఆ తలం నుండి ఎలక్ట్రాన్‌లను వెలువరిస్తాయి. మరియు తలాన్ని వేడిచేస్తాయి. దృఢ γ –కిరణాలు (ఎక్కువ శక్తి γ –కిరణాలు)ను రేడియో థెరపీలో వాడతారు.

మేరీక్యూరి **(Merie Curie)**

(12867–1934)

1903లో నోబెల్ బహుమతిని, రేడియోధార్మికతపై అభ్యాసానికి తన భర్త పెర్రి క్యూరీ మరియు బెక్విరల్‌తో పంచుకుంది. ఈమె రెండుసార్లు నోబెల్ బహుమతి పొందిన మొదటి వ్యక్తి, మరియొక నోబెల్ బహుమతి 1911లో రసాయనశాస్త్రంలో వచ్చింది. కృత్రిమ రేడియోధార్మికతను కనుగొన్నందుకు ఆమె కూతురు జూలియట్ (Joliot) కూ కూడా రసాయనశాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతి వచ్చింది.

26.3.3 రేడియో ధార్మిక క్షయ

ఏ రేడియో ధార్మిక క్షయంలో అయినా స్వచ్ఛంద ఉద్గారం వల్ల α లేదా β కణాలు వెలువడుతాయి. ఒక రేడియో ధార్మిక మూలకం యొక్క కేంద్రకం (జనక కేంద్రకం) నుండి α –కణం ఉద్గారం చెందడంవల్ల ఆ మూలకం పరమాణు సంఖ్య రెండు, ద్రవ్యరాశి సంఖ్య నాలుగు తక్కువగా గల కొత్త మూలకంగా (జన్యుకేంద్రకం) గా మారుతుంది. అలాగే β కణ ఉద్గారం జనక కేంద్రకంను పరమాణు సంఖ్య ఒకటి ఎక్కువగా గల అదే ద్రవ్యరాశి సంఖ్యగల కొత్త జన్యుకేంక్రంగాను మారుస్తుంది. γ –కిరణ ఉద్గారం పరమాణు సంఖ్యను గాని, ద్రవ్యరాశి సంఖ్యను గాని మార్చదు. కనుక కొత్త కేంద్రకం ఏర్పడదు.

ఏ కేంద్రక విఘటనంలోనయినా ఆవేశ సంఖ్య (Z), ద్రవ్యరాశి సంఖ్య (A) ఎప్పుడూ నిత్యత్వం అవుతాయి. X తో సూచించబడిన ఏ రేడియోధార్మిక కేంద్రకం మార్పులనైనా కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$ {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{\alpha \text{ క్షయం}} {}^{4}_{2}He + {}^{A-4}_{Z-2}Y $$

(α – కణం)

$$ {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{\beta \text{ క్షయం}} {}^{0}_{-1}e + {}^{A}_{Z-1}Y $$

(β –కణం)

$$ \left({}^{A}_{Z}X\right)^{*} \xrightarrow{\gamma \text{ క్షయం}} {}^{A}_{Z}X + \gamma $$

* సంజ్ఞ మూలకం ఉత్తేజిత స్థితిలో ఉన్నదని తెలుపుతుంది.

26.3.4 రేడియో ధార్మిక క్షయం నియమం

కొంత రేడియో ఐసోటోప్‌ను తీసుకున్న అది నెమ్మదిగా కొంత కాలానికి విఘటనం చెంది తరిగిపోతుంది. రేడియో ధార్మిక క్షయాన్ని వివరించే నియమం చాలా సరళమైంది. రేడియో ధార్మిక విఘటన రేటు. బాహ్యాకారకాలైన ఉష్ణోగ్రత, పీడనం మొదలైన వాటిపై ఆధారపడదు. ఇది ఒక్క యాదృచ్ఛిక నియమంపై మాత్రమే ఆధారపడుతుంది. **ఒక సెకనుకు**

విఘటనం చెందే రేడియోధార్మిక పరమాణువుల సంఖ్య ఆ క్షణంలో ఉన్న రేడియోధార్మిక పరమాణువుల సంఖ్యకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. దీన్నే రేడియో ధార్మిక క్షయం నియమం అంటారు.

$t = 0$ వద్ద N_0 రేడియోధార్మిక పరమాణువుల సంఖ్య అనుకోనిడి. t కాలం తరవాత దానిలో N రేడియోధార్మిక పరమాణువులు ఉంటాయనకుందాం. dt కాలంలోక్షయమైన పరమాణువుల సంఖ్య dN అయిన, $(t + dt)$ సమయం వద్ద రేడియోధార్మిక పరమాణువులు $(N - dN)$ అయిన క్షయరేటు.

$$\frac{dN(t)}{dt} \propto N$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda(Nt) \qquad \ldots \qquad (26.4)$$

ఇక్కడ λ విఘటన స్థిరాంకం ఇది క్షయకు లోనవుతున్న రేడియోధార్మిక పదార్థం అభిలక్షణం. రుణ సంజ్ఞ – కాలం గడిచే కొద్దీ కేంద్రకాల సంఖ్య తగ్గుతుందని తెలుపుతుంది. ఈ సమీకరణాన్ని తిరిగి వ్రాసిన

$$\lambda = -\frac{1}{N(t)}\frac{dN(t)}{dt} \qquad \ldots \qquad (26.5)$$

కనుక, తక్షణ విఘటన రేటుకు, ఆ క్షణంలో ఉన్న రేడియోధార్మిక పరమాణువుల సంఖ్యకు గల నిష్పత్తినే విఘటన స్థిరాంకం λ అంటారు.

క్షయ నియమాన్ని కొన్నిసార్లు ఘాతీయ రూపంలో వ్రాస్తాం. దీన్ని ఘాతీయ క్షయ నియమం అంటారు. దీన్ని కింది విధంగా రాబట్టవచ్చు.

సమీకరణం 26.4 ను తిరిగి వ్రాసిన

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

ఇరువైపులా సమాకలనం చేసిన

$$\ln N(t) = -\lambda t + k$$

$t = 0, N(t) = No$ వద్ద

$$\therefore k = \ln N_0$$

కాబట్టి

$$\ln N(t) - \ln N_0 = -\lambda t$$

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

ఆంటీలాగ్ (anti log) తీసుకున్న మనకు కావలసిన ఫలితం వస్తుంది.

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) \qquad (26.6)$$

ఈ నియమం నుండి గ్రహించవలసిన అతి ముఖ్య సారాంశం ఏమనగా ఎప్పుడయితే $t = \infty$ అవుతుందో అప్పుడు మాత్రమే N శూన్యంమవుతుంది. కనుక ఏ రేడియోధార్మిక పదార్థంకూడా ఎంతకాలమైన పూర్తిగా మాయం అవదు.

వేరు వేరు విఘటనా స్థిరాంకాలు (λ) ఉండడంవల్ల వివిధ రేడియోధార్మిక పదార్థాలు ఒకే పరమాణు సంఖ్య N_0 తో మొదలైనా కాని, తరవాతి కాలంలో అవి వేరువేరు N(t) విలువలు కలిగి ఉంటాయి. కనుక అవి ఒకే విఘటన రేటును కలిగి ఉండవు. ఇది వాటి అర్థ జీవితకాలం $(T_{1/2})$, సగటు జీవితకాలం (T_a)చే నిర్ణయించబడుతుంది.

విఘటనా ప్రమాణాలు

విఘటనా స్థిరాంకాన్ని ఒక సెకనుకు గణిస్తారు. ఏ క్షణంలోనైనా రేడియోధార్మిక పదార్థాల క్రియాశీలత (activity) ని విఘటనల రేటుతో లెక్కిస్తారు. దీని SI ప్రమాణం బెక్వెరల్

1 బెక్వరల్ = 1 విఘటనం / సెకను

క్షయస్థిరాంకానికి మరియొక ప్రమాణం **క్యూరి**

1 క్యూరీ = 3.7×10^{10} విఘటనాలు /సెకను

ఇది రేడియం (Ra) విఘటనాల రేటు సెకను/గ్రాము.

మరియొక ప్రమాణం రూథర్‌ఫార్డ్ (rd)

1rd = 10^6 విఘటనాలు/సెకను

26.3.5 అర్థజీవిత కాలం $(T_{1/2})$

ఒక రేడియోధార్మిక పదార్థం యొక్క రేడియో ధార్మిక కేంద్రకాలు తమ తొలి కేంద్రకాల సంఖ్యలో సగం కావడానికి పట్టే కాలాన్ని ఆ రేడియో ధార్మిక పదార్థం యొక్క అర్థజీవిత కాలం $(T_{1/2})$ అంటారు.

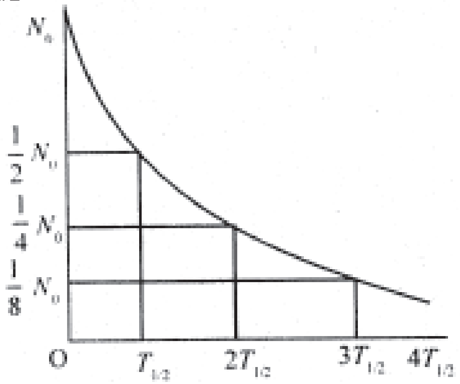
నిర్వచనం ప్రకారం $t = T_{1/2}$ వద్ద; $N = N_0/2$

కనుక సమీకరణం 26.6 ఉపయోగించి

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \exp(-\lambda T_{1/2})$$

$$\lambda T_{1/2} = \log_e 2$$

$$T_{1/2} = \frac{\log_e 2}{\lambda} = \frac{2.303 \times \log_{10} 2}{\lambda} = \frac{2.303 \times 0.3010}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$



పటం 26.5 : రేడియో ధార్మిక క్షయం

ఏ రేడియో ధార్మిక పదార్థ అర్థ జీవితకాలం అయిన దాని విఘటన స్థిరాంకానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది. మరియు ఇది ఆ రేడియోధార్మిక న్యూక్లియాన్ యొక్క అభిలక్షణం. ${}^{14}_{6}C$ (రేడియోధార్మిక కార్బన్) అర్థ జీవితకాలం 5730 సంవత్సరాలు. అనగా ఒక గ్రాము ${}^{14}_{6}C$, 5730 సంవత్సరాలకు 0.5 గ్రాముకు తగ్గిపోతుంది. ఈ సంఖ్య మరో 5730 సంవత్సరాల్లో మరింత తగ్గి 0.5/2 = 0.25 g అవుతుంది. (మొత్తం 11460 సంవత్సరాల్లో 1 గ్రాము 0.25 g అవుతుంది). రేడియోధార్మికత నమూనా కాలంతో క్షయమయ్యే దాన్ని పటం 26.5లో చూడండి.

ఉదాహరణ 26.4: మోహంజదారో త్రవ్వకాల్లో బయటపడ్డ జంతు శిలాజాలం 9 క్షయాలు/నిమిషం/గ్రాము కార్బన్‌ల క్రియాశీలత కలిగి ఉంది. ఇండస్ వ్యాలి నాగరికత వయస్సును కనుగొనండి. జీవించి ఉన్న అలాంటి జంతువు ${}^{14}_{6}C$ క్రియాశీలత 15 క్షయాలు/నిమిషం/గ్రాము మరియు అర్థ జీవతకాలం 5730 సంవత్సరాలు.

సాధన: రేడియోధార్మిక కార్బన్ ఐసోటోప్ ${}^{14}C$. ఇది జీవిజాలాల్లో స్థిరమైన శాతంగా ఉంటుంది. కాని చనిపోయిన తరవాత దాని శాతం రేడియోధార్మిక క్షయంవల్ల తగ్గిపోతుంది. రేడియోధార్మిక క్షయ నియమం ఉపయోగించి

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-\lambda t)$$

లేదా $$\frac{9}{15} = \exp(-\lambda t)$$

లేదా $$\log e\left(\frac{9}{15}\right) = -\lambda t$$

$$\log e\left(\frac{15}{9}\right) = \lambda t$$

ఇది $$t = \frac{1}{\lambda}\log e\left(\frac{15}{9}\right)$$ గా మారుతుంది.

ఇక్కడ $$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = 5730$$ సంవత్సరాలు

కనుక

$$t = 2.303 \times (5730/0.693)\left[\log_{10} 15 - \log_{10} 9\right]$$

$t = 4224.47$ సంవత్సరాలు.

కార్బన్ – 14 కలిగిన నమూనా 4224.47 సంవత్సరాల క్రితం బతికి ఉండేది. కనుక ఇండస్‌వ్యాలి నాగరికత వయస్సు సుమారు 4225 సంవత్సరాలు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 26.3

1. రేడియోధార్మికత కేంద్రక విఘటన దృగ్విషయమని ఎలా చెప్పగలవు?

....

2. α, β మరియు γ వికిరణాల అయనీకరణ, చొచ్చుకొని పోయే సామర్థ్యాలను పోల్చండి.

....

3. ఈ కింది క్షయ సమీకరణాల్లో ఆవేశ నిత్యత్వనియమం, ద్రవ్యరాశి సంఖ్యలను ఉపయోగించి a, b విలువలను కనుక్కోండి.

   i) ${}_{Z}X^{A} = {}_{2}He^{4} + {}_{a}Y^{b} + \gamma$

   ii) ${}_{2}X^{4} = {}_{-1}e^{0} + {}_{a}Y^{b} + \gamma$

....

4. ఒక రేడియోధార్మిక పదార్థం అర్ధ జీవితకాలం 5 సంవత్సరాలు. 10 g ఈ పదార్థం ఎంత కాలంలో 2.5 g కు తరిగిపోతుంది.

....

రేడియోధార్మిక అనువర్తనాలు

నిత్యజీవితంలో రేడియోధార్మికతకు ఎన్నో ఉపయోగాలున్నాయి. వాటిలో కొన్ని కింద ఇవ్వబడ్డాయి.

i) వైద్యరంగంలో: కాన్సర్ చికిత్సలో రేడియోధార్మిక కోబాల్ట్ (cobalt) జనకం ఉద్గారం చేసిన α–కిరణాలను కాన్సర్ కణాలను ధ్వంసం చేయడానికి (రేడియోథెరపి) వాడతారు. రేడియోధార్మిక పరమాణు ఒక్క వికిరణాన్ని కూడా పసిగట్టే పరికరాన్ని పదార్థాన్ని ఉంచిన పెట్టె వెలుపల చాలా దూరంగా ఉంచుతారు. సూక్ష్మగ్రాహ్యతగల ఈ ట్రెసార్ టెక్నిక్ (Tracer technique) రోగ నిర్ధారణ పరీక్షల్లో ముఖ్యమైన సాధనం. ఉదాహరణకు శరీర భాగంలోని అల్సర్‌ను గుర్తించడంలో హాని చేయని రేడియోధార్మిక మూలకాల $\left({}^{24}_{11}Na\right)$ను రోగి శరీరంలోకి ఇంజక్షన్ ద్వార పంపించి దాని కదలికలను రికార్డు చేస్తారు. రోగగ్రస్తమైన భాగం రేడియోధార్మిక పరమాణువును శోషణం చేసుకొంటుంది. తద్వారా దాని కదలిక తగ్గిపోతుంది. దీన్ని బట్టి రోగగ్రస్తమైన భాగాన్ని సులభంగా గుర్తించవచ్చు.

ii) వ్యవసాయ రంగంలో: విత్తనాలను నియంత్రిత γ వికిరణానికి గురిచేయడం ద్వారా పంటల, ఫలాల, కూరగాయల నాణ్యతను, దిగుబడిని పెంచవచ్చు. వీటిని నిలువ ఉంచుటకు ముందు వికిరణానికి గురిచేసిన అవి త్వరగా పాడవవు.

iii) భూ విజ్ఞానశాస్త్రంలో: పురాతన శిలాజాల వయస్సును నిర్ధారించడంలో కార్బన్ కలిగి ప్రాణమున్న జీవాల్లో అది 15 క్షయాలు/నిమిషం/గ్రాము సాధారణ క్రియాశీలత కలిగి ఉంటుంది. సాధారణ కార్బన్ (${}^{12}C$) తో బాటు వాతావరణంలో ఉండే రేడియోధార్మికత ${}^{14}C$ వల్ల క్రియాశీలత సంభవిస్తుంది. ఈ ${}^{14}C$ ఐసోటోప్‌ను వాతావరణం నుండి మొక్కలు

గ్రహిస్తాయి. మొక్కలను తిన్న జంతుజాలాల్లోకి ఇది ప్రవేశిస్తుంది. 10^8లో ఒక భాగం రేడియోధార్మిక కార్బన్ అన్ని జీవజాలల్లో (జంతువులు, మొక్కలు) ఉంటుంది. జీవి చనిపోగానే వాతావరణంలో అన్యోన్యచర్య తగ్గిపోయి, ^{12}C ను శోషణం చేయడం ఆగిపోయి పోతుంది. క్రియాశీలత నెమ్మదిగా తగ్గిపోతుంది. దీన్నిబట్టి నమూనా వయస్సును సుమారుగా అంచనావేయగలం. భూవిజ్ఞానశాస్త్రజ్ఞులు శిలాజాలాల వయస్సు కనుగొనే ఈ సూత్రాన్ని కార్బన్ డేటింగ్ (carbon-dating) అంటారు.

ఇదే సూత్రం ఆధారంగా, యురేనియం ఖనిజం నమూనాల్లోని ^{238}U, ^{200}Pb సాపేక్ష మొత్తాలను కొలవడం ద్వారా భూమి వయస్సును కూడా అంచనా వేయవచ్చు. భూమి జన్మించినప్పుడు యురేనియం నమూనాలో సీసం (lead) లేదు అనుకోండి. కాలం గడిచిన కొద్దీ యురేనియం క్షయం చెంది సీసంగా మారిపోతుందనుకొంటె, నమూనాలో ఉన్న సీసం మొత్తం దాని వయస్సును సూచిస్తుంది. ఈ పద్ధతిని ఉపయోగించి ప్రస్తుత భూ వయస్సును 4 బిలియన్ సంవత్సరాలని అంచనా వేశారు.

iv) పారిశ్రామిక రంగంలో: పెద్ద యంత్రాల నిర్మాణ లోపాలను గుర్తించడానికి γ వికిరణాలను ఉపయోగిస్తారు. ఉదాహరణకు గాలి బుడగ ఉన్నచోట γ కిరణాలు ఎక్కువగా చొచ్చుకుపోతాయి.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- పరమాణువులోని కేంద్రకం ధనావేశంగల ప్రోటాన్లను, తటస్థ న్యూట్రాన్లను కలిగి ఉంటుంది.
- ఏదైన మూలకం పరమాణువు కేంద్రకంలోని ప్రోటాన్ల సంఖ్య ఆ మూలకం పరమాణు సంఖ్యను ఇస్తుంది.
- పరమాణు కేంద్రకంలోని ప్రోటాన్ల, న్యూట్రాన్ల మొత్తం సంఖ్య ఆ పరమాణు ద్రవ్యరాశి సంఖ్య అవుతుంది.
- ఒకే పరమాణు సంఖ్య, వేరు వేరు ద్రవ్యరాశి సంఖ్యగల పరమాణువులను ఐసోటోప్‌లు అంటారు.
- ఒకే ద్రవ్యరాశి సంఖ్య వేరు వేరు పరమాణు సంఖ్యగల పరమాణువులను ఐసోబార్‌లు అంటారు.
- ఒకే సంఖ్యలో న్యూట్రాన్లుగల పరమాణువులను ఐసోటోన్‌లు అంటారు.
- ప్రతి పరమాణు **కేంద్రకం** లోని నూక్లియాన్లను శక్తివంతమైన ఆకర్షక కేంద్రక బలాలు కట్టివేస్తాయి. ఇవి తక్కువ వ్యాప్తి గల ఆవేశంపై ఆధారపడని బలాలు.
- కేంద్రక ద్రవ్యరాశి, నూక్లియాన్‌ల ద్రవ్యరాశుల మొత్తానికన్నా తక్కువగా ఉంటుంది. ఈ ద్రవ్యరాశిలోని భేదాన్ని ద్రవ్యరాశి లోపం అంటారు. ఇది బంధనశక్తికి కొలమానం.
- కేంద్రక ఘనపరిమాణం దాని ద్రవ్యరాశి సంఖ్యపై ఆధారపడుతుంది.
- ఏదైన కేంద్రకం నుండి α, β కణాలు మరియు γ వికిరణం స్వచ్ఛంద ఉద్గారం చెందడాన్ని రేడియోధార్మికత అంటారు.

- α – కణాలను హీలియం కేంద్రకంగా, β –కణాలను వేగంగా కదులుతున్న ఎలక్ట్రాన్‌లుగా గుర్తించారు. γ –కిరణాలు తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యం గల విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు.
- రేడియోధార్మిక క్షయం నియమం ప్రకారం ఒక సెకనుకు విఘటనం చెందే రేడియోధార్మిక పరమాణువుల సంఖ్య ఆ క్షణంలో ఉన్న రేడియోధార్మిక పరమాణువుల సంఖ్యకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.
- ఒక రేడియోధార్మిక పదార్థం యొక్క రేడియోధార్మిక కేంద్రాలు తమ తొలి కేంద్రకాల సంఖ్యలో సగం కావడానికి పట్టేకాలాన్ని ఆ రేడియోధార్మిక పదార్థం యొక్క అర్ధజీవితకాలం ($T_{1/2}$) అంటారు.
- ఘాతక్షయానియమం: $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$

ముగింపు అభ్యాసం

1. రేడియోధార్మిక నమూనా ఎప్పుడు విఘటనం చెందుతుంది?
2. ఐసోటోప్ మరియు ఐసోబార్‌ల మధ్య భేదాలు తెలపండి.
3. ప్రతి న్యూక్లియాన్‌కుగల బంధనశక్తికి, ద్రవ్యరాశి సంఖ్యకు గీసిన వక్రం అభిలక్షణాలను వివరించండి.
4. కేంద్రక బలం స్వభావం ఏమిటి? దాని అభిలక్షణాలను తెలపండి.
5. రేడియోధార్మిక పదార్థం యొక్క అర్ధజీవిత కాలం, క్షయస్థిరాంకంతో గల సంబంధాన్ని వివరించండి.
6. ఈ కింది పదాలను నిర్వచించండి.

   i) పరమాణు సంఖ్య ii) ద్రవ్యరాశి సంఖ్య iii) ద్రవ్యరాశిలోపం iv) న్యూక్లియాన్ల బంధనశక్తి v) అర్ధజీవిత కాలం vi) సగటు జీవితకాలం vii) క్షయస్థిరాంకం
7. రేడియోధార్మిక క్షయా నియమాన్ని తెలపండి.
8. కార్బన్ డేటింగ్ అనగానేమి? దాని ప్రాముఖ్యత ఏమిటి.
9. ఈ కింది పరమాణువుల్లో న్యూట్రాన్లు, ప్రోటాన్లు, ఎలక్ట్రాన్ల సంఖ్యను తెలపండి.

   i) $^{23}_{11}Na$ ii) $^{2}_{1}H$ iii) $^{238}_{92}U$ iv) $^{35}_{17}Cl$
10. ఈ కింది కేంద్రకాలకు ద్రవ్యరాశి లోపం, న్యూక్లియాన్ల బంధనశక్తిని కనుక్కోండి.

    i) $^{4}_{2}He$ ii) $^{7}_{3}Li$ iii) $^{14}_{7}N$

    $1\ u = 1.6600566 \times 10^{-27}\ kg = 931\ MeV$

    ప్రోటాన్ ద్రవ్యరాశి = 1.007276 u,

    న్యూట్రాన్ ద్రవ్యరాశి = 1.008665 u

$^{4}_{2}He$ పరమాణువు ద్రవ్యరాశి = 4.00260 u

$^{7}_{3}Li$ పరమాణువు ద్రవ్యరాశి = 7.0160 u

$^{14}_{7}N$ పరమాణువు ద్రవ్యరాశి = 14.00307 u గా ఇచ్చారు.

11. ప్రస్తుతం విరివిగా లభిస్తున్న రెండు యురేనియం ముఖ్య ఐసోటోప్‌లను ఉపయోగించి మరియు లభ్యత నిష్పత్తి ఒకటికంటే ఎక్కువ ఉండదని ఊహిస్తూ, భూ ఉపరితలానికి ఉండే గరిష్ఠ వయస్సును అంచనావేయండి. ^{238}U మరియు ^{235}U ల ప్రస్తుత నిష్పత్తి 137.8:1, ^{238}U అర్ధజీవితకాలం $= 4.5 \times 10^{9}$ సంవత్సరాలు, ^{235}U నకు 7.13×10^{8} సంవత్సరాలు.

12. రేడియోధార్మిక నమూన క్రియాశీలత 1 గంట 20 నిమిషాల్లో దాని తొలి విలువకు 1/16 వ వంతుకు పడిపోయినప్పుడు దాని అర్ధజీవితకాలాన్ని కనుక్కోండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలకు సమాధానాలు

26.1

1.

ఐసోటోప్‌లు (Isotopes)	ఐసోబార్‌లు (Isobars)	ఐసోటోన్‌లు (Isotones)
$^{12}_{6}C$ and $^{14}_{6}C$	$^{76}_{32}Ge$ & $^{76}_{34}Se$	$^{2}_{1}Ge$ & $^{3}_{2}He$
$^{1}_{1}H$ and $^{2}_{1}H$ & $^{3}_{1}H$	$^{40}_{18}A$ & $^{40}_{20}Ca$	$^{14}_{6}C$ & $^{18}_{8}O$
$^{16}_{8}O$ & $^{18}_{8}O$	$^{76}_{32}Ge$ & $^{76}_{34}Se$	$^{23}_{11}Na$ & $^{24}_{12}Mg$
$^{35}_{17}Cl$ & $^{37}_{17}Cl$	$^{3}_{1}H$ & $^{3}_{2}He$	$^{24}_{13}Al$ & $^{28}_{14}Si$
$^{206}_{82}Pb$ & $^{207}_{82}Pb$	$^{7}_{3}Li$ & $^{7}_{4}Be$	$^{27}_{13}Al$ & $^{28}_{14}Si$

2. (i) భారమైనది, (ii)ద్రవ్యరాశి, (iii) న్యూక్లియాన్లు, (iv)14, (v)14, (vi)పరమాణు

3. పరమాణు సంఖ్య

26.2

1. $\Delta m = 1.041358$ u; 969.5 MeV; 2. 2.4×10^{-15} m

26.3

1. సాధారణంగా కేంద్రక విఘటనం α, β ఉద్గారాలతోకూడి ఉండటం వల్ల జనక మూలకం, పరమాణు ద్రవ్యరాశి సంఖ్యలలో మార్పును కలిగిస్తుంది. α, β కణాల ఉద్గారం వల్ల భారమైన కేంద్రకం కొంత ద్రవ్యరాశిని కోల్పోయి, తేలికైన కేంద్రకంగా మారుతుంది. కనుక ఇది కేంద్రక విఘటన దృగ్విషయం.
2. అయనీకరణ సామర్థ్యం $\alpha > \beta > \gamma$ చొచ్చుకుపోయే సామర్థ్యం $\alpha < \beta < \gamma$
3. i) $a = z - 2,\ b = A - 4$; ii) $a = z + 1, b = A$

4, రెండు అర్ధజీవితకాలాలు అవసరం. 10 నుంచి 5 గ్రాములకు తగ్గడానికి ఒకటి, 5 నుండి 2.5 గ్రాములకు తగ్గడానికి ఒకటి అంటే మొత్తం 10 సంవత్సరాలు.

ముగింపు అభ్యాసానికి సమాధానాలు

9. (i) 12, 11, 11 (ii) 1, 1, 1 (iii) 146, 92, 921 (iv) 18, 17, 17
10. (i) 0.034, 28MeV (ii) 0.044, 37.86 MeV (iii) 0.10854, 101MeV
11. 6 × 109 సంవత్సరాలు
12. 20 నిమిషాలు.