NETAJI SUBHAS OPEN UNIVERSITY

STUDY MATERIAL

ELECTIVE PHYSICS
HONOURS

EPH - 14

Nuclear Physics

- Nuclear Physics-II

BLOCKS : 1 & 2

প্রাক্‌কথন

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের স্নাতক শ্রেণির জন্য যে পাঠক্রম প্রবর্তিত হয়েছে, তার লক্ষণীয় বৈশিষ্ট্য হ'ল প্রতিটি শিক্ষার্থীকে তাঁর পছন্দমতো কোন বিষয়ে সাম্মানিক (honours) স্তরে শিক্ষাগ্রহণের সুযোগ করে দেওয়া। এক্ষেত্রে ব্যক্তিগতভাবে তাঁদের গ্রহণক্ষমতা আগে থেকেই অনুমান করে না নিয়ে নিয়ত মূল্যায়নের মধ্য দিয়ে সেটা স্থির করাই যুক্তিযুক্ত। সেই অনুযায়ী একাধিক বিষয়ে সাম্মানিক মানের পাঠ-উপকরণ রচিত হয়েছে ও হচ্ছে—যার মূল কাঠামো স্থিরীকৃত হয়েছে একটি সুচিন্তিত পাঠক্রমের ভিত্তিতে। কেন্দ্র ও রাজ্যের অগ্রগণ্য বিশ্ববিদ্যালয়সমূহের পাঠক্রম অনুসরণ করে তার আদর্শ উপকরণগুলির সমন্বয়ে রচিত হয়েছে এই পাঠক্রম। সেইসঙ্গে যুক্ত হয়েছে অধ্যেতব্য বিষয়ে নতুন তথ্য, মনন ও বিশ্লেষণের সমাবেশ।

দূরসঞ্চারী শিক্ষাদানের স্বীকৃত পদ্ধতি অনুসরণ করেই এইসব পাঠ-উপকরণ লেখার কাজ চলছে। বিভিন্ন বিষয়ের অভিজ্ঞ পণ্ডিতমণ্ডলীর সাহায্য এ কাজে অপরিহার্য এবং যাঁদের নিরলস পরিশ্রমে লেখা, সম্পাদনা তথা বিন্যাসকর্ম সুসম্পন্ন হচ্ছে তাঁরা সকলেই ধন্যবাদের পাত্র। আসলে, এঁরা সকলেই অলক্ষ্যে থেকে দূরসঞ্চারী শিক্ষাদানের কার্যক্রমে অংশ নিচ্ছেন ; যখনই কোন শিক্ষার্থী এই পাঠ্যবস্তুনিচয়ের সাহায্য নেবেন, তখনই তিনি কার্যত একাধিক শিক্ষকমণ্ডলীর পরোক্ষ অধ্যাপনার তাবৎ সুবিধা পেয়ে যাচ্ছেন।

এইসব পাঠ-উপকরণের চর্চা ও অনুশীলনে যতটা মনোনিবেশ করবেন কোনও শিক্ষার্থী, বিষয়ের গভীরে যাওয়া তাঁর পক্ষে ততই সহজ হবে। বিষয়বস্তু যাতে নিজের চেষ্টায় অধিগত হয়, পাঠ-উপকরণের ভাষা ও উপস্থাপনা তার উপযোগী করার দিকে সর্বস্তরে নজর রাখা হয়েছে। এরপর যেখানে যতটুকু অস্পষ্টতা দেখা দেবে, বিশ্ববিদ্যালয়ের বিভিন্ন পাঠকেন্দ্রে নিযুক্ত শিক্ষা-সহায়কগণের পরামর্শে তাঁর নিরসন অবশ্যই হ'তে পারবে। তার ওপর প্রতি পর্যায়ের শেষে প্রদত্ত অনুশীলনী ও অতিরিক্ত জ্ঞান অর্জনের জন্য গ্রন্থ-নির্দেশ শিক্ষার্থীর গ্রহণ-ক্ষমতা ও চিন্তাশীলতা বৃদ্ধির সহায়ক হবে।

এই অভিনব আয়োজনের বেশ কিছু প্রয়াসই এখনও পরীক্ষামূলক —অনেক ক্ষেত্রে একেবারে প্রথম পদক্ষেপ। স্বভাবতই ত্রুটি-বিচ্যুতি কিছু কিছু থাকতে পারে, যা অবশ্যই সংশোধন ও পরিমার্জনার অপেক্ষা রাখে। সাধারণভাবে আশা করা যায়, ব্যাপকতর ব্যবহারের মধ্য দিয়ে পাঠ-উপকরণগুলি সর্বত্র সমাদৃত হবে।

অধ্যাপক (ড.) শুভ শঙ্কর সরকার
উপাচার্য

পঞ্চম পুনর্মুদ্রণ ঃ ফেব্রুয়ারি, 2019

বিশ্ববিদ্যালয় মঞ্জুরি কমিশনের দূরশিক্ষা ব্যুরোর বিধি অনুযায়ী মুদ্রিত।
Printed in accordance with the regulations of the Distance Education Bureau of the University Grants Commission.

পরিচিতি

বিষয় ঃ পদার্থবিদ্যা সাম্মানিক স্তর

পাঠক্রম ঃ পর্যায় ঃ

EPH : 14 : 01 & 02

	রচনা	সম্পাদনা
Unit-1	ড. মনোতোষ দাশগুপ্ত	ড. রূপায়ণ ভট্টাচার্য ড. রামকুমার গুছাইত
Unit-2	ড. মনোতোষ দাশগুপ্ত	ড. রামকুমার গুছাইত

প্রজ্ঞাপন

এই পাঠ সংকলনের সমুদয় স্বত্ব নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের দ্বারা সংরক্ষিত। বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃপক্ষের লিখিত অনুমতি ছাড়া এর কোন অংশের পুনর্মুদ্রণ বা কোনভাবে উদ্ধৃতি সম্পূর্ণ নিষিদ্ধ।

মোহন কুমার চট্টোপাধ্যায়
নিবন্ধক

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়

EPH - 14

কেন্দ্রকীয় পদার্থবিদ্যা

(স্নাতক পাঠক্রম)

পর্যায়

1

কেন্দ্রকীয় পদার্থবিদ্যা

একক 1 ❐ কেন্দ্রকের সাধারণ ধর্ম 7–26

একক 2 ❐ কেন্দ্রকের কাঠামো ও ভরসূত্র 27–53

একক 3 ❐ তেজস্ক্রিয়তা 54–78

একক 4 ❐ আলফা রশ্মি 79–86

একক 5 ❐ বিটা রশ্মি 87–95

একক 6 ❐ গামা রশ্মি 96–102

পর্যায়

2

কেন্দ্রকীয় পদার্থবিদ্যা

একক 7 ❐ নিউট্রন 105–115

একক 8 ❐ নিউক্লীয় বিক্রিয়া 116–131

একক 9 ❐ নিউক্লীয় বিভাজন ও সংযোজন 132–146

একক 10 ❐ নিউক্লীয় বিকিরণের উপস্থিতি নির্ণয় 147–160

একক 11 ❐ কণা ত্বরক 161–172

একক 12 ❐ মৌলকণাসমূহ 173–185

একক 1 □ কেন্দ্রকের সাধারণ ধর্ম (General Properties of Nucleus)

গঠন

1.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

1.2 কেন্দ্রকের আকার, আকৃতি, ঘনত্ব ও ভর

1.2.1 কেন্দ্রকের আকার (ব্যাসার্ধ)

1.2.2 কেন্দ্রকের আকৃতি

1.2.3 কেন্দ্রকের ঘনত্ব

1.2.4 কেন্দ্রকের ভর

1.3 পারমাণবিক সংখ্যা ঃ Z ও N-এর মানের উপর নির্ভর করে কেন্দ্রেককের শ্রেণিবিভাগ

1.4 কেন্দ্রকীয় সুস্থিতি

1.4.1 কেন্দ্রকণের সংখ্যার যুগ্ম-অযুগ্ম প্রকৃতি

1.4.2 নিউট্রন-প্রোটন অনুপাত এবং বিভিন্ন ধরনের বিভাজন

1.4.3 কেন্দ্রকীয় বল

1.5 সারাংশ

1.6 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1.7 উত্তরমালা

1.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ আপনারা পরমাণুর কেন্দ্রকীয় কাঠামো (রাদারফোর্ডের α-কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় প্রমাণিত)-র সঙ্গে পরিচিত হয়েছেন। বর্তমান এককে আমরা কেন্দ্রকের সাধারণ ধর্মাবলি আলোচনা করব। বিভিন্ন পর্যায়ে, অর্থাৎ উপ-একক সমূহের মাধ্যমে আলোচনার শেষে আপনারা উদ্দেশ্যে উল্লিখিত বিষয়সমূহ সম্বন্ধে অবহিত হবেন।

উদ্দেশ্য ঃ বর্তমান এককটির আলোচনান্তে আপনারা—

- কেন্দ্রকের আকার (size), আকৃতি (shape), ঘনত্ব (density), ও ভর (mass) সম্বন্ধে অবহিত হবেন।
- প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যার উপর নির্ভর করে কীভাবে কেন্দ্রেককের শ্রেণিবিভাগ করা হয় তা বুঝতে পারবেন।
- কেন্দ্রকের সুস্থিতি সম্বন্ধে কীভাবে ধারণা হয়, তা জানতে পারবেন। কেন্দ্রকীয় বলের প্রকৃতি সম্বন্ধে অবহিত হবেন।

1.2 কেন্দ্রকের আকার, আকৃতি, ঘনত্ব ও ভর

1.2.1 কেন্দ্রকের আকার (ব্যাসার্ধ)

α-কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষা থেকে প্রাপ্ত তথ্য কেন্দ্রকের আকার অনুমানে সাহায্য করে।

ধরা যাক M ভর ও v গতিবেগ সম্পন্ন একটি α-কণা + Ze আধানবিশিষ্ট কেন্দ্রকের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। α-কণার আধান (জানা আছে) + 2e′ ঠিক যে দূরত্বে (d_0) গিয়ে α-কণা উল্টো পথ ধরে তা-ই উভয়ের মুখোমুখি (head-on) সংঘর্ষের ক্ষেত্রে নিকটতর বিন্দুতে অবস্থিত। এই বিন্দুতে α-কণার গতিশক্তি বিকর্ষণ-জাত স্থিতিশক্তির সমান হয়।

বিকর্ষণ বল = $\dfrac{2eZe}{4\pi\varepsilon_0 d_0^2}$ [ε_0 = শূন্য মাধ্যমের দ্বি-তাড়িতিক (dielectric) ধ্রুবক]।

$$\therefore \quad \text{সংশ্লিষ্ট স্থিতিশক্তি} = \frac{Ze^2}{2\pi\varepsilon_0 d_0}$$

নিকটতম অগ্রসর-বিন্দুতে, $\dfrac{Ze^2}{2\pi\varepsilon_0 d_0} = \dfrac{1}{2}M_\alpha v^2$

বা, $d_0 = \dfrac{Ze^2}{\pi\varepsilon_0 M_\alpha v^2}$

প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় উৎস থেকে প্রাপ্ত α-কণার গতিবেগ $\sim 1.3 - 1.9 \times 10^7$ মি সে$^{-1}$। এ থেকে প্রাপ্ত d_0-র মান অ্যালুমিনিয়ামের ক্ষেত্রে $\sim 5 \times 10^{-15}$ মি = 5 fm (fm = ফার্মি = ফেমটো মিটার)। এই d_0-ই কেন্দ্রককে যদি একটি সুষম গোলক ধরা হয় তার ব্যাসার্ধ-দ্রুত নিউট্রনের বিচ্ছুরণ থেকে কেন্দ্রকীয় ব্যাসার্ধের (R) উপর আরও তথ্য পাওয়া যায়। একটি স্থূল (empirical) সমীকরণ পাওয়া গেছে : $R = R_0 A^{1/3}$ (R_0 = ধ্রুবক = 1.4 fm ; A = ভর সংখ্যা)।

1.2.2 কেন্দ্রকের আকৃতি (Shape of the nucleus)

ভূমিস্তরে (ground state) সব যুগ্ম-Z, যুগ্ম-N ধরনের কেন্দ্রক এবং অন্য ধরনের বেশ কিছু কেন্দ্রক আকৃতিতে গোলকাকার। কিছু কিছু ক্ষেত্রে এর বিচ্যুতি ঘটে। সেক্ষেত্রে কেন্দ্রকের সামান্য উৎকেন্দ্রিকতা (eccentricity) বা উপবৃত্তীয়তা (ellipticity) থাকে। এই উৎকেন্দ্রিকতা থেকেই চতুর্মেরু ভ্রামক (quadrupole momenl)-এর (Q) উৎপত্তি।

$Q = \dfrac{4}{5}\varepsilon Z R^2$ [$\varepsilon = \dfrac{a-b}{R}$ উৎকেন্দ্রিকতার পরিমাপ, Z = নিউক্লীয় আধান, R = গড় ব্যাসার্ধ = $\dfrac{a+b}{2}$ (a, b উপবৃত্তের অক্ষদ্বয়)।

বেশির ভাগ কেন্দ্রকের সামান্য উৎকেন্দ্রিকতা আছে। সর্বাধিক উৎকেন্দ্রকতা ঘটে ^{176}Lu-এর ক্ষেত্রে (ε = +0.174) ; ^{233}Pa-এর ক্ষেত্রে তা সর্বনিম্ন (ε = – 0.06)।

1.2.3 কেন্দ্রকের ঘনত্ব

আপনারা জেনেছেন, $R \propto A^{1/3}$

কেন্দ্রককে গোলকাকার ধরে নিলে, আয়তন হয় $\frac{4}{3}\pi R^3$, অর্থাৎ V (আয়তন) α A। আবার ভরও $\propto$ A। কাজেই ঘনত্ব D ধ্রুবক ; অর্থাৎ সব কেন্দ্রকেরই ঘনত্ব প্রায় সমান। আপনারা তো জানেনই যে পরমাণুর ভরের প্রায় সমস্তটাই কেন্দ্রকে ঘনীভূত আর কেন্দ্রক আকারে খুবই ছোট, তাই কেন্দ্রকীয় ঘনত্ব খুবই বেশি— মোটামুটিভাবে বলা যায় 10^{17} কিগ্রা মি$^{-3}$।

1.2.4 কেন্দ্রকের ভর

কেন্দ্রকের রূপান্তর সম্পর্কিত পরীক্ষার ক্ষেত্রে সঠিক পারমাণবিক ভর নির্ণয় করার প্রয়োজনীয়তা রয়েছে। বৃটিশ বিজ্ঞানী এফ অ্যাস্টন উদ্ভাবিত ভরবর্ণালীবীক্ষণ (mass spectrograph) যন্ত্রে প্রথম সঠিকভাবে মৌলের সমঘরগুলির ভৌত পারমাণবিক ভার নির্ণীত হবার সূচনা ঘটে। পরবর্তীকালে এ. জে. ডেম্পস্টার, কে. টি. বেইনব্রিজ, জে. মাতাউখ প্রমুখ বিজ্ঞানীদের প্রচেষ্টায় যে অধিকতর সুবেদী ভর বর্ণালীবীক্ষণ উদ্ভাবিত হয়েছে তাতে অত্যন্ত সঠিকভাবে সমঘরবিশেষের পারমাণবিক ভার নির্ণয় সম্ভব। এসব যন্ত্রের সুবেদিতা 10^{-6}। এ থেকে আমরা পাই পারমাণবিক ভর (atomic mass)। ভৌত এককে পারমাণবিক ভর প্রকাশ করা হয় amu (অ্যাটমিক ম্যাস ইউনিট, পারমাণবিক ভর একক)-এ। 1 amu (বা u)

$$= \frac{1}{12} \times \frac{12}{N_0} = \frac{1}{6.02204 \times 10^{23}}$$

$$= 1.660566 \times 10^{-24} \text{ গ্রা } (N_0 = \text{অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা})$$

[অর্থাৎ একটি ^{12}C পরমাণুর ভরের $\frac{1}{12}$ অংশ]

amu-কে dalton-ও বলা হয়ে থাকে।

মিলিকানের তৈল-বিন্দু পরীক্ষায় ইলেকট্রনের e (আধান)-র মান পাওয়া গেছে। তার আগে টম্‌সনের পরীক্ষায় পাওয়া গিয়েছিল আপেক্ষিক আধান $\frac{e}{m}$, m = ভর)-এর মান। এ থেকে ইলেকট্রনের ভর পাওয়া গেছে। দেখা গেছে : $\frac{e}{m} = 1.7589 \times 10^7$ emu গ্রা$^{-1}$

আর $e = 4.80657 \times 10^{-10}$ esu মিলিকনের মান 4.774×10^{-10})

$= 1.60219 \times 10^{-20}$ emu

$= 1.60219 \times 10^{-19}$ কুলম্ব।

$\therefore$ ইলেকট্রনের ভর = $m_e = 9.09773 \times 10^{-28}$ গ্রা

বর্তমানের স্বীকৃত মান 9.10953×10^{-28} গ্রা = 9.10953×10^{-31} কিগ্রা (বা 5.48580×10^{-4} amu)।

এখন, মিলিকানের তৈলবিন্দু পরীক্ষায় প্রোটনের আধান পরীক্ষিত হয়েছে, আর টম্‌সনের পরীক্ষায় আপেক্ষিক আধান। এদিকে ভরবর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রে সমঘর সমূহের পারমানবিক ভার সঠিকভাবে নির্ণীত। এর সঙ্গে কেন্দ্রকীয় রূপান্তরের বিভিন্ন ক্ষেত্রে প্রাপ্ত তথ্যাবলী সংযুক্ত করে নিচের তথ্য ও মানগুলি পাওয়া গেছে ÷

$$m_e = \frac{1}{1837} m_H \quad (m_H = \text{H -পরমাণুর ভর})$$

$$= \frac{1}{1836} m_P \quad (\text{প্রোটনের ভর})।$$

$m_P = 1.0072765$ amu $= 1.67265 \times 10^{-27}$ কিগ্রা,

নিউট্রনের ভর $= 1.008665$ amu $= 1.67495 \times 10^{-27}$ কিগ্রা,

[স্মর্তব্য ঃ এই ভরগুলি স্থিরভর (rest mass)] ।

আইনস্টাইনের বিখ্যাত ভর-শক্তি তুল্যায়ন সূত্র ($E = mc^2$; E = শক্তি, m = ভর, c = আলোর গতিবেগ $= 2.997925 \times 10^8\ m\ s^{-1}$) অনুযায়ী ভরকে সমতুল শক্তির মাধ্যমেও প্রকাশ করা যায়। রূপান্তর নিচে দেখানো হল ঃ

$$1 \text{ amu} = 1.660566 \times 10^{-24} \text{ গ্রা}$$

$$= 1.660566 \times 10^{-24} \times (2.997925 \times 10^{10})^2 \text{ আর্গ}$$

$$= 1.4924427 \times 10^{-3} \text{ অর্গ} = 1.4924427 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$= \frac{1.4924427 \times 10^{-3}}{1.60219 \times 10^{-6}} = 931.50 \text{ MeV (মিলিয়ন ইলেকট্রন ভোল্ট)}$$

[$1 \text{ MeV} = 1.60219 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^6 \text{ J} = 1.60219 \times 10^{-13} \text{J} = 1.60219 \times 10^{-6} \text{ erg}$]

শক্তির এককে উপযুক্ত ভরগুলির মান নিম্নরূপ ঃ

$m_e = 5.11002 \times 10^5$ ev

$m_p = 9.38280 \times 10^8$ ev

$m_n = 9.3957 \times 10^8$ ev

কেন্দ্রেকক - nuclie
কেন্দ্রকন - nucleon

এখন, উপযুক্ত তথ্য ও মানগুলির সাহায্যে আমরা যে কোনও কেন্দ্রেকক (nuclide)-এর ভর নির্ধারণ করতে পারি।

অনুশীলনী — 1

1. ব্যাসার্ধ 5 ফার্মি এবং পারমাণবিক গুরুত্ব 27 হলে অ্যালুমিনিয়াম কেন্দ্রকের ঘনত্ব কত হবে ?
2. ডালটন কীসের একক ? এর মান কত ?
3. $^{A}_{Z}M$ পরমাণুর কেন্দ্রকের ভর বের করুন (পাঠ্যাংশ থেকে প্রয়োজনীয় তথ্য সংগ্রহ করে নিন)।

1.3 পারমাণবিক সংখ্যা ঃ Z ও N-এর মানের উপর নির্ভর করে কেন্দ্রেককের শ্রেণিবিভাগ

আপনারা জানেন, মোজলের মৌলের X রশ্মি বর্ণালী সংক্রান্ত গবেষণায় (1913 — 4) পারমাণবিক সংখ্যার গুরুত্ব প্রতিষ্ঠিত হল। মোজলে প্রথমে পর্যায় সারণিতে মৌলের ক্রমিক সংখ্যাকে পারমাণবিক সংখ্যা ধরে দেখলেন যে পারমাণবিক সংখ্যা পারমাণবিক ভরের চেয়ে বেশি মৌলিক। ফন্ দেঁ ব্রেক (A. von den Brock)-এর ধারণা অনুসরণ করে মোজলে বললেন যে পারমাণবিক সংখ্যা ও কেন্দ্রকীয় আধান অভিন্ন। মৌলের পরিচায়ক ধর্ম এই পারমাণবিক সংখ্যা ; একই মৌলের একাধিক পারমাণবিক সংখ্যা হতে পারে না। প্রোটন-নিউট্রন কাঠামো (অনুচ্ছেদ 2.3) অনুসারে কেন্দ্রেকক প্রোটন ও নিউট্রন দিয়ে গঠিত। পারমাণবিক সংখ্যা (Z) প্রোটনের সংখ্যার সঙ্গে সমান এবং নিউট্রনের সংখ্যা (N) = ভর সংখ্যা (A)— প্রোটন সংখ্যা (Z)।

মৌলের কেন্দ্রে বিভিন্ন সংখ্যক নিউট্রন থাকতে পারে, আর সে কারণেই একই মৌলের বিভিন্ন ভর সংখ্যা (Z + N = A) বিশিষ্ট কেন্দ্রেকক থাকতে পারে।

Z ও N এর মানের উপর নির্ভর করে কেন্দ্রেককগুলিকে নিচে বর্ণিত উপায়ে শ্রেণিবদ্ধ করতে পারা যায় ঃ

(ক) সমঘর বা একস্থানিক বা সমস্থানিক (Isotope) ঃ অভিন্ন পারমাণবিক সংখ্যা (অভিন্ন Z) বিশিষ্ট, কিন্তু কেন্দ্রকে বিভিন্ন সংখ্যক নিউট্রনের উপস্থিতি হেতু বিভিন্ন ভরসংখ্যাবিশিষ্ট কেন্দ্রেককগুলিকে পরস্পরের সমঘর বা একস্থানিক বা সমস্থানিক বলে। এরকম নামের কারণ এই কেন্দ্রেককগুলির পর্যায় সারণিতে একই স্থানে অবস্থিত হবে [iso = অভিন্ন, topes = স্থান] উদাহরণ ঃ হাইড্রোজেনের (Z = 1) তিনটি সমঘর আছে $^{1}_{1}H_{0}$ (প্রোটিয়াম বা হাল্কা হাইড্রোজেন), $^{2}_{1}H$ বা $^{2}_{1}D$ (ডয়টেরিয়াম বা ভারী হাইড্রোজেন) এবং $^{3}_{1}H_{2}$ বা $^{3}_{1}T$ (তেজস্ক্রিয় হাইড্রোজেন বা ট্রিশিয়াম) ; সোডিয়াম (Z = 11)-এর সমঘরগুলি $^{22}_{11}Na_{11}$, $^{23}_{11}Na_{12}$, $^{24}_{11}Na_{13}$; ইউরেনিয়াম (Z = 92)-এর সমঘরগুলি $^{233}_{92}U_{141}$, $^{234}_{92}U_{142}$, $^{235}_{92}U_{143}$, $^{238}_{92}U_{146}$।

কোনও মৌলের সুস্থিত বা অসুস্থিত উভয় ধরনের সমঘর থাকতে পারে। অতেজস্ক্রিয় উৎসের ক্ষেত্রে মৌলের বিভিন্ন সমঘরের প্রাচুর্যের অনুপাত (abundance ratio) উৎস-নিরপেক্ষ। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, যেখান থেকেই, যেভাবেই সংগৃহীত হোকনা কেন ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O-এর প্রাচুর্যের অনুপাত 2494 : 1 : 5।

মৌলের রাসায়নিক ধর্ম Z-এর উপর নির্ভরশীল বলে, সমঘরগুলির রাসায়নিক ধর্ম প্রায় অভিন্ন। কাজেই এদের পৃথকীকরণ খুবই কঠিন, বিশেষ ভৌত বা তাপগতি সম্বন্ধীয় পদ্ধতি ব্যবহার করে আংশিক অনুপাতবৃদ্ধি ঘটানো যায়।

(খ) সমভর (Isobar) ঃ অভিন্ন ভরসংখ্যা কিন্তু ভিন্ন পারমাণবিক সংখ্যা বিশিষ্ট (পর্যায় ছকে) পাশাপাশি অবস্থিত রাসায়নিক মৌলের কেন্দ্রককে সমভর বলে। এদের নিউট্রন সংখ্যাও বিভিন্ন।

উদাহরণ ঃ $^{3}_{1}H_{2}$; $^{3}_{2}He_{1}$; $^{14}_{6}C_{8}$; $^{14}_{7}N_{7}$; $^{24}_{11}Na_{13}$, $^{24}_{12}Mg_{13}$; $^{64}_{27}Co_{37}$; $^{64}_{28}Ni_{36}$.

(গ) দর্পণ কেন্দ্রক (mirror nuclei) : Z ও N-এর মানের পার্থক্য 1 এবং Z ও N-এর মান দু'টি একটিতে অন্যের বিপরীত— এমন সমভরদের দর্পণ কেন্দ্রক বলে।

যেমন, $^{3}_{1}H_{2}$; $^{3}_{2}He_{1}$; $^{13}_{6}C_{7}$; $^{13}_{7}N_{6}$; $^{39}_{19}K_{20}$; $^{30}_{20}Ca_{19}$; $^{23}_{11}Na_{12}$; $^{23}_{12}Mg_{11}$.

সমকশ (isotone) ঃ সমান N এবং বিভিন্ন Z ও A বিশিষ্ট কেন্দ্রক সমূহকে পরস্পরের সমকশ বলে।

উদাহরণ ঃ $_{1}{}^{3}H_{2}$; $_{2}{}^{4}He_{2}$; $_{6}{}^{14}C_{8}$; $_{8}{}^{16}O_{8}$; $_{8}{}^{18}O_{10}$; $_{10}{}^{20}Ne_{10}$; $_{11}{}^{23}Na_{12}$; $_{12}{}^{24}Mg_{12}$.

(ঘ) সমসমঘরভেদ (Isodiapher) ঃ সমান সমঘর সংখ্যা (isotopic number) বিশিষ্ট কেন্দ্রকদের পরস্পরের সমসমঘরভেদ বলে।

সমঘরসংখ্যা বা সমঘরাধিক্য (isotopic excess) বলতে বোঝায় $N - Z$ বা $A - 2Z$

উদাহরণ ঃ $_{92}{}^{235}U_{143}$, $_{90}{}^{231}Th_{141}$ $(143 - 92 = 51 = 141 - 90)$

$_{19}{}^{39}K_{20}$, $_{9}{}^{19}F_{10}$ $(20 - 19 = 1 = 19 - 9)$

$_{29}{}^{65}Cu$, $_{24}{}^{55}Cr$.

(ঙ) কেন্দ্রকীয় সমাবয়ব ঃ অভিন্ন ভরসংখ্যা ও অভিন্ন পারমাণবিক সংখ্যা কিন্তু ভিন্ন তেজস্ক্রিয় ধর্ম বিশিষ্ট কেন্দ্রেককগুলিকে কেন্দ্রকীয় সমাবয়ব বলে।

মনে করা হয় এই ধরনের কেন্দ্রেককগুলিতে কেন্দ্রকশসংখ্যা অভিন্ন অর্থাৎ, সমসংখ্যক প্রোটন ও সমসংখ্যক নিউট্রন থাকলেও কেন্দ্রকশগুলির শক্তি স্তর বিভিন্ন। $(2n + 2)$ অর্থাৎ, তেজস্ক্রিয় সারির Ux_1 (অর্থাৎ, $_{90}{}^{234}Th$)

দুভাবে বিভাজিত হয় ; $^{234}_{90}Th \xrightarrow[24.1\ \text{দিন}]{\beta^-} {}^{234}_{91}Pa \xrightarrow[1.18\ \text{মি}]{\beta^-} {}^{234}_{92}U$

(Ux_1) (Ux_2) (U_{11})

0.35% Ux_1 অন্য ধরনের তেজস্ক্রিয়া দেখায়। যেমন ঃ $Ux_1 = \xrightarrow[24\ \text{দিন}]{\beta^-} Uz \xrightarrow[6.7\ \text{ব.}]{\beta^-} U_{11}$

এখানে Ux_2 ও Uz উভয়েই $_{91}{}^{234}Pa$. কিন্তু এদের অর্ধায়ু কাল ভিন্ন। এটি কেন্দ্রকীয় সমাবয়বতার একটি উদাহরণ। এদের শক্তিস্তর ভিন্ন। এই ভিন্নতা আসে কেন্দ্রকশগুলির স্তরবিন্যাসের ভিন্নতা থেকে।

সাধারণতঃ উচ্চতর শক্তিস্তরে গঠিত কেন্দ্রগুলি 10^{-13} সেকেন্ডেরও কম সময়ের মধ্যে γ ফোটন নিঃসারিত করে নিম্নতর অন্তবর্তী শক্তি স্তরে আসে। কিন্তু কোন কোন ক্ষেত্রে উত্তেজিত অবস্থার অর্ধায়ু উক্ত মানের কম হয়ে 10^{-9} সেকেন্ড থেকে কয়েক মাস পর্যন্ত হয়ে যায়। এই স্তরকে বলা হয় 'অস্থিতকল্প' (metastable) অবস্থা। (যদি দুটি স্তরের কৌণিক ভর বেগের পার্থক্য বেশি হয় তবে অবশ্য এদের মধ্যে অন্তবর্তন (transition) নিষিদ্ধ হয়ে পড়ে। এক্ষেত্রে উচ্চতর স্তরের দীর্ঘতর আয়ুষ্কাল হয়। এমতাবস্থায় উচ্চতরস্তরে দীর্ঘায়ু কেন্দ্রক গঠিত হয়, এবং দীর্ঘতর সময় পরে নিম্নতর স্তরে উপনীত হয়। যদি কেন্দ্রকটি β-নিঃসারী হয়, তবে পরবর্তী পর্যায়ে ভূমিস্তরে β-নিঃসরণ করে আরেকটি কেন্দ্রক উৎপন্ন করবে। এভাবেই একই সমঘরের বিভিন্ন অর্ধায়ুকাল থাকতে পারে। (চিত্র 1.1)

চিত্র : 1.1

কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় সমঘরের ক্ষেত্রে এই ঘটনা দেখা যায়। $_{35}^{80}Br$ এমন একটি উদাহরণ (চিত্র 1.2)

চিত্র : 1.2

অনুশীলনী — 2

1. সমঘর ও সমঘরের মধ্যে একটি তুলনা-সারণি তৈরি করুন।

2. প্রাকৃতিক বোরণে 10.01 ও 11.01 পারমাণবিক ওজন বিশিষ্ট দুইটি সমঘর আছে। বোরণের পারমাণবিক ওজন 10.81 হলে প্রতিটি সমঘরের শতকরা পরিমাণ বের করুন।

3. ঠিক উত্তর করুন।

   (a) প্রোটন সংখ্যা অভিন্ন নয়, কিন্তু কেন্দ্রকরণের সংখ্যা অভিন্ন, এমন কেন্দ্রকদের বলে ঃ (A) সমঘর (B) সমঘর (C) সমকণ (D) সমাবয়ব।

   (b) সমকণিক ত্রয়ী হল ঃ (A) $_6^{14}C$, $_7^{15}N$, $_9^{17}F$, (B) $_6^{12}C$, $_7^{14}N$, $_9^{19}F$; (C) $_6^{14}C$, $_7^{15}N$, $_9^{17}F$; (D) $_6^{14}C$, $_7^{14}N$, $_9^{19}F$.

4. নিচের কোন কোনটি সমঘর ? (A) 20p + 17n, (B) 18P + 22n, (C) 20p + 20n, (D) 20p + 15n.

5. শূন্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ (i) নির্দিষ্ট শক্তি সমন্বিত আলোক রশ্মিকে ..... বলে।

   (ii) নির্দিষ্ট ভর ও আধান সংখ্যা বিশিষ্ট কেন্দ্রককে ..... বলে।

1.4 কেন্দ্রকীয় সুস্থিতি (Nuclear stability)

কেন্দ্রেকক সমূহকে আমরা দুভাগে ভাগ করতে পারি তাদের সুস্থিতির উপর ভিত্তি করে। স্বভাবতই এই বিভাগ দুটি— (i) সুস্থিত ও (ii) অসুস্থিত বা তেজস্ক্রিয়।

যেসব কেন্দ্রেকক $\sim 10^{21}$ বছর পর্যন্ত অবিকৃত থাকে অর্থাৎ তাদের উপাদান নিউট্রন ও প্রোটন এর সংখ্যার কোনই পরিবর্তন হয় না তাদের স্থায়ী (permanent) বা সুস্থিত (stable) বলে। অবশ্য বর্তমানের উন্নততর বীক্ষণ ও নিরূপণ যন্ত্রের আবিষ্কারের ফলে এই সীমা আরও বাড়াবার প্রয়োজন হয়ে পড়েছে। যেমন এতকাল 130_{Te}-কে আমরা স্থায়ী বলে জানতাম। কিন্তু এখন দেখা যাচ্ছে এটি তেজস্ক্রিয় — যদিও তেজস্ক্রিয়তা খুবই কম, এর অর্ধায়ুকাল 10^{21} বছর। সুস্থিত কেন্দ্রেককের কেন্দ্রক ~10 এম-ই-ভি বা তার বেশি শক্তির কণা বা রশ্মি দ্বারা আঘাতের মাধ্যমে বা কেন্দ্রকণ অধিগ্রহণ ^{1}H, ^{2}H, ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O, ^{19}F, ^{23}Na ; ^{27}Al ; ^{31}Al ; ^{35}Cl, ^{37}Cl, ^{63}Cu, ^{65}Cu ইত্যাদি। প্রশ্ন আপনাদের মনে জাগতেই পারে এই সুস্থিতির জন্য দায়ী কী? কেন কিছু কেন্দ্রেকক সুস্থিত এবং অন্যেরা অসুস্থিত।

বহুসংখ্যক সুস্থিত ও অসুস্থিত কেন্দ্রেকক পর্যালোচনা করে এই সুস্থিতি— অসুস্থিতির যেসব কারণ খুঁজে পাওয়া গেছে সেগুলিই এখন আমরা আলোচনা করব।

1.4.1 কেন্দ্রকণের* সংখ্যার যুগ্ম-অযুগ্ম প্রকৃতি (Even-odd nature of the number of nucleons)

সারণি 1.3 লক্ষ করুন ঃ

সারণি 1.3

Z	N	A(= Z + N)	সুস্থিত কেন্দ্রেককের সংখ্যা	উদাহরণ
যুগ্ম	যুগ্ম	যুগ্ম	165	$_{2}^{4}He$; $_{8}^{16}O$· $_{12}^{24}Mg$, $_{82}^{208}Pb$
যুগ্ম	অযুগ্ম	অযুগ্ম	55	$_{8}^{17}O$, $_{12}^{25}Mg$, $_{26}^{57}Fe$
অযুগ্ম	যুগ্ম	অযুগ্ম	50	$_{3}^{7}Li$, $_{9}^{19}F$, $_{29}^{63}Cu$
অযুগ্ম	অযুগ্ম	যুগ্ম	5	$_{1}^{2}H$, $_{3}^{6}Li$, $_{5}^{10}B$, $_{7}^{14}N$, $_{73}^{180}Ta$*

*এর একটি অস্থিতকল্প সমঘর ($t_{1/2} = 8.1$ ঘ.) আছে।

এই সারণিটি বিশ্লেষণ করলে যে সব সিদ্ধান্ত করা যায় সেগুলি হল (i) Z ও N উভয়ই যুগ্ম হলে সর্বোচ্চ সংখ্যক সুস্থিত কেন্দ্রেকক সম্ভব। সুস্থিতির মূলে n – n ও p – p জোট গঠনের ভূমিকার গুরুত্ব এতে ধরা পড়ে। (তুলনীয় ইলেকট্রন জোট গঠনের মাধ্যমে সুস্থিত অণু গঠন)। পৃথিবীপৃষ্ঠেও দেখবেন 85%-ই যুগ্ম-Z, যুগ্ম-N কেন্দ্রেকক বিশিষ্ট মৌল দিয়ে গঠিত (সারণি 1.4)

* প্রোটন ও নিউট্রনের সাধারণ অভিধা কেন্দ্রকণ।

সারণি 1.4

মৌল	$_{8}^{16}O$	$_{14}^{28}Si$	$_{26}^{56}Fe$	$_{20}^{40}Ca$	$_{12}^{24}Mg$	
শতকরা মাত্রা (ওজন)	48	26	25	3.5	2	মোট 85%

প্রায় 13% গঠিত হয়েছে অযুগ্ম-Z, যুগ্ম-N (যেমন $_{13}^{27}Al$, $_{11}^{23}Na$, $_{19}^{39}K$) মৌল দিয়ে।

(ii) Z বা N অযুগ্ম—এরকম সুস্থিত কেন্দ্রেককের সংখ্যা উভয়ই যুগ্ম, এমন ক্ষেত্রের এক-তৃতীয়াংশ। আবার অযুগ্ম—Z এমন ক্ষেত্রের সংখ্যা অযুগ্ম—N, এমন ক্ষেত্রের প্রায় সমান। অর্থাৎ p ও n-এর আচরণ প্রায় একইরকম। অন্যভাবে বলা যায় কেন্দ্রকরণের আচরণ আধান-নিরপেক্ষ। প্রোটন কিন্তু নিউট্রনের সঙ্গে জোট বাঁধে না। জোট বাঁধা ঘটে n + n, p + p, n + n এই ক্রমে। অক্সিজেন থেকে ক্লোরিন এই হালকা মৌলগুলির ক্ষেত্রে সুস্থিত কেন্দ্রেকক গড়ে ওঠে এভাবে ; প্রথমে একবারে একটি করে দুটি n যুক্ত হয় ; তারপর একটি করে দুটি p যুক্ত হয় ও তারপর আবার n-এর পালা। তাই যুগ্ম Z হলে A, A + 1, A + 2—এই তিনটি সমঘর হতে পারে, কিন্তু অযুগ্ম Z হলে একটিই সমঘর হবে। দেখুন, কেমন অনুভূমিক দিকে n যোগ হয়ে

$$
\begin{array}{l}
_{8}^{16}O \rightarrow {}_{8}^{17}O \rightarrow {}_{8}^{18}O \\
\qquad\qquad\qquad\quad \downarrow \\
{}_{9}^{18}F_{9}\ {}^{19}F \rightarrow {}_{9}^{20}F \\
\qquad\qquad\quad \downarrow \\
\qquad\qquad {}_{10}^{20}Ne \rightarrow {}^{21}Ne \rightarrow {}^{22}Ne \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \downarrow \\
\qquad\qquad\qquad\qquad {}^{22}Na.
\end{array}
$$

সমঘর তৈরি হচ্ছে, আর নিচের উল্লেখ দিকে p যোগ হয়ে নতুন মৌল তৈরি হচ্ছে। n + n, p + p, n + n.... এই নিয়মের ব্যয় ঘটলে তেজস্ক্রিয় কেন্দ্রেককে গঠিত হয় (উপরের ক্রমে → চিহ্ন ক্ষেত্রে গুলিতে)।

1.4.2 নিউট্রন-প্রোটন অনুপাত এবং বিভিন্ন ধরনের বিভাজন (neutron to proton ratio and different modes & decay)

$_{1}^{1}H$ ছাড়া সব কেন্দ্রেককে n ও p উভয়ই আছে। সুস্থিত কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে N/Z অনুপাত ≥ 1.20 $^{40}Ca_{20}$ পর্যন্ত হাল্কা কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে এই অনুপাত = 1. এবং ভারী কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে এই অনুপাত > 1 (সারণি 1.5 দেখুন)। চিত্র 1.3 [সেগ্রী (Segre)-র তালিকা]-এ Z-এর সাপেক্ষে সুস্থিত কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে N বনাম Z পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

সারণি 1.5

A_x	$_{1}^{2}H$	$_{10}^{20}Ne$	$_{20}^{40}Ca$	$_{30}^{64}Zn$	$_{40}^{90}Zr$	$_{50}^{120}Sn$	$_{60}^{150}Nd$	$_{80}^{202}Mg$
Z	1	10	20	30	40	50	60	80
N	1	10	20	64	50	70	90	122
N/Z	1.00	1.00	1.00	1.13	1.25	1.40	1.50	1.53

বহু সংখ্যক মৌলেরই একাধিক সুস্থিত সমঘর আছে, তাই লেখচিত্রটি পটির আকার নিয়েছে, Z বাড়ার সঙ্গে পটিটি চওড়া হয়েছে। সব কটি সুস্থিত কেন্দ্রেকক এই পটির মধ্যে পড়ে, আর বাইরে পড়লে তারা তেজস্ক্রিয় হবেই। পটির উপরে পড়লে সুস্থিতির জন্য প্রয়োজনীয় সংখ্যকের বেশি n-এর উপস্থিতির দ্যোতনা হয়; সেক্ষেত্রে $n \rightarrow p$ পরিবর্তন ঘটে এবং β^- তেজস্ক্রিয়তা ঘটে এবং উৎপন্ন কেন্দ্রেকক সুস্থিত অঞ্চলে ঢোকে। পটির নিচে থাকা কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে উল্টোটা ঘটে; তখন n-এর ঘাটতি বোঝায় এবং β^+ নিঃসরণ বা ইলেকট্রন অধিগ্রহণ জনিত (electron capture, EC) তেজস্ক্রিয় ঘটে— ফলে $p \rightarrow n$ পরিবর্তন ঘটে। কয়েকটা উদাহরণ নিন ঃ সোডিয়ামের পারমাণবিক সংখ্যা 11. একমাত্র সুস্থিত কেন্দ্রেকক ${}_{11}^{23}Ne_{12}$। একটি প্রোটন, নিউট্রন কর্তৃক প্রতিস্থাপিত হলে কেন্দ্রেকক দাঁড়াচ্ছে ${}_{10}^{23}Ne_{13}$ এটি তেজস্ক্রিয় (β^-, 38 সে.)। অনুরূপে নিউট্রন যদি একটি প্রোটন দিয়ে প্রতিস্থাপিত হয় তবে হবে ${}_{12}^{23}Mg_{11}$— এটিও তেজস্ক্রিয় (β^+, 12 সে.)। আবার Z অপরিবর্তিত রেখে n বিতাড়িত বা যুক্ত করলে পাওয়া যাবে যথাক্রমে ${}_{11}^{22}Na_{11}$ (β^+ তেজস্ক্রিয়, 2.6 বছর) ও ${}_{11}^{24}Na_{13}$ (β^- সক্রিয়, 15 ঘ.)।

চিত্র : 1.3

কাজেই দেখা যাচ্ছে একটি আদর্শ (optimum) N/Z অনুপাত কেন্দ্রকীয় সুস্থিতির একটি গুরুত্বপূর্ণ শর্ত। ভারী কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে, সুস্থিতির জন্য প্রয়োজনীয় সংখ্যকের কম প্রোটন থাকলে সাধারণতঃ α-কণা নিঃসৃত হয় অর্থাৎ একই সাথে 2p ও n বেরিয়ে যায়।

$$^{238}_{92}U_{146} \text{ (N/Z অনুপাত } = 1.58) \xrightarrow[(^{4}_{2}He)]{-\alpha} {}^{234}_{90}Th\,(N/Z = 1.6) \ldots\ldots\rightarrow$$

(অবশ্য এই Th সমঘরও তেজস্ক্রিয়, β^- সক্রিয়)

অনুশীলনী—3

1. কোনটি অসুস্থিত ? (a) $_6{}^{10}B$, (b) $_4{}^{10}Be$, (c) $_7{}^{14}N$, (d) $_8{}^{16}O$

2. $_{15}{}^{30}P \xrightarrow{?} ?$

1.4.3 কেন্দ্রকীয় বল (Nuclear force)

কেন্দ্রকীয় আকর্ষণ বল দ্বারা কেন্দ্রকণাগুলি কেন্দ্রকে বদ্ধ থাকে। এই বল অত্যন্ত তীব্র এবং দূরত্বের সামান্যতম পরিবর্তনেই প্রভাবিত হয়। 8×10^{-16} মি. দূরত্বে এই বল তীব্রতম। এর চেয়ে কম দূরত্বে এটি দূরত্বের সঙ্গে দ্রুত কমতে থাকে। এবং 5×10^{-16} মি. দূরত্বে বিকর্ষণ বলে রূপান্তরিত হয়। দূরত্ব বাড়লেও আকর্ষণ বল কমতে থাকে (তবে কম দ্রুততায়) এবং 4×10^{-15} মিটারের কাছাকাছি দূরত্বে এই বল প্রায় শূন্য (চিত্র 1.4)। তাহলে দাঁড়াচ্ছে যে কেন্দ্রকীয় বল খুব ছোট্ট একটা পরিসরের (0.5 – 4 fm) মধ্যে কার্যকরী হয়। পরীক্ষা থেকে দেখা গেছে যখন উচ্চ গতি সম্পন্ন প্রোটন অন্য একটি প্রোটন বা হাইড্রোজেনের কেন্দ্রকের দিকে প্রক্ষেপিত হয়, তখন এই প্রক্ষিপ্ত কণা লক্ষ থেকে 10^{-15} মি. দূরত্বে এলে এদের বিকর্ষণ বল অতিক্রান্ত হয়।

চিত্র : 1.4

এই বলের পরিমাপ কিন্তু খুব বেশি। যেমন দুটি প্রোটনের মধ্যে কেন্দ্রকীয় বল তাদের মধ্যকার বিকর্ষণ বল (যা প্রায় 6 টন ভার) এর প্রায় 40 গুণ। দূরত্ব বাড়ার সঙ্গে কেন্দ্রকীয় বলের হ্রাস এবং কেন্দ্রকণের সংখ্যা বৃদ্ধি হলে বিকর্ষণ বলের অবধারণীয় বৃদ্ধি ভারি কেন্দ্রকের অসুস্থিততা ব্যাখ্যা করে। সুস্থিত কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে আকর্ষণ বল বিকর্ষণ বলের চেয়ে নিশ্চিতভাবেই বেশি, নতুবা স্বতস্ফূর্ত বিভাজন ঘটবে।

এই কেন্দ্রকীয় বল ও কেন্দ্রকীয় সুস্থতা কীভাবে ব্যাখ্যাত হতে পারে সে তত্ত্ব পরের অংশে দেওয়া হল।

1.4.3.1 সংকুলন-ভগ্নাংশ বা সমাবেশ-ভগ্নাংশ (Paking fraction)

কেন্দ্রেককের ভর (পারমাণবিক ভর এককে)-এর নিকটতম পূর্ণ সংখ্যাকে ঐ কেন্দ্রেককের ভর সংখ্যা (mass number) বলে। প্রকৃত সমঘরীয় ভর (M) এবং ভর সংখ্যার (A) পার্থক্যকে বলে সংশ্লিষ্ট কেন্দ্রেককের ভরত্রুটি (mass defect)।

অর্থাৎ $\Delta M = M - A$.

অ্যাস্টন সংকুলন-ভগ্নাংশ (সমাবেশ-ভগ্নাংশ) অভিধা-বিশিষ্ট একটি রাশি প্রবর্তন করেন। এর সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

$$\text{সংকুলন-ভগ্নাংশ, } f = \frac{\text{সমঘরীয় ভর (M)—ভর সংখ্যা (A)}}{\text{ভরসংখ্যা (A)}} \times 10^4$$

$$= \frac{\text{ভরত্রুটি}}{\text{ভর সংখ্যা (A)}} \times 10^4$$

10^4 উৎপাদকটি ব্যবহার করা হয়েছে লেখচিত্র আঁকার মত সুবিধাজনক রাশি পেতে। আবার $f = \frac{M}{A} - 1$

বা, $M = A(1 + f)$

সংকুলন ভগ্নাংশের কোন তাত্ত্বিক গুরুত্ব নেই, কিন্তু এ থেকে আমরা কেন্দ্রকের সুস্থিতির ধারণা পাই। ঋণাত্মক সংকুলন-ভগ্নাংশ হলে বোঝায় যে ΔM ঋণাত্মক। এর অর্থ এই যে কেন্দ্রক গঠন কালে কিছু ভরের হ্রাস ঘটেছে এবং সেই ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়েছে। কেন্দ্রকটিকে ভাঙতে হলে সমপরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হবে। সংকুলন ভগ্নাংশ যত ঋণাত্মক হবে, কেন্দ্রক ততই সুস্থিত হবে। অন্য দিকে ধনাত্মক সংকুলন-ভগ্নাংশের অর্থ অসুস্থিত কেন্দ্রক। চিত্র 1.5-এ বিভিন্ন সুস্থিত কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে সংকুলন ভগ্নাংশ ও ভর সংখ্যার লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। দেখা যাচ্ছে ঃ

(ক) সংকুলন ভগ্নাংশগুলি সম্ভবতঃ রেখার উপর পড়ে।

(খ) 50 – 60 ভরসংখ্যার সীমায় f-এর মান অবম — অর্থাৎ সর্বোচ্চ সুস্থিতি।

(গ) এই অবম মানের পরে আবার f বাড়তে থাকে এবং অবশেষ f-এর মান ধনাত্মক হয়। ভারী মৌলের তেজস্ক্রিয়তার সঙ্গে এই ঘটনা সঙ্গতিপূর্ণ।

চিত্র : 1.5

গণনা ঃ $_{28}^{58}Ni$-এর সংকুলন ভগ্নাংশ নির্ণয় ঃ

$$f = \frac{M - A}{A} = \frac{57.942 - 58}{58} \times 10^4 = 10.$$

কিন্তু দেখা যায় যে, $_5^{10}B$ (পারমাণবিক গুরুত্ব 10.0161) এর ক্ষেত্রে

$$f = \frac{10.0161 - 10}{10} = +16.1$$

এই কেন্দ্রকের তো সুস্থিত হওয়ার কথা নয়। কিন্তু বাস্তবে এটি অত্যন্ত সুস্থিত। যদি আমরা কেন্দ্রকরণের প্রকৃত ভর নিই তাহলে

$$f = \frac{10.0161 - 10 \times 1.008}{10} \times 10^4 = -63.9.$$

অর্থাৎ এটি সুস্থিত।

এভাবে আমরা He, C, O-এর ক্ষেত্রেও প্রকৃত সংকুলন ভগ্নাংশ বের করতে পারি। আর দেখতে পারি যে কেন্দ্রেককগুলি সুস্থিত।

অনুশীলনী — 4

1. $_2^4He$-এর সংকুলন ভগ্নাংশ বের করুন। প্রাপ্ত মান থেকে কেন্দ্রক সম্বন্ধে কী ধারণা পাওয়া যায়? এ ধারণা কি প্রকৃত তথ্যের সঙ্গে মেলে? অসঙ্গতি ব্যাখ্যা করুন। He-এর সমঘরীয় ভর = 4.002603.

1.4.3.2 কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি

আপনারা আগের অংশে দেখলেন যে, 'প্রকৃত ভর-ত্রুটি' সংজ্ঞাত হওয়া উচিত কেন্দ্রকের পুরো প্রকৃত ভর এবং সমঘরের প্রকৃত ভর (Isotopic mass)-এর পার্থক্য। ^{16}O-এর সাপেক্ষে পারমাণবিক ভরের ভৌত স্কেলে,

নিউট্রনের ভর (m_N) 1.008989 এবং প্রোটনের ভর (m_p) 1.00757 পারমাণবিক ভর একক (এ-এম্-ইউ) (1 এম-এম্-ইউ = $1/6.02 \times 10^{23} = 1.661 \times 10^{-24}$ গ্রা. = 1 ডালটন)।

$\therefore$ $_Z^AM_{A-Z}$ পরমাণুর ভর-ত্রুটি = $[Z(m_p + m_e) + (A - Z)m_N)] - M(A.Z) = \Delta M$

Z = পারমাণবিক সংখ্যা, A = ভর সংখ্যা, $M(A, Z)$ = সমঘরীয় ভর,

m_e = ইলেকট্রনের ভর = 0.0005757 এ-এম্-ইউ।

$\therefore$ $\Delta M = Z.m_H + (A - Z)m_N - M(M, Z)$ [m_H = হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর]

যখন কেন্দ্রকণারা পরস্পরের খুব কাছে (~ 1 fm) আছে তখন তাদের মধ্যে তীব্র এক আকর্ষণ বল সৃষ্ট হয়, এবং একটি পরমাণু কেন্দ্রক গঠিত হয়। এই পদ্ধতিতে শক্তির উদ্ভব ঘটে, এই শক্তির নাম কেন্দ্রকীয় বন্ধন শক্তি। এটি সেই পরিমাণ শক্তি যা প্রয়োগ করে কেন্দ্রককে কেন্দ্রকণে ভেঙে ফেলে। এই শক্তি আসে কোথা থেকে? ভরত্রুটির হিসাবে যেটুকু ভরের হ্রাস ঘটে তা-ই আইন্স্টাইনের ভর-শক্তি-তুল্যতা সূত্র ($E = \Delta mc^2$, c = আলোর গতিবেগ = 2.998×10^8 মি. সে$^{-1}$) অনুসারে শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

$\therefore$ কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি = $(Zm_H + (A - Z)\, m_N - M(A, Z)\,] \times 931$ Mev

($\therefore$ 1 এ-এম্-ইউ = 931 মিলিয়ন ইলেকট্রন ভোল্ট) এবং প্রতি কেন্দ্রকণে কেন্দ্রকীয় বন্ধন শক্তি =

$f_B = \frac{931}{A}[\,Zm_H + (A - Z)m_N - M(A,Z)$ Mev / কেন্দ্রকণ

f_b-কে বলা হয় বন্ধন ভগ্নাংশ।

আসুন, আমরা একটা গণনা দেখে নিই।

$_2^4He_2$-এর কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি : $\Delta M = 2m_H + 2m_N - M(A = 2, Z = 2)$

$= 2 \times 1.008145 + 2 \times 1.008986 - 4.003874 = 0.030388$ এ-এম্-ইউ

$= 0.030388 \times 931 = 28.29$ Mev.

$\therefore$ $(f_b)_{He} = \frac{28.29}{4} = 7.07$ Mev / কেন্দ্রকণ

ভর-সংখ্যা বনাম বন্ধন-ভগ্নাংশের, লেখচিত্র 1.6 চিত্রে দেখানো হল।

চিত্রে দেখা যাচ্ছে ভরসংখ্যা বৃদ্ধির সঙ্গে f_B 8.7 Mev / কেন্দ্রকণ (Fe, Ne ও তৎপার্শ্ববর্তী মৌলের ভর-সংখ্যা নাগাদ) সর্বোচ্চ মানে পৌঁছয়, এবং তারপরে তা কমতে কমতে 7.5-এ (235U-র ক্ষেত্রে) নেমে আসে। কাজেই দেখা যাচ্ছে কম ও বেশি ভরসংখ্যা-বিশিষ্ট মৌলের f_b-র মান ছোট, অর্থাৎ এরা কম সুস্থিত। ভরসংখ্যা 25 থেকে 180 পর্যন্ত কেন্দ্রকসমূহের অবস্থান লেখচিত্রের মাঝামাঝি— যেখানে f_b-র মান –8.5 এবং তারা হালকা ও ভারী মৌলসমূহের চেয়ে বেশি সুস্থিত। কেন্দ্রকীয় বিভাজন (fission) ও সংযোজন (fusion) বিক্রিয়ায় উদ্ভূত কেন্দ্রকের f_b বিক্রিয়ক কেন্দ্রকের চেয়ে বেশি। তাই এসব বিক্রিয়ার প্রভূত শক্তি নির্গত হয়। এই শক্তিকে পারমাণবিক শক্তি বা কেন্দ্রকীয় শক্তি বলা হয়।

চিত্র : 1.6

অনুশীলনী— 5

1. সংকুলন ভগ্নাংশ-র চেয়ে কেন্দ্রকীয় বন্ধন শক্তির তাত্ত্বিক তাৎপর্য বেশি কেন ?

2. $_{26}^{56}Fe$-এর ভর 55.9375 এ-এম্-ইউ ; প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে 1.00732 এবং 1.00866 এ-এম্-ইউ হলে Mev ও জুল-এ Fe-র কেন্দ্রকণা প্রতি বন্ধন-শক্তি বের করুন।

3. ^{12}C ও ^{13}C-এর কেন্দ্রকণা প্রতি বন্ধন-শক্তি যথাক্রমে 7.68 ও 7.47 Mev ; C^{13}— থেকে একটা নিউট্রন বের করে নিতে কী পরিমাণ শক্তি লাগবে ?

1.4.3.3 মেসন তত্ত্ব (meson theory)

দুটি প্রোটনের মধ্যে বিকর্ষণের মত কেন্দ্রকীয় আকর্ষণ বল স্থিরতাড়িতিক বল নয়, কারণ এক্ষেত্রে বিপরীত আধান যুক্ত কণা মিথস্ক্রিয়া ঘটায় না। তা ছাড়া এই বল খুব সামান্য দূরত্বে ক্রিয়াশীল। প্রকৃতপক্ষে কেন্দ্রকীয় আকর্ষণ বল আধান-নিরপেক্ষ— কারণ আমরা দেখেছি এক্ষেত্রে $p-p$, $n-n$ এবং $n-p$ বদ্ধ-যুক্ত অবস্থায় থাকে।

ঠিক যেমনটি দুটি পরমাণু ইলেকট্রন জোট ভাগাভাগি করে সমযোজী বন্ধ গঠন করে যার মূলে থাকে উদ্ভূত বিনিময় বল (exchange force) তেমনি প্রোটনসমূহ ও নিউট্রনসমূহ 'মেসন' নামধারী কণা দ্বারা পরস্পর সংবদ্ধ থাকে। কেন্দ্রকের বাইরে এই মেসন কণা খুবই অসুস্থিত। এই মেসন বিনিময়ের ফলেই কেন্দ্রকীয় বলের উদ্ভব হয়। ইউকাওয়া (H. Yukawa)-র মতানুসারে কেন্দ্রকণ সমূহের মিথস্ক্রিয়ায়, মেসনের উৎপত্তি ও অবলুপ্তির মাধ্যমে কেন্দ্রকীয় বন্ধন-বলের উদ্ভব ঘটে। π মেসন বা পায়ন কেন্দ্রকণগুলিকে পরস্পরের সঙ্গে ধরে রাখে। কেন্দ্রকণের মধ্যে পায়ণের অতি দ্রুত অবস্থান পরিবর্তন অর্থাৎ দোলন (oscillation) কেন্দ্রকণসমূহের মধ্যের আকর্ষণ বলের জন্য দায়ী। এ থেকে ইলেকট্রন ও পজিট্রনের উৎপত্তি (তেজস্ক্রিয় বিঘটনের সময়) ও ব্যাখ্যা করা যায়। $n \rightleftharpoons p + \pi^-$

$$\pi^- \rightleftharpoons \mu^- + \pi\nu$$

$$\mu^- \rightleftharpoons \beta^- + 2\nu$$

[μ == মিউমেসন বা মিউঅন্ ; $\nu \rightleftharpoons$ নিউট্রিনো]

আবার, $p \rightleftharpoons n + \pi^+$

$$\pi^+ \rightleftharpoons \mu^+ + \nu$$

$$\mu^+ \rightleftharpoons \beta^+ + 2\nu$$

যেক্ষেত্রে N/Z অনুপাত 1-এর বেশি সেখানে π^0 বা প্রশম পায়নের বিনিময়ের ফলে নিউট্রন-নিউট্রন আকর্ষণ ঘটে।

অনুরূপে $n \rightleftharpoons n + \pi^0$

$$p \rightleftharpoons p + \pi^0$$

অনুশীলনী — 6

1. কেন্দ্রকে ইলেকট্রন নেই ; কিন্তু তেজস্ক্রিয় বিঘটনে β-রশ্মি বের হয় কীভাবে ?

1.4.3.4 যাদু সংখ্যা (Magic numbers)

গভীর নিরীক্ষা করে দেখা গেছে 2, 8, 20, 28, 50, 82 সংখ্যক প্রোটন বা 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 সংখ্যক প্রোটন বা নিউট্রন থাকলে কেন্দ্রক বিশেষভাবে সুস্থিত হয় এবং সমঘরের সংখ্যাও সে সব ক্ষেত্রে বেশি হয়। এই সংখ্যাগুলিকে যাদু সংখ্যা বলে। উদাহরণ ঃ ${}^{16}_{8}O_8$, ${}^{40}_{20}Ca_{20}$, ${}^{208}_{82}Pb_{126}$ পরবর্তীকালে এদের কোষ (shell) সংখ্যা বলা হয়েছে। উক্ত সংখ্যাযুক্ত কেন্দ্রকের সুস্থিতি বোঝাবার জন্য নিচের তথ্যগুলি লক্ষ করুন।

(i) 20 ও 50 টি প্রোটন বা 20, 50 ও 82 টি নিউট্রন সমন্বিত কেন্দ্রকের সুস্থিত সমঘরের সংখ্যা বেশি। ${}_{50}Sn$-এর সমঘর সংখ্যা 10 (সর্বাধিক), ${}_{20}Ca$-এর আছে 6টি।

(ii) বিশ্ব-ব্রহ্মাণ্ডে যাদু-সংখ্যক কেন্দ্রকণ বিশিষ্ট কেন্দ্রককের (যেমন ঃ ${}^{16}_{8}O_8$, ${}^{40}_{20}Ca_{20}$, ${}^{88}_{38}Sr_{50}$, ${}^{118}_{50}Sn_{68}$, ${}^{138}_{56}Ba_{82}$, ${}^{208}_{82}Pb_{126}$) প্রাপ্তির পরিমাণ একই ভরসংখ্যা অঞ্চলে অবস্থিত অন্য কেন্দ্রককের চেয়ে বেশি।

(iii) ${}^{17}_{8}O$, ${}^{87}_{36}Kr$, ${}^{137}_{54}Xe$ নিউট্রন ত্যাগ করে যাদুসংখ্যক নিউট্রন বিশিষ্ট কণায় পরিণত হয়।

(iv) যাদু সংখ্যক নিউট্রন বিশিষ্ট কেন্দ্রককে কিন্তু নিউট্রন গ্রহণ করতে পরাঙ্মুখ—তাদের নিউট্রন গ্রহণ প্রস্থচ্ছেদ খুব কম।

(v) 4n, 4n + 2, 4n + 3 — এই তিনটি তেজস্ক্রিয় সারণির শেষতম মৌল তিনটি যথাক্রমে ${}^{208}_{82}Pb$, ${}^{206}_{82}Pb_{124}$, ${}^{207}_{82}Pb_{125}$। সবক্ষেত্রেই দেখা যাচ্ছে যাদুসংখ্যক প্রোটন তো বটেই, একক্ষেত্রে (${}^{208}_{82}Pb$)-যাদু সংখ্যক নিউট্রনও থাকে।

ইলেকট্রনের কক্ষ-গঠনের সঙ্গে সাযুজ্য রেখে যাদু-সংখ্যার গুরুত্ব ব্যাখ্যা করার জন্য কেন্দ্রকণেরও কক্ষ-গঠনের ধারণা দেওয়া হয়েছে। বিভিন্ন কক্ষ বা কক্ষকের কেন্দ্রকণ ধারনের ক্ষমতা ভিন্ন। যখন কোন কক্ষক নিউট্রন দিয়ে তার ক্ষমতানুযায়ী সম্পৃক্ত হয় (তুলনীয় বোর গ্যাসের পরমাণুর বহির্তম কক্ষক ইলেকট্রন দিয়ে পূর্ণ হওয়ায় তাদের বিন্যাস অত্যন্ত সুস্থিত) তখন কেন্দ্রক সুস্থিত হয়। যাদু সংখ্যায় এই পূর্ণতা সূচিত হয়। (আরও বৈশিষ্ট্যের জন্য 2.4 অনুচ্ছেদ দেখুন)।

1.5 সারাংশ

তাহলে এবার আসুন, এই এককটি পড়ে আমরা কী জানলাম একটু সংক্ষেপে ঝালিয়ে নিই।

মৌলের দুটি অংশ— ইলেকট্রন কক্ষকমহল ও কেন্দ্রক। কেন্দ্রকের ব্যাসার্ধ খুবই ছোট—10^{-15} মিটার ক্রমের। ঘনত্ব কেন্দ্রকের প্রকৃত নিরপেক্ষ এবং খুব বেশি — 10^{17} কিগ্রা মি$^{-3}$।

পারমাণবিক সংখ্যা মৌলের মৌলিকত্ব নির্ধারণ করে। Z ও N-এর অনুপাত কেন্দ্রকের স্থায়িত্ব নির্ণয় করে। মেসনতত্ত্বের সাহায্যে এই অনুপাতের ভূমিকা ব্যাখ্যা করা যায়।

নিউট্রন ও প্রোটন উভয়েরই সংখ্যা যুগ্ম হলে কেন্দ্রক সুস্থিত হয়, উভয়ই অযুগ্ম হলে অসুস্থিত এবং একটির সংখ্যা যুগ্ম ও অপরটি অযুগ্ম হলে সুস্থিতি মাঝামাঝি।

নিউট্রন-প্রোটন অনুপাত থেকে বিভিন্ন ধরনের বিভাজনের ধারণা পাওয়া যায়।

কেন্দ্রকীয় বল খুব স্বল্প (10^{-15} মি.) দূরত্বে ক্রিয়শীল এবং তা আধান-নিরপেক্ষ। এর প্রকৃতি ব্যাখ্যার জন্য বিভিন্ন তত্ত্ব উপস্থাপিত হয়েছে। এর মধ্যে আছে সংকুলান ভগ্নাংশ, কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি, মেসন তত্ত্ব ও যাদুসংখ্যা তত্ত্ব সমূহ।

1.6 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. প্রমাণ করুন যে কেন্দ্রকের ঘনত্ব মৌলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না।
2. ম্যাগনেসিয়ামের ব্যাসার্ধ 4.2 fm হলে এর কেন্দ্রকের ঘনত্ব বের করুন।
3. C^{12} কেন্দ্রকের আনুমানিক ঘনত্ব বের করুন।
4. প্রাকৃতিক ম্যাগনেসিয়ামে 78.6% ^{24}Mg, 10.1% ^{25}Mg ও 11.3% ^{26}Mg আছে। Mg-এর গড় পারমাণবিক ওজন কত হবে ?
5. সংকুলন ভগ্নাংশ ও কেন্দ্রকীয় বন্ধনশক্তি বলতে কী বোঝেন ? দেখান যে দ্বিতীয়টি প্রথমটি অপেক্ষা তাত্ত্বিক দিক থেকে বেশি গ্রহণীয়।
6. উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা করুন : সমঘর, সমভর, সমকণ, কেন্দ্রীয় সমাবয়ব ও সমসমঘরভেদ।

1.7 উত্তরমালা

অনুশীলনী— 1

1. কেন্দ্রকের আয়তন = $= \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3} \times 3.142 \times (5 \times 10^{-15})^3$ মি^{3}

   কেন্দ্রকের ভর = $\frac{27}{6.02 \times 10^{26}}$ কিগ্রা

   $\therefore$ ঘনত্ব = $\frac{27}{6.02 \times 10^{26}} \div \left(\frac{4}{3} \times 3.142 \times 1.25 \times 10^{-43}\right)$

   = 3.426×10^{17} কিগ্রা মি$^{-3}$

2. পারমাণবিক ভর এককের অপর নাম ডালটন। এর মান 1.66×10^{-27} কিগ্রা

3. পাঠ্যাংশ দেখুন।

   ইঙ্গিত ঃ ভর = $Z \times m_p + (A - Z)m_n$

অনুশীলনী — 2

1. রকম ভেদ	অভিন্ন	ভিন্ন
সমঘর	(i) পারমাণবিক সংখ্যা	(i) ভর সংখ্যা
	(ii) প্রোটন সংখ্যা	(ii) নিউট্রন সংখ্যা
	(iii) ইলেকট্রন সংখ্যা	(iii) ভৌত ধর্ম
	(iv) ইলেকট্রন বিন্যাস	
	(v) রাসায়নিক ধর্ম	
	(vi) পর্যায় ছকে অবস্থান	
সমভর	(i) ভরসংখ্যা	(i) পারমাণবিক সংখ্যা
	(ii) কেন্দ্রকণ সংখ্যা	(ii) প্রোটন, ইলেকট্রন, নিউট্রন সংখ্যা
		(iii) ইলেকট্রন বিন্যাস
		(iv) রাসায়নিক ধর্ম
		(v) ভৌত ধর্ম
		(vi) পর্যায় ছকে অবস্থান

2. $10.81 = \frac{10.01 \times x + (100 - x) \times 11.01}{100}$, $\therefore x = 20$

[$x = 10.01$ পাঃ গুঃ বিশিষ্ট সমঘরের শতকরা পরিমাণ]

$\therefore$ 10.01 পাঃ গুঃ বিশিষ্ট সমঘরের শতকরা পরিমাণ 20

এবং 11.01 „ „ „ „ „ 80

3. (a) B, (b) A, 4, B, C, (5) (i) ফোটন (ii) কেন্দ্রকক

অনুশীলনী — 3

1. (B), (2) $^{30}_{15}P \xrightarrow{-\beta^+} ^{30}_{14}Si$.

অনুশীলনী — 4

1. $f = \frac{4.002603 - 4}{4} \times 10^4 = \frac{0.002603}{4} \times 10^4 = 0.000651 \times 10^4 = 6.51$ এ থেকে ধারণা হয় যে কেন্দ্রক অসুস্থিত। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এটি অত্যন্ত সুস্থিত। প্রকৃত f বের করুন (পাঠ্যাংশ দেখুন)। প্রকৃত। ঋণাত্মক বলে এই কেন্দ্রক সুস্থিত।

অনুশীলনী — 5

1. অ্যাস্টনের ভরসংখ্যার তাত্ত্বিক তাৎপর্য নেই। তাই সংকুলন ভগ্নাংশও অনেকটা কল্পিত একটি রাশি। দেখা যায় ছোট কেন্দ্রকগুলি (যেমন He, B, C ইত্যাদি)-র ক্ষেত্রে সংকুলন ভগ্নাংশ ধনাত্মক হওয়া সত্ত্বেও তারা সুস্থিত। বন্ধনশক্তির ক্ষেত্রে পরমাণুর প্রকৃত ওজন নেওয়া হয় বলে এর তাত্ত্বিক তাৎপর্য বেশি।

2. গণনাংশ দেখে নিজে করুন। উত্তর হবে 8.543 Mev ; 1.37×10^{-12} জুল। (মনে রাখবেন, 10^8 আর্গ = 1 জুল)।

3. উত্তর 4.5 Mev.

অনুশীলনী — 6

1. পাঠ্যাংশ দেখুন, π মারফৎ।

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. 1.2.2 অংশ দেখুন

2. অনুশীলনী 1-এর সম্পাদ্য দেখে নিজে করুন। উত্তর ঃ 5.78 কিগ্রা মি$^{-3}$

3. $RC^{12} = Ro\ A^{1/3} = 1.4 \times 10^{-15} \times 12^{1/3}$

$$v = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3} \times 3.142 \times 1.4^3 \times (10^{-15})^3 \times 12$$

$$= 1.38 \times 10^{-43}$$

$$D = \frac{M}{V} = \frac{12}{1.38 \times 10^{-43} \times 6.02 \times 10^{26}} = 1.44 \times 10^{17} \text{ কিগ্রা মি}^{-3}$$

4. $$\frac{78.6 \times 24 + 10.1 \times 25 + 11.3 \times 26}{100} = 24.327$$

5. 1.4.3.1 ও 1.4.3.2 পাঠ্যাংশ থেকে উত্তর সংগ্রহ করুন।

6. 1.3 অংশ দেখুন।

একক 2 □ কেন্দ্রকের কাঠামো (nuclear model) ও ভরসূত্র (mass formula)

গঠন

2.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

2.2 প্রোটন-ইলেকট্রন কাঠামো

2.3 প্রোটন-নিউট্রন কাঠামো

2.4 কক্ষ কাঠামোরূপ

2.4.1 কক্ষ কাঠামোরূপের প্রয়োগ

2.5 তরল (বা প্রবাহী)-ফোঁটা কাঠামোরূপ ও ভরসূত্র

2.5.1 ভরসূত্র

2.5.2 ভরসূত্রের প্রয়োগ

2.6 ফার্মির গ্যাস কাঠামোরূপ

2.7 সমন্বিত কাঠামোরূপ

2.8 সারাংশ

2.9 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

2.10 উত্তরমালা

2.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ 1932 খৃস্টাব্দে নিউট্রনের আবিষ্কার এবং কেন্দ্রক সম্বন্ধে আমাদের ধারণা যে কেন্দ্রক প্রোটন ও নিউট্রনের সমবায়ে গঠিত— এই দুয়ে মিলে বৈজ্ঞানিকদের প্রবৃত্ত করল কেন্দ্রকের গঠন কাঠামো নিয়ে চিন্তাভাবনা করতে। অর্থাৎ, তাঁরা ভাবতে শুরু করলেন কেন্দ্রকের মধ্যে এই কেন্দ্রকণাগুলি কীভাবে সজ্জিত থাকে তা ঠিক করতে। আর প্রচেষ্টার ফলশ্রুতি হিসাবে আমরা দেখলাম বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন গঠন কাঠামো পরিকল্পিত হতে। এই বিভিন্ন কাঠামো নিয়েই বর্তমান এককের অবতারণা।

উদ্দেশ্য ঃ এই এককটি পাঠ ও আলোচনা করে আপনারা বিভিন্ন সময়ে পরিকল্পিত কেন্দ্রক-কাঠামো এবং তাদের গুণাগুণ সম্বন্ধে অবহিত হতে পারবেন। এই কাঠামোগুলি হল—

- প্রোটন-ইলেকট্রন কাঠামো।
- প্রোটন-নিউট্রন কাঠামো।
- কক্ষ-কাঠামো।
- ফার্মির গ্যাসীয় কাঠামো।
- সমন্বিত কাঠামো।

2.2 প্রোটন-ইলেকট্রন কাঠামো (proton-electron model)

নিউট্রনের আবিষ্কারের আগে এবং রাদারফোর্ডের বিচ্ছুরণ পরীক্ষার পরে ধারণা ছিল যে কেন্দ্রক পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে থাকে ; পরমাণুর বেশিরভাগ অংশ ফাঁকা এবং বাইরের কক্ষকসমূহে ইলেকট্রন থাকে।

যেহেতু পরমাণুর ভরের প্রায় সবটাই কেন্দ্রে আধারিত, এবং কেন্দ্রের মোট ধনাত্মক আধান বহির্কক্ষের ঋণাত্মক আধানের সমান, তাই ধরা হত যে কেন্দ্রক ইলেকট্রন ও প্রোটন-এর সমন্বয়ে গঠিত। ${}_{Z}^{A}M$ পরমাণুর কেন্দ্রে থাকবে Aটি প্রোটন, $(A-Z)$টি ইলেকট্রন (যাতে মোট ধনাত্মক আধান হয় + Z) এবং বাইরের পক্ষে থাকবে Zটি ইলেকট্রন। কেন্দ্রের প্রোটন ও ইলেকট্রন মুক্ত অবস্থায় থাকবে। এর পক্ষে আরও যুক্তি হল এই যে তেজস্ক্রিয়া কেন্দ্রকীয় ধর্ম এবং তেজস্ক্রিয়ার সময় β-রশ্মি বের হয়। বিপক্ষের যুক্তি এই ঃ (i) কেন্দ্রকের আকার ইলেকট্রনের আকারের প্রায় সমান, কাজেই কেন্দ্রকে মুক্ত ইলেকট্রন থাকায় সম্ভাবনা নেই।

(ii) ধরা যাক, ${}_{7}^{14}N$ পরমাণুর কেন্দ্রকের কথা। এতে 14টি প্রোটনত্ব 7টি কেন্দ্রকীয় ইলেকট্রন থাকবে। 14টি প্রোটনের মোট ঘূর্ণন ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$ এককে '0' এবং 7টি ইলেকট্রনের এক $\frac{h}{2\pi}$ একক অর্থাৎ $+\frac{1}{2}$ বা $-\frac{1}{2}$, কিন্তু ঘূর্ণ ভরবেগের পরীক্ষালব্ধ মান '1' অর্থাৎ 2 একক।

নিউট্রনের আবিষ্কারের পর এই সমস্যার সমাধান হল। ${}_{7}^{14}N$-এ 7টি ইলেকট্রনের ঘূর্ণন ভরবেগ $\frac{1}{2}$ এবং 7টি নিউট্রনের $\frac{1}{2}$— অর্থাৎ মোট 1।

2.3 প্রোটন-নিউট্রন কাঠামো (proton-neutron model)

প্রোটন-ইলেকট্রন কাঠামোর অসুবিধা আপনারা আগের এককাংশে দেখেছেন। স্যাডউইকের পরীক্ষায় $\left({}_{4}^{9}Be + {}_{0}^{4}He \rightarrow {}_{6}^{12}C + {}_{0}^{1}n\right)$ নিউট্রনের আবিষ্কারের পর বিজ্ঞানীরা এবার ভাবতে থাকলেন যে পরমাণুর কেন্দ্রক কতগুলি প্রোটন ও নিউট্রনের ঘন সন্নিবেশের ফলে গঠিত। আমরা যদি ${}_{Z}^{A}M$ পরমাণুর কেন্দ্রক ধরি তবে,

প্রোটনের সংখ্যা হবে Z, ভরসংখ্যা (= প্রোটনের সংখ্যা + নিউট্রনের সংখ্যা ; কারণ প্রোটনের ভর = নিউট্রনের ভর) = A ; কাজেই নিউট্রনের সংখ্যা = A – Z.

যেহেতু নিউট্রন ও প্রোটন ভরের দিক থেকে পরস্পরের খুব কাছাকাছি (এবং প্রায় '1' ডালটন), তাই পরমাণু ভর ও ভরসংখ্যা খুব কাছাকাছি হয় (অ্যাস্টনের সংকুলন-ভগ্নাংশের তাৎপর্য এখানেই নিহিত)।

এই প্রকল্পের সাহায্যে কেন্দ্রকের ঘূর্ণন কৌণিক ভরবেগ সঠিকভাবে ব্যাখ্যাত হতে পারে (2.2 অংশ দেখুন)।

প্রোটন-নিউট্রন প্রকল্পের সাহায্যে আইসোটোপ, আইসোবার, আইসোটোন ইত্যাদির অস্তিত্ব (1.3 অংশ দ্রষ্টব্য) এবং স্থায়িত্ব (1.4.2, 1.4.3 অংশ দ্রষ্টব্য) ব্যাখ্যা করা যায়।

2.4 কক্ষ কাঠামোরূপ (Shell model)

যাদু সংখ্যা সম্বন্ধে আলোচনা (1.4.3.4 অংশ দ্রষ্টব্য) প্রসঙ্গে আমরা আপনাদের জানিয়েছি যে ইলেকট্রন কক্ষের মত কেন্দ্রকশ-কক্ষও থাকতে পারে এবং এই কক্ষগুলির সম্পূর্তি (completion) কেন্দ্রকের স্থায়িত্ব ও যাদুসংখ্যার গুরুত্ব সূচিত করে।

এই ধারণা থেকেই প্রথমে 1933 সালে ডব্লিউ-এম্ ইলাসের (W.M. Elasser) এবং পরবর্তীকালে পূর্ণতর রূপে মারিয়া জি. মায়ার (maria G. Mayer, 1948) এবং ও হাক্সেল (O. Haxel), জে-এইচ্-ডি ইয়েনসেন (JHD Jensen) ও এইচ্-ই সুয়েস (H.E. Suess) পৃথকভাবে (পরের ত্রয়ী 1949 সালে) কক্ষ কাঠামোরূপ উপস্থাপনা ও ব্যাখ্যা করেন।

আমরা দেখে নিই আসুন এই কক্ষ কাঠামোরূপ প্রতিপাদনের ক্ষেত্রে তার স্বপক্ষে কী কী যুক্তি দেওয়া হয়েছিল।

1. লক্ষ করা হল যে কেন্দ্রকসমূহ সুস্থিত ও প্রতিসম হয় দুটি ক্ষেত্রে ঃ

   (i) যুগ্ম-N ও যুগ্ম-Z ঃ এক্ষেত্রে নিউট্রন বা কেন্দ্রকশ সংখ্যা যুগ্ম হওয়ার দরুণ কৌণিক ভ্রামক প্রশমিত হয় এবং ভূমিস্তরে কেন্দ্রকসমূহের 'শূন্য' ঘূর্ণন ভ্রামক (Spin moment) এবং 'শূন্য' চৌম্বক ভ্রামক (magenia moment) লক্ষিত হয়। একক অযুগ্ম p এবং | বা অযুগ্ম n-এর উপস্থিতিই কেন্দ্রকের ঘূর্ণন ও চৌম্বক ভ্রামক উৎপাদনের জন্য দায়ী। আরও দেখানো যায় যে, যে সব কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে I = O (সব যুগ্ম-7, যুগ্ম-N কেন্দ্রক) তাদের ক্ষেত্রে তড়িৎ চতুষ্ধ্রুবীয় ভ্রামক (quadrupole moment) 'শূন্য' এবং যে সব কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে I = 1/2 (বিরাট সংখ্যক অযুগ্ম A-কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে), চতুষ্ধ্রুবীয় ভ্রামক প্রায় দুর্নিরীক্ষ্য। অন্যভাবে বলতে গেলে, কেন্দ্রকীয় চতুষ্ধ্রুবীয় ভ্রামক পরিমাপযোগ্য হয় $I \geq 1$ হলেই। এ থেকে এটাই বোঝা যায় যে I = 0 বা 1/2 সম্পন্ন কেন্দ্রকের আকার প্রায় গোলকীয় (1.2.2 অংশ দেখুন)।

   (ii) যদি Z এবং | বা N-এর মান 2, 8, 20, 50, 82, 126 (যাদু সংখ্যা) হলে কক্ষ পূর্ণ হয় এবং

কেন্দ্রক সুস্থিত হয়। প্রমাণঃ যাদু সংখ্যার সমান কেন্দ্রকণ বিশিষ্ট কেন্দ্রেককের আপেক্ষিক প্রাচুর্য (relative abundnce) 60% এরও বেশি হয় ; যেমন $^{88}_{38}Sr_{50}$, $^{138}_{56}Ba_{82}$ ও $^{140}_{58}Ce_{82}$ -এর আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে 82.56%, 71.66% এবং 88.48%।

চতুর্ধ্রুবীয় ভ্রামক (quadrupole moment = $Q = er^2\left(\frac{3}{2}\cos^2\theta - \frac{1}{2}\right)$ এর একক 'b' ($1b = 10^{-28}m^2$)

চিত্র : 2.1

যাদুসংখ্যার আরও কতগুলি বৈশিষ্ট্য নিম্নরূপ ঃ

(i) যাদু প্রোটন সংখ্যা বিশিষ্ট মৌলের স্থায়ি সমঘরের সংখ্যা নিকটবর্তী মৌলসমূহের তুলনায় বেশি ; যথা $_{50}Sn$-এর স্থায়ি সমঘরের সংখ্যা 10 (সর্বাধিক)। তুলনায় কাছাকাছি অবস্থিত $_{48}Cd$ ও $_{52}Te$ এবং স্থায়ি সমঘর সংখ্যা কম (8)।

(ii) একইভাবে যাদু নিউট্রন সংখ্যা বিশিষ্ট স্থায়ি আইসোটোনের সংখ্যা কাছাকাছি অবস্থিত মৌলসমূহের আইসোটোন সংখ্যার তুলনায় বেশি হয়। যেমন, N = 82 হলে যেখানে 7টি আইসোটোন পাওয়া যায়, সেক্ষেত্রে N = 80 ও N = 84 হলে সম্ভাব্য আইসোটোন সংখ্যা যথাক্রমে 322।

(iii) তেজস্ক্রিয় সারণির শেষতম সুস্থিত মৌলের (Pb) কেন্দ্রেকের Z = 82 (অনুচ্ছেদ 1.4.3.4 দ্রষ্টব্য

(iv) যাদু সংখ্যক কেন্দ্রকণ সম্পন্ন কেন্দ্রকের প্রথম উত্তেজিত শক্তিস্তরের শক্তি কাছাকাছি অবস্থিত কেন্দ্রক সমূহের অনুরূপ শক্তির তুলনায় বেশি (তুলনায় বোর গ্যাসের পরমাণুর ক্ষেত্রে অনুরূপ শক্তিও বেশি হয়)।

(v) যাদু সংখ্যক কেন্দ্রকণ বিশিষ্ট কেন্দ্রেককের নিউট্রণন-অধিকার-প্রস্থচ্ছেদ (neutron capture cross section) সাধারণতঃ কম হয়। অর্থাৎ কক্ষ পূর্ণ থাকায় এদের নিউট্রন (বা প্রোটন অধিকারের প্রবণতা কম হয়)।

এবার আমরা দেখব কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে কোয়ান্টাম স্তর সমূহের (quantum states) আখ্যায়িতকরণ (disignation) কীভাবে হয় আর এগুলিতে কেন্দ্রকণার সমাবেশকরণ (accommodation) কীভাবে ঘটে। আর যাদুসংখ্যক কেন্দ্রকণ কীভাবে কক্ষপূর্তি নির্দেশ করে।

নিচে বর্নিত স্বীকারগুলি ধরে নেওয়া হয় ঃ

(1) প্রথম কেন্দ্রকীয় কক্ষ 15 (ঠিক প্রথম পারমাণবিক কক্ষ 'K'-এর মত)।

(2) প্রোটন ও নিউট্রনগুলি তথাকথিত গভীর আয়তক্ষেত্রিক বিভব কূপ (Rectangular Potential well)-এ অবস্থান করে। প্রতিটি কেন্দ্রকণ একটি বিরাট সমবিভব মাধ্যমে সেখানে ধৃত (held) থাকে। তবে এই বিভবকূপ স্থিরতাড়িতিক বিভব ক্ষেত্র নয়। কেন্দ্রক নিউট্রন ও প্রোটনসমূহের পারস্পরিক আকর্ষণে একটি গড় বিভবকূপে অবস্থান করে। প্রতিটি কেন্দ্রকণ স্বাধীনভাবে এই বিভবকূপে ঘূর্ণ্যমান অবস্থায় থাকে। কেন্দ্রকের কেন্দ্রকণসমূহের সম্ভাব্য শক্তিস্তর সমূহ নিরূপণ করা যায়। এই বিভবকূপের বৈশিষ্ট্যজ্ঞাপক গাণিতিক রাশি (parameter) সমর্থিত উপযুক্ত শ্রোডিঙ্গার সমীকরণ সমাধানের মাধ্যমে। বিভিন্ন শক্তিস্তরে কেন্দ্রকণগুলির অবস্থান পাউলির অপবর্জন নীতি দ্বারা নিয়ন্ত্রিত।

ইলেকট্রন-কক্ষের মত এখানেও কেন্দ্রকণগুলি একেবারে নিচের স্তর থেকে উপরের দিকে পর্যায়ক্রমে (কেন্দ্রকের শক্তিস্তরসমূহের অবস্থান) প্রবেশ করে। দেখা গেছে কিছু শক্তিস্তর খুব কাছাকাছি থাকে। এই কাছাকাছি থাকা শক্তিস্তরগুলি নিয়ে একটি কক্ষ গঠিত হয়।

চিত্র : 2.2 সমশ্বস কম্পক বিভবকূপ

যখন কোন কক্ষ একই ধরনের কেন্দ্রকণ দিয়ে সম্পূর্ণ ভর্তি হয়, তখন সেখান থেকে একটি কেন্দ্রকণ সরাতে প্রচুর শক্তি প্রয়োজন হয়, অর্থাৎ পূর্ণ কক্ষের বন্ধন শক্তি অসম্পূর্ণ কক্ষের থেকে বেশি। এরূপ কক্ষের কেন্দ্রকণ সংখ্যাই যাদুসংখ্যা।

3. যাদুসংখ্যা পাওয়ার ক্ষেত্রে আরো দুটি স্বীকার প্রয়োজন। এটি এ রকম : ঘূর্ণন-কক্ষক দ্বন্দ্বীভবন (spinorbit coupling)-এর ফলে সঞ্জাত বল [কেন্দ্রকে কেন্দ্রকণের কেন্দ্রকীয় ঘূর্ণন এবং কক্ষের কৌণিক ভরবেগের ফলে সঞ্জাত বল] খুব বেশি হয়। একে L – S দ্বন্দ্বীভবন বলে।

এই L – S দ্বন্দ্বীভবনের ফলে th-কৌণিক ভরবেগ সম্পন্ন কেন্দ্রক দুটি সম্ভাব্য উপস্তরে বিশিষ্ট (split) হয়ে পড়ে। এই উপস্তর সমূহের লব্ধি কৌণিক ভরবেগ কোয়ান্টাম সংখ্যা হবে $J = l + \frac{1}{2}$ এবং $J = l - \frac{1}{2}$ কেবলমাত্র যখন $l = 0$, তখনই J-র একটি মাত্র মান $\frac{1}{2}$ থাকবে।

সমঞ্জস স্পন্দক স্তরসমূহ (আনুমানিক) ঘূর্ণন-কক্ষক বলজনিত বিশ্লিষ্টভবন

চিত্র : 2.3

∵ l একটি পূর্ণ সংখ্যা, J হবে পূর্ণ সংখ্যা + $\frac{1}{2}$। তাত্ত্বিক গণনা থেকে দেখা যায় যে $J = l + \frac{1}{2}$ স্তরের শক্তি $J = l - \frac{1}{2}$ স্তরের শক্তির চেয়ে কম। l যত বাড়ে এদের শক্তির পার্থক্যও ততই বাড়ে। প্রকৃতপক্ষে $l > 3$ হলে উপস্তরের এই পার্থক্য এত বেশি হয়, যে এরা দুটি কক্ষকের অংশবিশেষ হয়ে পড়ে (চিত্র 2.3)।

4. মোট কৌণিক ভরবেগ (total angular momentum) বা কেন্দ্রকীয় ঘূর্ণন (nuclear spin) কোয়ান্টাম সংখ্যা 1, বিভিন্ন কেন্দ্রকণের J-মানের ভেক্টর-সংখ্যা-সংযোগ (Vector-combination)-এর ফলে নির্ণীত হয়। কাজেই অতি সঙ্গতভাবেই কেন্দ্রকণের J – J সংযোগ একটি অতি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।

লক্ষ্যণীয়, বিভিন্ন কক্ষকের 'l' কোয়ান্টাম সংখ্যা ঠিক পারমাণবিক বর্ণালীর মতই নিচের বর্ণালীবীক্ষণ প্রতীকের মাধ্যমে সূচিত হয় ঃ

l	ঃ	0	1	2	3	4	5	6
প্রতীক	ঃ	s	p	d	f	g	h	i

5. কক্ষ তত্ত্ব অনুযায়ী আরেকটি কোয়ান্টাম সংখ্যা (n) প্রয়োজন হয়। 'n'-এর মান হতে পারে 1, 2, 3, 4... ইত্যাদি। আর, n-এর যে কোনও মানের জন্য l-এর মান হতে পারে 0, 1, 2, 3, ...। অবশ্যই এই n-এর তাৎপর্য বহির্কক্ষকীয় ইলেকট্রন-বিন্যাসের ক্ষেত্রে প্রযুক্ত মুখ্য কোয়ান্টাম (principal) সংখ্যা থেকে ভিন্ন।

উপযুক্ত তিনটি কোয়ান্টাম সংখ্যা n, l, j-র উপর ভিত্তি করে বিভিন্ন কেন্দ্রকীয় কক্ষসমূহকে নিম্নলিখিত উপায়ে পরিচায়িত করা যায় ঃ

$1S_{1/2}, 2p_{3/2}, 2p_{1/2}, 3d_{5/2}, 3d_{3/2}, 2S_{1/2}$ ..... $4f_{7/2}, 4f_{5/2}$ ইত্যাদি।

পাউলির অপবর্জন নীতি অনুযায়ী কোনও উপস্তরে সম্ভাব্য সর্বোচ্চ সংখ্যক (2J+1) কেন্দ্রকণ থাকতে পারবে। যখন উপস্তরে (2J+1) টি ইলেকট্রন অবস্থান করে, তখন বাড়তি ইলেকট্রন উচ্চতর কক্ষকে যাবে। কেন্দ্রকীয় শক্তি-স্তরের আপেক্ষিক অবস্থান চিত্র 2.3-এ দেখানো হয়েছে। এক ধরনের যে কেন্দ্রকণ সংখ্যায় নির্দিষ্ট কক্ষম পুরো ভর্তি হয় তা-ও পাশে দেখানো হয়েছে। এ থেকেই যাদু সংখ্যার তাৎপর্য প্রতীয়মান হয়। 2.3 চিত্র থেকে L – S দ্বন্দ্বীভবনের গুরুত্বও বোঝা যায়। যেমন ধরুন $4f_{5/2}$ কক্ষকের শক্তি $4f_{7/2}(l = 3)$-এর শক্তির চেয়ে এত বেশি যে শেষোক্ত কক্ষক ভর্তি হওয়ার সঙ্গেই কক্ষ পূর্ণ হয়ে যায় এবং যাদু সংখ্যা 28 পাওয়া যায়।

একইভাবে $5g_{9/2}$ ও $5g_{7/2}$ $(l = 4)$ কক্ষকদ্বয়ের শক্তির পার্থক্য এত বেশি যে তারা দুটি বিভিন্ন কক্ষকের অংশ, এবং তার মাঝখানেই পাওয়া যাচ্ছে যাদুসংখ্যার '50'।

অনুরূপে (i) $6h_{11/2}$ এবং $6h_{9/2}$ $(l = 5)$ বিশিষ্টভবন-এর ফলে যাদুসংখ্যা 82 উৎপন্ন হয়; আবার $7i_{13/2}$ ও $7i_{11/2}$ $(l = 6)$ বিশ্লেষণে পাওয়া যাচ্ছে যাদু সংখ্যা 126।

আসুন, এবার একটু সহজ করে সমস্ত ব্যাপারটা পুনরণুধাবন করি ঃ

সারণি 2.1

শক্তি-স্তর-নির্দেশ (Level design)	নিউট্রন / প্রোটন সংখ্যা	মোট n/p সংখ্যা
1s ½	2	2
2p ⅜	4	
2p ½	2	
		8
3d ⅝	6	
3d ⅜	4	
2S ½	2	
		20
4f ⅞	8	
		28
4f ⅝	6	
3p ⅜	4	
3p ½	2	
5g ⅝	10	
		50
5g ⅞	8	
4d ⅝	6	
4d ⅜	4	
3s ½	2	
6h 11/2	12	
		82
6h ⅝	10	
5b ⅞	8	
5f ⅝	6	
4p ⅜	4	
4p ½	2	
7i 13/2	14	
		126

কিন্তু কথা হচ্ছে এই পারম্পর্য মনে রাখবেন কী করে? বড় কঠিন বলে মনে হচ্ছে? না, আপাত কঠিন মনে হলেও মনে রাখার সহজ নিয়ম আছে। নিচে তা বর্ণিত হল।

1. নিউট্রন ও প্রোটনের ক্ষেত্রে স্বাধীনভাবে স্তরক্রম নির্ধারিত হবে।

যেমন ধরুন $^{4}_{2}He_2$-এ 2টি প্রোটন ও 2টি নিউট্রন আছে— সবগুলিই থাকবে 15 স্তরে। আবার $^{9}_{4}Be$-এ আছে 4টি প্রোটন— $1S_{1/2}$ স্তরে 2টি এবং $2p_{3/2}$ স্তরে 2টি [সংক্ষেপে সূচিত হয় এভাবে ঃ $1S^2_{\frac{1}{2}}\ 2P^2_{\frac{3}{2}}$] এবং 5টি নিউট্রন — $1S^2_{\frac{1}{2}}\ 2P^2_{\frac{3}{2}}$।

চরম শক্তির স্কেলে p-এর স্তরগুলির শক্তি n-এর শক্তিস্তর অপেক্ষা একটু উঁচুতে থাকে—Z বাড়ার সঙ্গে এই পার্থক্যও বাড়ে। এটি আমাদের পরিচিত কুলম্ব বিকর্ষণ প্রভাব। তবে মোটামুটিভাবে এটা ধরে নেওয়া যেতে পারে যে, এর জন্য নির্দিষ্ট ধরনের শক্তি স্তরের ক্রমপর্যায় পরিবর্তিত হয় না।

আবার এটাও ঠিক যে Z-এর মান বেশি হলে কেন্দ্রকের p-স্তরগুলির ক্রমবিন্যাসে সামান্য পরিবর্তন হতে পারে— যেমন উচ্চ কক্ষক (orbital) কৌণিক ভরবেগ সম্পন্ন স্তরগুলি (4f, 5g, 6h, 7i ইত্যাদি) অপেক্ষাকৃত নিম্ন অবস্থানে চলে আসে; এর কারণ হল এই যে কেন্দ্রকের বহিরাঞ্চলে অবস্থানকারী p-সমূহ অপেক্ষাকৃত কম কুলম্ব বিকর্ষণ অনুভব করে।

2. আমরা প্রতিটি কক্ষে কেন্দ্রকণ বিন্যাসের যে ক্রম উল্লেখ করব তা মূলতঃ একটি ছক-অনুযায়ী পরিকল্পিত; এটি কেন্দ্রকণ পূর্তির প্রকৃত ক্রম সূচনা নাও করতে পারে। সত্যি বলতে কী অনেক ক্ষেত্রেই বাইরের কক্ষে কেন্দ্রকণের সংখ্যার উপর নির্ভর করে। এই ক্রমের অল্পবিস্তর ব্যত্যয় ঘটে (ইলেকট্রন বিন্যাসের ক্ষেত্রেও অনুরূপ ব্যত্যয় লক্ষিত হয়)। তবে আমরা যে ছক পেশ করছি তা পরিকল্পিত হয়েছে মূলতঃ আয়তাকার বিভবকূপের সমীকরণের সমাধান-এর সঙ্গে সাযুজ্য রেখে— আর বড় কথা এই যে এটি মনে রাখা সুবিধাজনক।

(i) ঘূর্ণন-কক্ষক দ্বন্দ্বীভবন (যার ফলে $4f_{7/2}$, $5g_{9/2}$, $7i_{13/2}$ কক্ষগুলি নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন হয়ে নেমে যায়) দ্বারা প্রভাবিত না হলে প্রত্যেক কক্ষ একই সমতা (parity) বিশিষ্ট হয় [মনে রাখবেন : s, d, g, i.... স্তরগুলি 'যুগ্ম সমতা' (even parity) বিশিষ্ট এবং '+' চিহ্ন দিয়ে সূচিত এবং p, f, g, j.... স্তরগুলি অযুগ্ম সমতা (odd parity) বিশিষ্ট এবং '–' চিহ্ন দিয়ে সূচিত]। এ থেকে স্তর সমূহের ক্রমবিন্যাস মনে রাখা সহজ।

(ii) ঘূর্ণন আখ্যায়িতকরণ (designation) অগ্রাহ্য করলে, স্তরক্রম নির্ধারিত হয় n-এর মান ক্রমাগত বাড়িয়ে; নির্দিষ্ট n-এর সাপেক্ষে l-এর মান রাখা হয় সর্বোচ্চ;

(iii) পরবর্তীতে n-এর মান '1' করে কমতে থাকে আর l-এর মান '2' করে কমে।

তাহলে এই ছক-অনুযায়ী সর্বনিম্ন স্তর 1S এ থেকে নিম্নতর n সম্ভব নয় বলে এক্ষেত্রে আর উপস্তর সম্ভব নয়।

পরের 'n' হবে 2, l হবে '0' অর্থাৎ s এবং '1' বা p সর্বোচ্চ l-এর সাপেক্ষে 2p, n = 1 এই উপস্তর সম্ভব হলেও l-এর মান যেহেতু সেক্ষেত্রে $l = 1 - 2 = -1$ হয়, কিন্তু তা সম্ভব নয়। আর তাই নিম্নতর n-বিশিষ্ট উপস্তর হবে না। পরবর্তী উপস্তর হবে 3d (n = 3, l = 2 বা d); এই স্তরের অন্যান্য উপস্তর

2s ($n = 3 - 1 = 2$; $l = 2 - 2 = 0$)। এরকম ভাবে এগিয়ে যেতে হবে।

(iv) এভাবে উপলব্ধ প্রতিটি স্তর (s-স্তর ছাড়া) $j = l + \frac{1}{2}$ এবং $j = l - \frac{1}{2}$— এই দুই উপস্তরে বিশিষ্ট হবে।

(v) কক্ষ-সীমা নির্ধারিত হবে এভাবে ঃ $4f_{7/2}$ স্তর পর্যন্ত j-র মানের বৃদ্ধির ঠিক আগে এবং $4f_{7/2}$ স্তরের পর থেকে g-র মান বৃদ্ধির ঠিক পরে।

এবার একটা উদাহরণ নিন। $^{88}_{38}Sr_{50}$-র কেন্দ্রকশ বিন্যাস ঃ

নিউট্রন বিন্যাস ঃ $\left(1S^2_{\frac{1}{2}}\right), \left(2p^4_{\frac{3}{2}}\, 2p^2_{\frac{1}{2}}\right), \left(3d^6_{\frac{5}{2}}\, 3d^4_{\frac{3}{2}}\, 2s^2_{\frac{1}{2}}\right), \left(4f^8_{\frac{7}{2}}\right), \left(4f^6_{\frac{5}{2}}\, 3p^4_{\frac{3}{2}}\, 3p^2_{\frac{1}{2}}\, 5g^{10}_{\frac{9}{2}}\right)$

বা, $(1S^2), (2p^6), (3d^{10}\, 2s^2), \left(4f^8_{\frac{7}{2}}\right), \left(4f^6_{\frac{5}{2}}\, 3p^6\, 5g^{10}_{\frac{9}{2}}\right)$

প্রোটন বিন্যাস ঃ $\left(1S^2_{\frac{1}{2}}\right), \left(2p^4_{\frac{3}{2}}\, 2p^2_{\frac{1}{2}}\right), \left(3d^6_{\frac{5}{2}}\, 3d^4_{\frac{3}{2}}\, 2s^2_{\frac{1}{2}}\right), \left(4f^8_{\frac{7}{2}}\right), \left(4f^6_{\frac{5}{2}}\, 3p^4_{\frac{3}{2}}\right)$

বা, $(1S^2), (2p^6), (3d^{10} 2s^2), \left(4f^8_{\frac{7}{2}}\right), \left(4f^6_{\frac{5}{2}}\, 3p^4_{\frac{3}{2}}\right)$

অনুশীলনী — 1

1. $^{137}_{56}Ba$ -এর কেন্দ্রকশ বিন্যাস লিখুন।

2.4.1 কক্ষ কাঠামো রূপের প্রয়োগ

কক্ষ কাঠামো শুধু যে যাদুসংখ্যার গুরুত্ব ব্যাখ্যা করে তা-ই নয়, এ থেকে কেন্দ্রকীয় ঘূর্ণন, চৌম্বকীয় ভ্রামক প্রভৃতিও ব্যাখ্যাত হয়। এর জন্য কয়েকটি 'স্বীকার' (assumption) প্রয়োজন।

I. পারমাণবিক গঠনের ক্ষেত্রে একটি সুপরিচিত প্রতিজ্ঞা এই যে ঃ পূর্ণ কক্ষগুলি গোলকাকৃতি ও প্রতিসম ; এর কোন ঘূর্ণন বা কক্ষক কৌণিক ভরবেগ এবং চৌম্বকভ্রামক থাকবে না।

II. শুধু পূর্ণ (কেন্দ্রকশ দ্বারা) কক্ষকই নয়, যুগ্মসংখ্যক এক ধরনের কেন্দ্রকশ (n বা p) বিশিষ্ট এবং অভিন্ন J সম্পন্ন কক্ষকে কেন্দ্রকশ বিন্যাস এমন হয় যে মোট কৌণিক ভরবেগ (ঘূর্ণন) 'শূন্য' হবে।

কাজেই যুগ্মসংখ্যক কেন্দ্রকশ বিশিষ্ট কেন্দ্রকের কৌণিক ভরবেগ 'শূন্য' হবে। অযুগ্ম সংখ্যক কেন্দ্রকশ থাকলে কৌণিক ভরবেগ শেষতম নির্জোট (Unpaird) কেন্দ্রকণের দ্বারা নির্ধারিত হবে। তাহলে আমরা সিদ্ধান্ত করতে পারি ঃ

A = অযুগ্ম ঃ

(i) Z = যুগ্ম, N = যুগ্ম ; কেন্দ্রকের কৌণিক ভরবেগ $I = 0$, চৌম্বক ভ্রামক $\mu = 0$ এবং সমতা যুগ্ম (even parity).

(ii) $Z =$ যুগ্ম, $N =$ অযুগ্ম ; I শেষতম নির্জোট নিউট্রনের J দ্বারা নির্ধারিত হবে।

(iii) $Z =$ অযুগ্ম, $N =$ যুগ্ম ; I নির্ধারিত হবে শেষতম নির্জোট r দ্বারা।

$\therefore$ $^{4}_{2}He_2$, $^{16}_{8}O_{16}$-র জন্য $I = 0, \mu = 0$, যুগ্ম সমতা $^{88}_{38}Sr_{50}$, $^{192}_{76}Os_{16}$, $^{238}_{92}U_{146}$ এবং অন্যান্য যুগ্ম-যুগ্ম কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে $I = 0$.

উপযুক্ত স্বীকারগুলির উপর ভিত্তি করে এই কেন্দ্রক কাঠামো গঠিত বলে একে 'একক কণা কাঠামো' (single particle model) বলে। এর সাহায্যে আমরা যুগ্ম-যুগ্ম এবং অযুগ্ম-A কেন্দ্রকের কেন্দ্রকীয় ঘূর্ণন নির্ধারণ করতে পারি।

যুগ্ম-যুগ্ম কেন্দ্রকের কথা তো উপরে বলা হয়েছে। এবার আসুন অযুগ্ম-A কেন্দ্রকের কথা বলি। $_{1}^{3}H_2$ এবং $_{2}^{3}He_1$-এর ক্ষেত্রে $I = \frac{1}{2}$। চিত্র 2.3 থেকে দেখা যাচ্ছে উভয় ক্ষেত্রেই নির্জোট কেন্দ্রকণের শক্তি-স্তর হবে $1S_{\frac{1}{2}}$। যেহেতু উভয় ক্ষেত্রেই একজাতীয় যুগ্ম কেন্দ্রকণাগুলির (2n ও 2p) জন্য $I = 0$ উভয়ক্ষেত্রেই কৌণিক ভরবেগ নির্ধারিত হবে শেষতম নির্জোট কেন্দ্রকণের $J(= \frac{1}{2})$ দ্বারা, অর্থাৎ $I = \frac{1}{2}$। আবার, $_{3}^{7}Li_4$-এর ক্ষেত্রে তৃতীয় প্রোটন হবে $2p_{\frac{3}{2}}$ স্তরের, অতএব, $I = \frac{3}{2}$ হওয়া উচিত। পরীক্ষালব্ধ তত্ত্বও তা-ই বলে।

অনুশীলনী—2

1. $^{13}_{6}C$-র ক্ষেত্রে I বের করুন।

প্রকৃতপক্ষে তিনটি ক্ষেত্র বাদ দিলে ($^{23}_{11}Na$, $^{55}_{25}Mn$ ও $^{137}_{56}Ba$) সব অযুগ্ম A-কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে এভাবে নির্ণীত I পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে মিলে যায়।

$^{23}_{11}Na$: 12N-এর জন্য $I = 0$

$$11p \Rightarrow \left(1S^2_{1/2}\right), \left(2p^4_{3/2}, 2p^2_{1/2}\right)\left(3d^3_{5/2}\right)$$

কাজেই প্রত্যাশিত $I = \frac{5}{2}$

কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এই মান $\frac{3}{2}$।

অনুরূপে,

কেন্দ্রকক	প্রত্যাশিত I-এর জন্য	I-এর পরীক্ষালব্ধ মান
$^{55}_{25}Mn_{30}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{5}{2}$
$^{137}_{56}Ba$	$\frac{11}{2}$	$\frac{3}{2}$

উপর্যুক্ত ব্যত্যয়ের কারণ এই যে, আপনারা আগেই জেনেছেন যে চিত্র 2.3-এ প্রদর্শিত শক্তিস্তর ভেদ খানিকটা আসন্ন (approximate) মানানুযায়ী করা হয়েছে। মনে রাখার সুবিধের জন্যেও এই বিন্যাস দরকার। প্রকৃতপক্ষে কাছাকাছি থাকা শক্তিস্তরদ্বয়ের শক্তি-মান সামান্য এদিক-ওদিক হয়— বিশেষ করে কেন্দ্রকশ দিয়ে পূর্ণ হবার পরে বা সময়ে (ইলেকট্রন শক্তিস্তরের ক্ষেত্রেও অনুরূপ ঘটনা দেখা যায়। যেমন শক্তির মানে 4s < 3d, কিন্তু কক্ষক পূর্ণ হবার পর ইলেকট্রনগুলির ক্ষেত্রে 4s ইলেকট্রনই আগে নির্গত হয়)।

চৌম্বক ভ্রামক (magnetic momenl) ঃ কক্ষ কাঠামোরূপ থেকে অযুগ্ম-A কেন্দ্রকসমূহের ক্ষেত্রে চৌম্বক ভ্রামক নির্ণয় করা যায়।

এখন যেহেতু দুরকম কেন্দ্রকশ (n ও p) কেন্দ্রকে থাকে এবং তাদের উভয়ের জন্য চৌম্বক রামক উদ্ভূত হয়, আমাদের দুই ধরনের চৌম্বক ভ্রামক গণ্য করতে হবে।

আধান না থাকার দরুণ নিউট্রনের কক্ষক ভ্রামক থাকবে না। একক কশা কাঠামো 'স্বীকার' করে যে শেষতম নির্জেট কেন্দ্রকশই পুরো কেন্দ্রকের চৌম্বক ভ্রামক নির্ধারণ করে। এই তত্ত্ব অনুযায়ী দেখা গেছে যে অযুগ্ম-Z অযুগ্ম-A এবং অযুগ্ম-N— অযুগ্ম-A কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে চৌম্বক ভ্রামক μ কেন্দ্রকীয় আবর্তন (rotation) I-এর উপর নির্ভরশীল। চিত্র 2.4 ও 2.5-এ এই দুই ধরনের কেন্দ্রকের μ এবং I দেখানো হয়েছে। প্রত্যেক ধরনের কেন্দ্রকের জন্য দুটি করে লেখচিত্র পাওয়া যায়।

চিত্র ঃ 2.4 চিত্র ঃ 2.5

একটিতে $1 = J = l + \frac{1}{2}$

অপরটিতে $1 = J = l - \frac{1}{2}$

এই রেখাগুলিকে স্মিছ, (Schmidt) রেখা বলে। পরীক্ষাধীন মানগুলি এদের অন্তবর্তী হয়ে থাকে।

কেন্দ্রকসমূহের জন্য এভাবে সামান্যীকরণ (generalisation) কিন্তু সম্ভব নয়। একই কক্ষের শক্তিস্তরগুলি অনেক সময়ই চিত্র 2.3-এ প্রদর্শিত ক্রম থেকে ভিন্ন হয় (বিশেষ করে বিভিন্ন n ও l বিশিষ্ট 2 বা 3টি সন্নিহিত স্তরের ক্ষেত্রে)। এক্ষেত্রে একক কণা কাঠামো থেকে এটুকুই প্রতিপাদিত হয় যে নির্দিষ্ট কয়েকটি শক্তিস্তর কাছাকাছি অবস্থান করছে— এদের মধ্যে নিম্নতম অবস্থানের স্তরটি সম্বন্ধে সুনিশ্চিত হওয়া যাচ্ছে না। অনেক সময় এই তথ্যটিও গুরুত্বপূর্ণ হয়ে দাঁড়ায়।

অযুগ্ম-অযুগ্ম কেন্দ্রেকক সমূহের 1 :

এ ধরনের কেন্দ্রক সাধারণতঃ তেজস্ক্রিয় হয়ে থাকে (সুস্থিতগুলি হল $^{2}_{1}H$, $^{6}_{3}U$, $^{10}_{5}B$, $^{14}_{7}N$, $^{50}_{23}V$, $^{180}_{73}Ta$.)। এদের ক্ষেত্রে তাই ঘূর্ণন ও চৌম্বক ভ্রামকের নির্দিষ্ট তথ্য কমই।

একক কণা কাঠামোর যুগ্মভবন (pairing) তত্ত্বানুযায়ী প্রতিক্ষেত্রেই একটি নির্জোট প্রোটন ও একটি নির্জোট নিউট্রন থাকবে। প্রত্যেকেই নিজস্ব কেন্দ্রকীয় ভ্রামক উৎপন্ন করবে। লব্ধি ভূমিস্তর নির্ধারণের জন্য এক্ষেত্রে কোন সাধারণ নিয়ম নেই।

যা হোক নর্ডহেম (L. W. Nordheim)-এর দেওয়া নিচের নিয়মগুলি খুব কাজের ঃ

(1) যদি দু'ধরনের অযুগ্ম কেন্দ্রকণের জন্য $J_1 + J_2 + l_1 + l_2 =$ যুগ্ম সংখ্যা হয়, তবে লব্ধি ঘূর্ণন $1 = |J_1 - J_2|$ এই নিয়মের একমাত্র ব্যত্যয় $^{40}_{19}K$

(2) যদি $J_1 + J_2 + l_1 + l_2 =$ অযুগ্ম সংখ্যা হয়, তবে 1-এর মান সম্ভবতঃ বেশি হয় এবং $(J_1 + J_2)$-র সমীপবর্তী হয়।

উদাহরণ ঃ $^{50}_{23}V$-এ, 27-তম N এবং 23-তম p-উভয় ক্ষেত্রেই শক্তিস্তর $4f_{7/2}$, $J_1 + J_2 + l_1 + l_2 = \frac{7}{2} + \frac{7}{2} + 3 + 3 = 13$ (অযুগ্ম)। নর্ডহেমের নিয়মানুযায়ী 50V-এর সর্বোচ্চ সম্ভাব্য লব্ধি ঘূর্ণন $\frac{7}{2} + \frac{7}{2} = 7$, পরীক্ষালব্ধ মান 6।

নিঃসন্দেহে ভূমিস্তরে কেন্দ্রকটির যুগ্ম (+) সমতা (even parity) প্রত্যাশিত, কারণ দুটি নির্জোট কেন্দ্রকশই f-স্তরের এবং সে কারণে অযুগ্ম (odd) সমতা বিশিষ্ট।

2.5 তরল (বা প্রবাহী) ফোঁটা কাঠামো রূপ ও ভরসূত্র [liquid (or fluid) drop model and mass formula]

কেন্দ্রকের সব ধর্ম কোনও একটি মাত্র তত্ত্ব দিয়ে ব্যাখ্যা করা যায় না। আপনারা কক্ষকাঠামোরূপ জেনেছেন।

নীকস্ বোর কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া, বিশেষ করে বিভাজন (fission) কৌশল ব্যাখ্যা করার জন্য তরল-ফোঁটা কাঠামোরূপ উপস্থাপিত করেন (1935)। কেন্দ্রকের ভর, বন্ধন-শক্তি প্রভৃতিও এই তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যাত হতে পারে।

এই কাঠামোরূপে কেন্দ্রক প্রোটন ও নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত একটি তরল (প্রবাহী) ফোঁটা হিসাবে পরিকল্পিত হয়। বিশ্বাস করার যথেষ্ট কারণ আছে যে, একটি তরল-ফোঁটার মধ্যে নির্দিষ্ট একটি অণু একটি নির্দিষ্ট সংখ্যক অণুর উপরেই এর আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। অন্যভাবে বলতে গেলে একটি নির্দিষ্ট অণু প্রতিটি অণুর উপর আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে না। এ অবস্থায় আমরা বলতে পারি যে আকর্ষণ বল সম্পৃক্ততায় পৌঁছেছে। এই আকর্ষণ বল থেকে উদ্ভূত আণবিক স্থিতিশক্তি (molecular potential energy) গণনা করতে গেলে আমাদের প্রথমেই ফোঁটার পরস্পর মিথস্ক্রিয় (interacting) অণু-জোট (molecular-pair)-এর সংখ্যা ঠিক করতে হবে। যদি প্রতিটি কণা বাকী প্রত্যেকটি কণার সঙ্গে মিথক্রিয়া করে, এবং যদি ফোঁটার মধ্যে Nটি অণু-জোট থাকে তবে পরস্পর মিথস্ক্রিয় অণুজোট সংখ্যা হবে = $C_{C_2} = \frac{N(N-1)}{2} = \frac{N^2}{2}$ ($\because$ N খুব বড় সংখ্যা)। $\therefore$ অণুর (molecular) শক্তি $\propto N^2$।

অপরদিকে, যদি প্রতিটি অণু একটি নির্দিষ্ট সংখ্যক অণুর সঙ্গে মিথস্ক্রিয়া ঘটায় তবে পরস্পর মিথস্ক্রিয় অণু-জোট সংখ্যা N-এর সঙ্গে সরলভেদে পরিবর্তিত হবে এবং সে কারণেই আণবিক স্থিতি শক্তি (molecular potential energy) ও N-এর সঙ্গে সরল ভেদে পরিবর্তিত হবে। পরীক্ষা-লব্ধ গণনাও এই তথ্য সমর্থন করে। [একটি তরল-ফোঁটাকে বাষ্পীভূত করতে প্রয়োজনীয় তাপ অর্থাৎ লীনতাপ $\propto$ ফোঁটায় উপস্থিত অণুসংখ্যা ; 2 গ্রা তরলকে উদ্বায়িত করতে প্রয়োজনীয় তাপ = 2 × 1 গ্রা. তরলকে উদ্বায়িত করতে প্রয়োজনীয় তাপ]।

দেখা গেছে কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি $\propto$ কেন্দ্রকণের সংখ্যা (ভর সংখ্যা)। এ-ও দেখা গেছে বেশিরভাগ সুস্থিত কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে বন্ধন-ভগ্নাংশ (f_B, কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি | কেন্দ্রকণ) প্রায় 8.5 মি-ই ভো। এ থেকে কেন্দ্রক ও তরল ফোঁটার মধ্যে সাদৃশ্য পাওয়া যায়।

উপরের আলোচনা থেকে আমরা ধরে নিতে পারি যে কেন্দ্রকের অভ্যন্তরে কেন্দ্রকণ সমূহের মধ্যে পরস্পর মিথস্ক্রিয়াজনিত বল একটি সম্পৃক্ততা সীমায় পৌঁছেছে। এর জন্যই কেন্দ্রকস্থিত কেন্দ্রকণ একটি নির্দিষ্ট সংখ্যক কেন্দ্রকণকেই আকর্ষণ করবে।

এছাড়া কেন্দ্রক ও তরল-ফোঁটার মধ্যে নিম্নলিখিত সাদৃশ্যগুলিও বর্তমান।

(1) কেন্দ্রকের আকর্ষণ ক্ষমতা তরল ফোঁটার পৃষ্ঠটানের অনুরূপ।

(2) তরল-ফোঁটার মত নিউক্লীয় পদার্থের ঘনত্ব আয়তনের উপর নির্ভরশীল নয়। দেখা গেছে কেন্দ্রকের ব্যাসার্ধ $R \propto A^{1/3}$ (A = ভর সংখ্যা)।

$\therefore$ কেন্দ্রকের আয়তন $\propto A$, $\therefore$ কেন্দ্রকের ভর, $M \propto A$, ঘনত্ব $\frac{M}{V}$, A-নিরপেক্ষ। এ থেকে কেন্দ্রকীয় বলে সম্পৃক্ততার ধারণা পাওয়া যায়।

(3) কেন্দ্রকের বিভাজন (disintegration)-এর সময় N, P, α-কণা ইত্যাদি নির্গত হয়। তরলের উদ্বায়ন বা বাষ্পীভবনের সময় তরলপৃষ্ঠ থেকে অণুসমূহের নির্গমনের সঙ্গে এর তুলনা টানা চলে।

(4) কেন্দ্রকের অভ্যন্তরস্থ শক্তি তরল ফোঁটার মধ্যস্থিত অভ্যন্তরীন শক্তি (internal energy)-র অনুরূপ।

(5) বাইরের থেকে কেন্দ্রক কর্তৃক কণা শোষণ করে যৌগ-কেন্দ্রক (compound-nucleus) গঠিত হওয়ার ঘটনার সঙ্গে বাষ্পের ঘনীভবনের ফলে তরল উৎপন্ন হওয়ার সাদৃশ্য আছে।

2.5.1 ভরসূত্র (Mass formula)

উপরের আলোচনার ভিত্তিতে কেন্দ্রকণগুলির পারস্পরিক আকর্ষণ বিচার না করে কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি তথা কেন্দ্রকের ভর সম্বন্ধিত একটি অর্ধস্থূল (Semiempirial) ভরসূত্র বা বন্ধনশক্তির-সূত্র উপস্থাপন করে ফন্ ভাইজ্যাকার ও বেথে (C.F. Von Weizsacker and H.A. Bethe, 1935)।

আমরা জানি $^{A}_{Z}M_{A-Z}$ পরমাণুর নিউক্লীয় বন্ধন শক্তি হয় ঃ

$$E_B = ZM_p + ZM_e + (A-Z)M_n - M(A, Z)$$

$$= Z(M_p + M_e) + (A - Z\,M_n) - M(A, Z)$$

$$= ZM_H + NMn - M(A, Z) \text{ ..... (1)}$$

যেখানে : M_p = প্রোটনের ভর, M_n = নিউট্রনের ভর,

M_e = ইলেকট্রনের ভর, $M(A, Z)$ = সমঘরীয় (isotope) ভর, M_H = iH সমঘরের ভর, N = নিউট্রনের সংখ্যা।

$\therefore M(A, Z) = ZM_H + NM_n - Z_B$ ..... (II)

(I) ও (II)-এ কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি ভর এককে প্রকাশিত।

এখন বন্ধনশক্তি (E_B) নিচের রাশিগুলিকে সমন্বিত করে প্রকাশ করা যায় ঃ

(1) আমরা জানি $E_B \propto$ মোট কেন্দ্রকণ সংখ্যা, কাজেই প্রথম রাশিটি হবে a_1, A (a_1 = ধ্রুবক, A = ভর-সংখ্যা)। একে বলে আয়তন-শক্তি ঃ $E_v = a_1A$.

(2) কেন্দ্রক-পৃষ্ঠের দরুন বন্ধন-শক্তির হ্রাস ঘটে। যেহেতু কেন্দ্রককে তরল ফোঁটার সঙ্গে তুলনা করা হয়েছে, ধরা যেতে পারে যে, কেন্দ্রকের উপরপৃষ্ঠে উপস্থিত কেন্দ্রকণগুলির উপর একটা আকর্ষণ বল অনুভূত হয়। তরলফোঁটার পৃষ্ঠদেশের কণাগুলির উপর প্রযুক্ত পৃষ্ঠটান-এর সঙ্গে এর তুলনা চলে। এই কেন্দ্রকণগুলি কেবল কেন্দ্রকের ভিতর দিকে আকর্ষণ অনুভব করবে বাইরের দিকে কোনও আকর্ষণ বল নেই। ফলে কেন্দ্রক তরলফোঁটার মত গোলকাকার ধারণ করার চেষ্টা করে। যদি এই গোলকের ব্যাসার্ধ হয় R; তবে বক্রতলের ক্ষেত্রফল $\propto R^2$। এই পৃষ্ঠটান জনিত বন্ধন শক্তি হ্রাসের পরিমাণও $\propto R^2$।

$\therefore R \propto A^{1/3}$, বন্ধন-শক্তি হ্রাসের পরিমাণ $\propto A^{2/3}$ অর্থাৎ $= a_2A^{2/3}$ (a_2 = ধ্রুবক)। এই রাশিটির অভিধা 'পৃষ্ঠশক্তি' (Surface energy) : $E_s = -a_2A^{2/3}$।

(3) প্রোটনসমূহের মধ্যে 'কুলম্ব বিকর্ষণ শক্তি' (coulomb repulsion energy) বন্ধন-শক্তি হ্রাস পায় আর তাই এই প্রভাব ঋণাত্মক চিহ্ন দ্বারা প্রকাশিত হয়। যেহেতু এই বল যে কোনও দূরত্বেই অনুভূত হতে পারে, তাই প্রতিটি প্রোটন অন্য প্রতিটি প্রোটনের সঙ্গে মিথস্ক্রিয়া করে। প্রোটন জোটের সংখ্যা = $Ze_2 = \frac{Z(Z-1)}{2}$ ।

মোট কুলম্ব-শক্তি প্রকাশ হয় $\frac{3}{5}Z(Z-1))\frac{e^3}{R}$ অপেক্ষক থেকে। বন্ধন-শক্তিতে এই প্রভাব নির্দিষ্ট হয় E_c-রাশি দ্বারা।

$$E_c = -a_3\frac{3}{5}\frac{Z(Z-1)e^2}{R} - (1)$$

$$= -4a_3\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - (2)$$

যেখানে, $a_3 = \frac{3}{20}\frac{e^2}{R_0 \times 10^{13}}$ [$R = R_0 R^{1/3}\ 10^{-13}$ সেমি]

প্রকৃতপক্ষে $R = (1.2 \pm 0.1)\ 10^{-13}A^{13}$ সেমি।

(1) নং সমীকরণে R-কে $A^{1/3}$-এর সাপেক্ষে প্রকাশ করা হয়েছে। '4' উৎপাদকটি ব্যবহৃত হয় পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে প্রকৃষ্টতর সাযুজ্য স্থাপনের উদ্দেশ্যে।

(4) বন্ধন-শক্তি প্রকাশের জন্য আরেকটি রাশি প্রয়োজন। একে আমরা বলি 'প্রতিসমতা-প্রভাব' (Symmetry effect)-A-এর নির্দিষ্ট মানের জন্য Z-এর একটি নির্দিষ্ট মান থাকবে— যার সাপেক্ষে কেন্দ্রেকক সুস্থিত হবে। হাল্কা কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে কুলম্ব প্রভাব কম এবং $Z = A/2$ (অর্থাৎ $N : Z = 1$)। কুলম্ব প্রভাবের অনুপস্থিতিতে $Z = A/2$ শর্ত থেকে বিচ্যুতি ঘটে ; ফলে অসুস্থিতি দেখা দেয় এবং সম্ভবতঃ বন্ধন শক্তি কম হয়। বন্ধন শক্তির এই হ্রাস নিউট্রন ও প্রোটন সংখ্যার পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল। এই হ্রাস $\propto$ কোনও ঘাতে উন্নীত $N - Z$ বা $(A - Z - Z)$ বা $(A - 2Z)$। দ্বিতীয় ঘাতটি রাখা হয় কারণ সেক্ষেত্রে Z-এর সাপেক্ষে অন্তরকলজ (derivative) $Z = \frac{A}{2}$-র জন্য শূন্য হবে। এই শর্তে কুলম্ব প্রভাবের অনুপস্থিতি ও বন্ধন শক্তির সর্বোচ্চ মান সুচিত করে। এই 'প্রতিসমতা প্রভাব'-এর উপর বিশদ নিরীক্ষায় দেখা গেছে এটি A-র সঙ্গে ব্যস্তানুপাতিক।

$$\frac{d}{dz}a(A-2Z)^2 = a.2(A-2Z) = (-2) - 4a(A-2Z) \qquad Z = \frac{A}{2} \text{ বসালে}$$

$$\therefore \quad \frac{d}{dz} = 0$$

$\therefore$ প্রতিসমতা শক্তি (Symmetry energy) প্রকাশিত হয়— এইভাবে ঃ $E_r = -a_4\frac{(A-2Z)^2}{A}$

(5) আমরা জানি যে যুগ্মসংখ্যক p ও n থাকলে সেইসব কেন্দ্রেকক সুস্থিত এবং প্রাপ্তির প্রাচুর্যও এদের বেশি। অবশ্যই অযুগ্ম p ও অযুগ্ম n বিশিষ্ট কেন্দ্রেকক সবচেয়ে বেশি অসুস্থিত। আবার p বা n-এর একটির সংখ্যা অযুগ্ম হলে সুস্থিত মাঝামাঝি ধরনের হয়ে থাকে। একে বলা হয় 'অযুগ্ম-যুগ্ম প্রভাব'। একে E_s রাশি দ্বারা প্রকাশ করা হয়। E_s-র মান কেন্দ্রকে উপস্থিত প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যার উপর নিম্নলিখিত ভাবে নির্ভর করে ঃ

A	Z	N	E δ
যুগ্ম	যুগ্ম	যুগ্ম	$+\delta / 2A$
অযুগ্ম	যুগ্ম	অযুগ্ম	0
অযুগ্ম	অযুগ্ম	যুগ্ম	0
যুগ্ম	অযুগ্ম	অযুগ্ম	$-\delta / 2A$.

তাহলে উপরের সবগুলি রাশি সমন্বিত করে বন্ধন-শক্তির সূত্র দাঁড়াচ্ছে ঃ

$$E_B = a.A - a_2A^{2/3} - \frac{4a_3Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_4\frac{(A-2Z)^3}{A} + E_\delta \text{ .....(III)}$$

কিন্তু, $M(A, Z) = ZM_H + NM_n - E_B$

যদি শক্তির এককে পরিবর্তিত করা যায়, তবে

$$EB = \{ ZM_H + NM_B - M(A, Z) \} c^2$$

$$\therefore M(A,Z) = ZM_H + NM_n - \frac{E_B}{C^2}$$

$$= ZM_H + NM_n - \frac{a_1}{C^2}A + \frac{a_2}{C^2}A^{2/3} + \frac{4a_3}{C^2}\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} + \frac{a_4}{C^2}\frac{(A-2AZ)^2}{A} - \frac{E_\delta}{2C^2A} \text{.....(IV)}$$

তাত্ত্বিক গণনা ও পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে সাযুজ্য রাখার জন্য সামান্য সমন্বয় সাধন করে ধ্রুবকগুলির মান নির্ধারিত হয়েছে। গৃহীত মানগুলি নিম্নরূপ ঃ

$a_1 = 14.0$ মি-ই-ভো

$a_2 = 13.1$ মি-ই-ভো

$a_3 = 0.146$ মি-ই-ভো

$a_4 = 19.4$ মি-ই-ভো

$\delta = 270$ মি-ই-ভো — যখন A যুগ্ম, Z যুগ্ম

$= 0$ — যখন A অযুগ্ম, Z যুগ্ম

যখন A অযুগ্ম, Z অযুগ্ম

$= -270$ মি-ই-ভো — যখন A যুগ্ম, Z অযুগ্ম

$M_n = 1.008982$ পারমাণবিক ভর একক এবং $M_H = 1.008142$ পারমাণবিক ভর-একক বসিয়ে পাওয়া যায় ঃ

$$M(A, Z) = 0.99395A - 0.00084Z + 0.0141\,A^{2/3}$$

$$+ 0.021\frac{(A-2Z)^2}{A} + \frac{0.00063\,Z(Z-1)}{A^{1/3}} - \frac{\partial'}{A} \text{.....(V)}$$

∂' = 0.145 পা-ভ-একক যখন A যুগ্ম, Z যুগ্ম

0 অযুগ্ম A, যুগ্ম Z, অযুগ্ম A, অযুগ্ম Z

– 0.145 প-ভ-একক যুগ্ম A, অযুগ্ম Z

2.5.2 ভরসূত্রের প্রয়োগ

1. এই সমীকরণটি ব্যবহার করে অপরীক্ষিত ভরের কেন্দ্রেককের বন্ধন শক্তি গণনা করা সম্ভব হয়। এই ভর থেকে কেন্দ্রকীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে উদ্ভূত শক্তি গণনা করা সম্ভব।

2. এই সমীকরণ ব্যবহার করে কেন্দ্রকের সুস্থিতি সম্পর্কিত কিছু ধর্ম— বিশেষ করে সমভর (isobar) সমূহের β-সক্রিয়তা ও আপেক্ষিক সুস্থিতি—পর্যালোচনা করা সম্ভব।

প্রাপ্ত তথ্যাবলি থেকে দেখা যায় সমভর সমূহে খুব কৌতূহলোদ্দীপক সুস্থিতি-নিয়ম মেনে চলে :

(i) সমঘর সমূহের আধানসংখ্যার পার্থক্য '2' এককই হয় বেশি ; অল্পতর ক্ষেত্রে '1' এককও হয়ে থাকে। 60-এর বেশি সমভর জোড় জানা আছে যাদের ক্ষেত্রে $\Delta Z = 2$; কেবল দুটি জোড়ের ক্ষেত্রে $\Delta Z = 1$ [এগুলি হল $^{113}_{48}Cd$, $^{113}_{49}In$ এবং $^{123}_{51}Sb$, $^{123}_{52}Sn$] লক্ষ্যণীয় A = 113 ও 123ই জানা দুটি ক্ষেত্রে যেখানে 'অযুগ্ম A' অথচ একটির বেশি সুস্থিত কেন্দ্রেকক থাকে।

(ii) A-র যুগ্মমানের ক্ষেত্রে দুটি সুস্থিত সমভর তো হতেই পারে ক্ষেত্রবিশেষে (A = 96, 124, 130, 136) তিনটিও হতে পারে।

উপযুক্ত নিয়মগুলি অনুসারে সমভরগুলির ক্ষেত্রে পারমাণবিক সংখ্যার পার্থক্য '2' একক হয়ে থাকে যেমন $^{124}_{50}Sn$, $^{124}_{52}Te$, $^{124}_{54}Xe$ । অযুগ্ম Z বিশিষ্ট সমভরগুলি অসুস্থিত হয়ে থাকে (যেমন $^{124}_{51}Sb$, $^{124}_{53}I$)।

বন্ধন-শক্তি সূত্রটি মনে করুন ঃ A-র অযুগ্ম মানের জন্য।

$E_{B(mev)} = 14.0A - 13.1A^{2/3} - \frac{0.584Z(Z-1)}{A^{1/3}} - \frac{19.4(A-2Z)^2}{A} + E_\partial$ দেখছেন যে এখানে একমাত্র পরিবর্তনশীল বল হচ্ছে Z। Z-সমন্বিত রাশিগুলিতে Z-এর ঘাত 2 আর যুগ্ম-অযুগ্ম রাশিটি থাকে না (অর্থাৎ এর মান '0')। এখন যদি স্থির A এবং পরিবর্তনশীল Z বিশিষ্ট কেন্দ্রেককগুলির বন্ধন-শক্তিকে Z-এর সাপেক্ষে উপস্থাপিত করা হয়, তবে একটি অধিবৃত্ত পাওয়া যাবে (চিত্র 2.5, A = 73)। বন্ধন-শক্তি কোটির অভিমুখে বৃদ্ধির সঙ্গে কমে, কাজেই লেখচিত্রের অর্ধতম অংশে সুস্থিততম কেন্দ্রেককের অবস্থিতি সূচিত হয়, এদের বন্ধন-শক্তিও সবচেয়ে বেশি হয়।

সাধারণতঃ একটি সমভর থাকবে যার বন্ধন-শক্তি নিম্নতম অবস্থানে বা তার কাছাকাছি অবস্থিত সমভর শ্রেণির মধ্যে এটিই একমাত্র সুস্থিত সদস্য। সুস্থিত সমভরটির চেয়ে কম বন্ধন-শক্তি সম্পন্ন অপর সব সমভরগুলি অধিবৃত্তের দুটি বাহুর উপর অবস্থিত হবে এবং শর্তভেদে ইলেকট্রন পজিট্রন নিঃসরণ বা K-অধিগ্রহণ (K-captune)-এর মাধ্যমে সুস্থিতি প্রাপ্ত হয়। এই শর্তগুলি নিচের I, II, III সমীকরণ দ্বারা দেখানো হয়।

চিত্র : 2.5

প্রথমে ধরুন ইলেকট্রন নিঃসরণ বা β^- নিঃসরণ

${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$ প্রক্রিয়াটি।

শক্তির সমতা-সমীকরণ : $\frac{Q}{c^2} = M_n\left({}^{A}_{Z}X\right) - M_n\left({}^{A}_{Z+1}+Y\right) - m$

M_n = কেন্দ্রকীয় ভর, m = ইলেকট্রনীয় ভর

$\because M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) = M_n\left({}^{A}_{Z}X\right) + Z.m$ (M_a = পারমাণবিক ভর)

আমরা পাই, $\frac{Q}{C^2} = M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) - Z.m - Ma\left({}^{A}_{Z+1}Y\right) + (Z+1).m - m$

$$= M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) - M_a\left({}^{A}_{Z+1}Y\right)$$

$\therefore$ β^- নিঃসরণের শর্ত হল $M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) > M_a\left({}^{A}_{Z+1}Y\right)$

অর্থাৎ Q = ধনাত্মক (1)

পজিট্রন নিঃসরণ বা β^+ নিঃসরণের ক্ষেত্রে ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$

Q-এর মান হবে, $\frac{Q}{c^2} = M_n\left({}^{A}_{Z}X\right) - M_n\left({}^{A}_{Z+1}Y\right) - m$

$$= M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) - Zm - M_a\left({}^{A}_{Z-1}Y\right) + (Z-1)m - m$$

$$= M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) - M_a\left({}^{A}_{Z-1}Y\right) - 2m$$

$\therefore$ β^+ নিঃসরণের শর্ত হবে ঃ $M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) > M_a\left({}^{A}_{Z-1}Y\right) + 2m$.....(II)

[2m = 1.02 মি-ই-ভো]।

কক্ষক-অধিকার (Orbital capture)

$${}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y$$

$$\frac{Q}{c^2} = M_n\left({}^{A}_{Z}X\right) + m - M_n\left({}^{A}_{Z-1}Y\right) = M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) - Z.m + m - M_a\left({}^{A}_{Z-1}Y\right) + (Z-1)m$$

$$= M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) - M_a\left({}^{A}_{Z-1}Y\right)$$

$\therefore$ কক্ষক অধিকারের শর্ত হবে $M_a\left({}^{A}_{Z}X\right) > M_a\left({}^{A}_{Z-1}Y\right)$ .....(III)

সুস্থিত সমভরের বাঁ দিকের সমভরগুলিতে সুস্থিতিটির চেয়ে কম সংখ্যক প্রোটন থাকে ; এরা e^- নিঃসরণের মাধ্যমে পরিবর্তিত হয় ঃ ${}^{73}_{30}Zn \xrightarrow{-\beta^+} {}^{73}_{31}Ga \xrightarrow{-\beta^-} {}^{73}_{32}Ge$ (সুস্থিত)।

একেবারে তলায় সুস্থিত সমভরের ডান দিকের সমভরগুলিতে বেশি সংখ্যক প্রোটন থাকে ; এরা পজিট্রন (e^+ / β^+) নিঃসরণের মাধ্যমে সুস্থিতি অর্জন করে ঃ ${}^{73}_{34}Se \xrightarrow{-\beta^+ \text{ বা } +k} {}^{73}_{33}As \xrightarrow{k} {}^{73}_{32}Ge$ (সুস্থিতি) A-র নির্দিষ্ট যুগ্মসংখ্যক মান (অর্থাৎ যুগ্ম-যুগ্ম বা অযুগ্ম-অযুগ্ম কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে)-এর জন্য ঘূর্ণন-রাশির ধনাত্মক বা ঋণাত্মক মানের সাপেক্ষে দুটি অধিবৃত্ত পাওয়া যাবে (চিত্র 2.6)। অধিবৃত্ত দুটির মধ্যে $2 \times \frac{195}{A}$ মি-ই-ভো শক্তির ফারাক থাকবে। অযুগ্ম Z অযুগ্ম N (অর্থাৎ, অযুগ্ম Z, যুগ্ম A)— লেখটি থাকবে উপরে, এবং স্বভাবতই নিচেরটির তুলনায় অসুস্থিত হবে।

চিত্র : 2.6

এ থেকে বলা যেতে পারে যে অযুগ্ম Z-যুগ্ম A কেন্দ্রেকক থাকবে না। একমাত্র ব্যতিক্রম : $^{2}_{1}H$, $^{6}_{3}Li$, $^{10}_{5}B$, $^{14}_{7}N$ — এই লঘু কেন্দ্রককটি।

অন্যান্য ক্ষেত্রের মত এক্ষেত্রেও লঘু কেন্দ্রক সমূহকে পৃথকভাবে আলোচনা করা উচিত। তরল-ফোঁটা কাঠামো এখানে খাটবে না। যুগ্ম-যুগ্ম কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে 2-একক পারমাণবিক সংখ্যার পার্থক্য বিশিষ্ট 2টি সমভর অধিবৃত্তের নিচের দিকে অবস্থান করবে। এরাই সুস্থিত সমভর।

3. আমরা দেখালাম 2.5 ও 2.6 চিত্র দুটিতে যথাক্রমে 73 ও 64 ভর-সংখ্যার জন্য সুস্থিত সমভরের Z-এর মান কীভাবে পাওয়া যাচ্ছে। আমরা E_B-কে Z-এর সাপেক্ষে অন্তরকলন (differentiation) করে, A-কে ধ্রুবক ধরে অন্তরকলজ (derivative)-কে শূন্যের সঙ্গে সমান ধরেও এই Z-এর মান গণনা করা যায়।

আমরা জানি,

$$E_B = 14.0A - 13.1A^{2/3} - \frac{0.584Z(Z-1)}{A^{1/3}} - \frac{19.4(A-2Z)^2}{A} \pm \frac{135}{A}$$

$$= \text{ধ্রুবক} - \frac{0.584Z^2}{A^{1/3}} + \frac{0.584Z}{A^{1/3}} - \frac{19.4\left(A^2 - 4ZA + 4Z^2\right)}{A}$$

$$\left[\, 14.0 - 13.1A^{2/3} \pm \frac{135}{A} = \text{ধ্রুবক} \,\right]$$

$$\therefore \frac{dE_B}{dZ} = \frac{1.168}{A^{1/3}}Z + \frac{0.584}{A^{1/3}} + \frac{77.6}{A}.A - \frac{77.6 \times 2 \times Z}{A}$$

$$= \frac{-1.168Z}{A^{1/3}} + \frac{0.584}{A^{1/3}} + 77.6 - 155.2\frac{Z}{A}$$

$\frac{dE_B}{dZ} = 0$ বসিয়ে পাই,

$$\left(\frac{1.168}{A^{1/3}} + \frac{155.2}{A}\right)Z = 77.6 + \frac{0.584}{A^{1/3}}$$

$$\therefore Z = \frac{77.6 + 0.584/A^{1/3}}{\frac{1.168}{A^{1/3}} + \frac{155.2}{A}} = \frac{77.6 + 0.584A^{1/3}}{\frac{1}{A}\left(1.168A^{2/3} + 155.2\right)}$$

$$= \frac{77.6 + 0.584A^{2/3}}{1.168A^{2/3} + 155.2} = \frac{A}{0.015A^{2/3} + 2} \quad \text{.....(IV)}$$

সমীকরণ (IV) থেকে Z-এর অ-পূর্ণসংখ্যক (nonintegral) মান পাওয়া যেতে পারে। সেক্ষেত্রে পরের পূর্ণ সংখ্যাটিই সুস্থিততম পারমাণবিক সংখ্যা হবে। যেমন A = 64 হলে :

$$Z = \frac{64}{0.015 \times 64^{2/3} + 2} = \frac{64}{0.015 \times 4^2 + 2} = \frac{64}{2.24} = 28.57$$

$\therefore$ $_{29}Cu$ সুস্থিততম সমভর।

$$A = 73 \text{ হলে } Z = \frac{73}{0.015 \times 73^{2/3} + 2} = \frac{73}{2.262} = 32.272$$

$\therefore$ $_{33}As$ সুস্থিরতম।

কিন্তু অধিবৃত্ত (2.5) দেখাচ্ছে $_{32}Ge$ সুস্থিরতম। তাহলে এখানে পদ্ধতিটি ঠিক ঘটল না।

অনুশীলনী — 3

1. A = 109 হলে সুস্থিরতম কেন্দ্রেকক গাণিতিক পদ্ধতিতে বের করুন।

2. 2.7 চিত্রটি দেখুন। লক্ষ করেছেন যে চিত্রানুযায়ী অযুগ্ম A-র জন্য একটি মাত্র সুস্থিত সমভর হওয়া সম্ভব ? কারণ অধিবৃত্তের একটিই অবম বিন্দু আছে। কিন্তু এও দেখা যাচ্ছে যে যে অধিবৃত্তের নিচের দিকে দুটি কেন্দ্রেকক (যেমন $^{141}_{58}Ce$ ও $^{141}_{59}Pr$)-এর প্রায় সমান বন্ধন-শক্তি আছে। অবশ্য একটি বন্ধন-শক্তি সামান্য বেশি আর তাই এটি β^- সক্রিয়।

3. ভরসূত্রের 'যুগ্ম-অযুগ্ম প্রভাব' নির্দেশক রাশিটির উপর নির্ভর করে অযুগ্ম-অযুগ্ম সমভর যুগ্ম-যুগ্ম সমভরের উপরে অবস্থান করে। কাজেই এটা খুবই অপ্রত্যাশিত যে অযুগ্ম-অযুগ্ম সমভর β^- সুস্থিত হবে। তবে তত্ত্বগতভাবে একটিই সুস্থিত অযুগ্ম-অযুগ্ম সমভর থাকবে যদি অবশ্য অধিবৃত্ত দুটি চিত্র 2.8-এর মত হয়। যাহোক আপনারা তো জেনেইছেন যে কয়েকটি অযুগ্ম-অযুগ্ম ($^{14}_{7}N$-এর চেয়ে ভারী নয় এমন) কেন্দ্রক সুস্থিত।

চিত্র : 2.7

চিত্র : 2.8

4. চিত্র 2.6-এর দুটি β^- সুস্থিত যুগ্ম-যুগ্ম সমভর আছে (যেমন $^{64}_{28}Ni$ ও $^{64}_{30}Zn$)। কিন্তু যদি অধিবৃত্ত দুটি চিত্র 2.9-এর মত হয় তবে তিনটি সমভরও থাকতে পারে। আবার 2.10-এর মত ক্ষেত্রে একটা মাত্র সুস্থিত সমভর থাকবে।

5. দেখা যাচ্ছে অর্ধস্থূল ভরসূত্রটি Z ও A-র সন্ততঃ (smooth) অপেক্ষক (function) কাজেই যদি এমন ঘটে যে কোনও কেন্দ্রক প্রোটিন ও নিউট্রনের বিশেষ বিন্যাসের ফলে বিশেষ ধরনের সুস্থিতি ঘটে, তবে কিন্তু এই সমীকরণের থেকে প্রাপ্ত ফলে সঙ্গে তা সঙ্গতিপূর্ণ হবে না। একাধিক ক্ষেত্রে এরকম ঘটেও থাকে যেমন— কক্ষক সম্পূর্ণ হলে (কক্ষকাঠামোরূপ দেখুন)। সেক্ষেত্রে বলা যাবে যে বন্ধন-শক্তির পরীক্ষালব্ধ ও গণনা-লব্ধ মানের মধ্যে পার্থক্য কক্ষক-পূর্তির জন্য উপলব্ধ অতিরিক্ত সুস্থিতির পরিমাপ হবে।

চিত্র : 2.9

চিত্র : 2.10

2.6 ফার্মিরগ্যাস কাঠামোরূপ (The Fermi Gas Model)

ফার্মি যে কাঠামোরূপ উপস্থাপিত করেন তা হল একটি সংখ্যায়ন (statistical) কাঠামোরূপ। এতে কেন্দ্রকণগুলির স্বাধীন গতিকে অগ্রাহ্য করে কেন্দ্রকটিকে সম্পূর্ণ পৃথক একক হিসাবে গণনা করা হয়। এখানে কক্ষকাঠামোরূপের বিভব-কূপের ধারণাটা নেওয়া হয়েছে। ধরা হয় নিচের থেকে শুরু করে পরপর স্তরগুলি সম্পূর্ণ ভর্তি— কোন ফাঁকা স্থান থাকে না, আর কেন্দ্রকটি থাকে, একেবারে নিম্নতম সম্ভাব্য স্তরে-ঠিক যেমনটি OK-তে গ্যাস অণুগুলির ক্ষেত্রে ঘটে। উত্তেজিত হলে কিছু সংখ্যক কেন্দ্রকণ উপরের ফাঁকা ফার্মি স্তরে উন্নীত হয় (চিত্র 2.11)। যেহেতু উত্তেজিত করন শক্তির সঙ্গে সম্ভাব্য অবস্থার (states) সংখ্যা দ্রুত পরিবর্তিত হয়, নির্দিষ্ট ঘূর্ণন (spin) ও সমতা (parity) স্তরের বিকল্প বিন্যাসের মধ্যে বহুল পরিমাণে মিশ্রণ ঘটে। 10 মি-ই-ভো উত্তেজনায় 10^6-এর মত সম্ভাব্য স্তর হতে পারে। এই উত্তেজিত স্তরগুলি কেন্দ্রকীয় ও বিঘটন বিক্রিয়ায় গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। স্বল্প ব্যবধানে এত বেশি সংখ্যক সংশ্লিষ্ট স্তর এই মিশ্রিতভবনে অংশগ্রহণ করার ফলে এদের সমষ্টিগত বিশ্লেষণ কেবল মাত্র সংখ্যায়নের মাধ্যমেই সম্ভব। ঠিক এমনটিই ঘটে গ্যাসীয় অণুর গতির ক্ষেত্রে। এই

চিত্র : 2.11

জন্য এই কাঠামোরূপের এরূপ নামকরণ হয়েছে। ε ও $\varepsilon + d\varepsilon$ শক্তির পার্থক্যে সম্ভাব্য স্তরসংখ্যাকে স্তর ঘনত্ব level density) $\rho(\varepsilon)$ বলা হয়।

$$\rho(\varepsilon) = C \exp [2(\alpha\varepsilon)^{1/2}]$$

C ও α ধ্রুবক এবং A (ভরসংখ্যা)-র উপর নির্ভরশীল। এই তত্ত্ব থেকে কেন্দ্রেকীয় তাপমাত্রার ধারণা আসে। কেন্দ্রকীয় তাপমাত্রা T পাওয়া যায় এভাবে ঃ

$$\varepsilon = k^2\alpha T^2 \text{ (k = বোলৎজম্যান ধ্রুবক)}$$

অনুশীলনী — 4

1. ফার্মি স্তরের 25 মি-ই-ভো উপরে অ্যালুমিনিয়ামকে উত্তেজিত করলে সঞ্জাত স্তর ঘনত্ব ও কেন্দ্রকীয় তাপমাত্রা বের করুন। ($A = 27$, $C = 0.5$ মি-ই-ভো$^{-1}$, $\alpha = 0.45$ মি-ই-ভো$^{-1}$)

2.7 সমন্বিত কাঠামোরূপ (The Collective Model)

আপনারা এতক্ষণ পর্যন্ত যে সব কেন্দ্রকীয় কাঠামোরূপ জানলেন তাদের প্রত্যেকের পক্ষে যথেষ্ট যুক্তি আছে এবং তাদের সার্থক প্রয়োগও দেখা যায়। তবে এটাও ঠিক যে কোনও একটি কাঠামোরূপ দিয়ে কেন্দ্রকের সব ধর্ম ও আচরণ ব্যাখ্যা করা যায় না। কক্ষক কাঠামোরূপ [যেখানে অনেক কেন্দ্রকীয় ধর্ম পূর্ণ কেন্দ্রের বাইরে অবস্থিত একক কেন্দ্রকণ (সমূহ)-এর উপর নির্ভরশীল] এবং তরল-ফোঁটা কাঠামোরূপ [যেখানে কেন্দ্রকণ সমূহের ব্যষ্টিগত ধর্ম অগ্রাহ্য করা হয়]-এর মধ্যে অনেক বৈপরীত্য দেখা যায়। এই দ্বৈততা (duatism) দূর করবার অনেক প্রচেষ্টাই হয়েছে। এই প্রচেষ্টার ফলশ্রুতি কক্ষ কাঠামোরূপ ও তরল ফোঁটা কাঠামোরূপের প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলিকে একত্রিত করে উপস্থাপিত সমন্বিত কাঠামোরূপ। আগে বোর (Aage Bohr) ও বি-আর মটল্-সন (BR Mottel son, 1951—53) এটির পরিকল্পনা করেন। এতে কেন্দ্রকের চলন (movement) নির্জোট কেন্দ্রকণের চলনের মত সম্পূর্ণত ধরা হয়। তাই এটি সমগ্রত যেমন তরল ফোঁটার বৈশিষ্ট্য অক্ষুণ্ণ রাখে, তেমনি পূর্ণ কক্ষকের বাইরে অবস্থিত কেন্দ্রকণসমূহের কোয়ান্টাম সংখ্যার ধারণাও বজায় রাখে।

2.8 সারাংশ

আসুন দেখি, এই এককটি থেকে আমরা কী শিখলাম, কী জানলাম।

জানলাম, বিভিন্ন সময়ে কেন্দ্রকে কেন্দ্রকণ সমূহ কীভাবে বিন্যস্ত থাকে। কেন্দ্রকের বিভিন্ন ধর্মের নিরিখে এই কাঠামোরূপগুলি পরিকল্পিত হয়েছে। সবশুদ্ধ পাঁচটি কাঠামো আছে ঃ

(1) প্রোটন-ইলেকট্রন কাঠামোরূপ— এটি নিউট্রন আবিষ্কারের পূর্ববর্তী উপস্থাপন।

(2) প্রোটন-নিউট্রন কাঠামোরূপ—এটি নিউট্রন আবিষ্কারের পরে পরিকল্পিত হয় এবং প্রথমটির দুর্বলতা দূর করতে সক্ষম হয়।

(3) কক্ষ কাঠামোরূপ— এটি যাদুসংখ্যাসমূহ ব্যাখ্যা করতে ইলেকট্রন বিন্যাসের অনুসরণে পরিকল্পিত হয়। এর সাহায্যে যাদুসংখ্যার গুরুত্ব ব্যাখ্যাত হয়, কেন্দ্রকীয় ঘূর্ণন গণনা করা যায়, চৌম্বক ভ্রামক ব্যাখ্যা করা যায়।

(4) তরল (বা প্রবাহী)— ফোঁটা কাঠামোরূপ পরিকল্পিত হয়েছে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া (বিশেষ করে কেন্দ্রকীয় বিভাজন), কেন্দ্রকের ভর, বন্ধন-শক্তি প্রভৃতি ব্যাখ্যা করার জন্য। ভাই জ্যাস্কার ও বেথে কেন্দ্রককে তরল- ফোঁটা ধরে নিয়ে একটি অর্ধস্থূল ভরসূত্র উপস্থাপিত করেন। এর সাহায্যে সমভরসমূহের মধ্যে সর্বাধিক সুস্থিতটি চিহ্নিত করা সম্ভব।

(5) ফার্মির গ্যাসকাঠামোরূপে কেন্দ্রকণগুলির স্বাধীন গতিকে অগ্রাহ্য করে কেন্দ্রকটিকে সম্পূর্ণ পৃথক একক রূপে গণনা করা হয়। এখানে কেন্দ্রক সমূহকে গ্যাস অণুর মত ব্যবহার করে গতিতত্ত্বের অনুরূপ ধারণা দেওয়া হয়।

(6) সমস্ত আচরণ ও ধর্ম একটি মাত্র কেন্দ্রকীয় তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করার জন্য আগে বোর ও বি-আর-মট্‌ল্‌সন একটি সমন্বিত তত্ত্ব দিয়েছেন।

2.9 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. কেন্দ্রকণ বিন্যাস দেখান ঃ $^{233}_{92}U$, $^{238}_{92}U$.
2. 2, 8, 20, 50, 82, 126 শ্রেণির পরবর্তী যাদু সংখ্যাটি কত হবে বের করুন।
3. $^{51}_{23}V$ -এর ক্ষেত্রে ঘূর্ণন ভরবেগ নির্ণয় করুন।
4. $^{137}_{56}Ba$ -এর ক্ষেত্রে J-এর মান নির্ণয় করুন। মানটি কী পরীক্ষালব্ধ মানের সঙ্গে অভিন্ন ? আপনার উত্তর ব্যাখ্যা করে লিখুন।
5. কেন্দ্রকীয় ঘূর্ণন ও চৌম্বক ভ্রামক নির্ণয়ের ক্ষেত্রে কক্ষ কাঠামোরূপ-এর প্রয়োগ দেখান।
6. $^{137}_{56}Ba$ -এর I-এর মান বের করুন। এক্ষেত্রে প্রত্যাশিত মান ও পরীক্ষালব্ধ মানের অভিন্নতা লক্ষিত হয় কী ? ব্যত্যয় হলে তার কারণ নির্দেশ করুন।
7. স্মিড্ রেখা কী ? এর গুরুত্ব সম্বন্ধে আলোচনা করুন।
8. নর্ডহেমের নিয়ম কোন ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। নিয়মগুলি কী ? উদাহরণ সহ আলোচনা করুন।
9. কেন্দ্রককে তরল কণার সঙ্গে তুলনা করা চলে কেন ?
10. ভরসূত্র কীভাবে পরিকল্পিত হয়েছে, আলোচনা করুন।

11. ভরসূত্রের তিনটি প্রয়োগ দেখান।

12. অর্ধস্থূল ভর সমীকরণ প্রয়োগ করে A = 180 সমভর শ্রেণির সুস্থিততম কেন্দ্রেকক নির্দেশ করুন।

2.10 উত্তরমালা

অনুশীলনী— 1

1. $N = 81\ (1S^2_{1/2}),\ (2p^4_{3/2}\ 2p^{1/2}_{1/2}),\ (3d^6_{5/2}\ 3d^4_{3/2}\ 2s^2_{1/2}),\ (4d^8_{7/2})(4d^6_{5/2}\ 3p^4_{3/2}\ 3p^2_{1/2}\ 5g^{10}_{9/2})$

$(5g^8_{7/2}\ 4d^6_{5/2}\ 4d^4_{3/2}\ 3s^2_{1/2}\ 6h^{11}_{11/2})$

বা

$(1S^2),\ (2p^6),(3d^{10}2s^2),\ (4b^8_{7/2}),(4f^6_{5/2}\ 3p^6\ 5g^{10}_{9/2}),\ (5g^8_{7/2}\ 4d^{10}\ 3s^2\ 6h^{11}_{11/2})$

p = 56. নিজে করুন।

অনুশীলনী—2

1. $7N \Rightarrow (1S^2_{1/2}),\ (2p^4_{3/2},\ 2p^1_{1/2})$

$\therefore\ 1 = \frac{1}{2}$

অনুশীলনী—3

1. 2.5.2 অংশ দেখে নিজে করুন। উত্তর হবে $^{109}_{47}Ag$.

অনুশীলনী—4

1. $\rho = 0.5 \exp\ [\ 2(0.45 \times 25)^{1/2}\ ] = 0.5\ \exp\ (6.7082)$

$= 0.5 \times 819.0982 = 409.6$ মি-ই-ভো$^{-1}$

$T = \frac{1}{k}\sqrt{\frac{\varepsilon}{\alpha}} = 7.45$ মি-ই-ভো

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. নিজে চেষ্টা করুন।
2. 184.
3. নিজে চেষ্টা করুন। উত্তর হবে $\frac{7}{2}$
4. পাঠ্যাংশের 2.3.1 বিষয়টি দেখুন।
5. পাঠ্যাংশের 2.3.1 অংশ দেখুন।
6. 2.3.1 পাঠ্যাংশ দেখুন।
7. 2.3.1 অংশ দেখুন।
8. 2.3.1 অংশ দেখুন।
9. 2.5 অংশ দেখুন।
10. 2.5.1 অংশ দেখুন।
11. 2.5.2 অংশ দেখুন।
12. 2.5.2 অংশ দেখুন (ε3) ঃ উত্তর হবে $^{180}_{82}Hf$.

একক 3 ❑ তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity)

গঠন

3.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

3.2 তেজস্ক্রিয়তার আবিষ্কার

3.3 সংজ্ঞা নির্দেশ

3.4 তেজস্ক্রিয় বিকিরণ

3.5 তেজস্ক্রিয় বিঘটনের তত্ত্ব

3.6 গড় আয়ুষ্কাল

3.7 অর্ধায়ুষ্কাল

3.8 তেজস্ক্রিয়তা কেন্দ্রকীয় ধর্ম ঃ প্রমাণ

3.9 অ্যাভোগেড্রো সংজ্ঞা নির্ণয়

3.10 তেজস্ক্রিয় সাম্য

3.11 তেজস্ক্রিয়তার একক

3.12 শ্রেণিসরন সূত্র

3.13 তেজস্ক্রিয় শ্রেণিসমূহ

3.14 তেজস্ক্রিয় প্রবহণ ও তেজস্ক্রিয় মৌলসমূহের পৃথকীকরণ

3.15 তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপন

3.16 ভূ-তাত্ত্বিক কালমিতি

3.16.1 আকরিক তথা পৃথিবীর বয়স

3.16.2 তেজস্ক্রিয়-কার্বন কালমাপন

3.17 সারাংশ

3.18 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

3.19 উত্তরমালা

3.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ তেজস্ক্রিয়তা ও তেজস্ক্রিয় মৌলের আবিষ্কার রসায়ন ও পদার্থ বিদ্যার ক্ষেত্রে একটি অসীম গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা। প্রায় আকস্মিকভাবে আবিষ্কৃত এই ঘটনা পরমাণুর কেন্দ্রকের গঠন ও স্থায়িত্ব সম্বন্ধে নতুনতর ধারণার জন্ম দিল। এর স্বরূপ পরিষ্কার হওয়ার পর একে রসায়ন ও পদার্থবিদ্যার নানা শাখায় প্রয়োগ করা হয়েছে। চিকিৎসা বিজ্ঞান, জীববিজ্ঞান, কৃষিবিজ্ঞান, প্রত্নবিদ্যা, ভূবিদ্যা প্রভৃতি বিভিন্ন শাখায় ব্যাপকভাবে তেজস্ক্রিয়তা ও তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ব্যবহারই শুধু যে হচ্ছে তা নয়, বরং এর প্রয়োগ ও ব্যবহার ক্রমেই বেড়ে চলেছে। আমরা প্রথমে স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তা নিয়ে আলোচনা করব। এ থেকেই বুঝতে পারবেন যে আরেক রকম তেজস্ক্রিয়তা (কৃত্রিম) আছে। এর বিষয়ে পরে জানতে পারবেন।

উদ্দেশ্য ঃ এই এককটি পাঠ ও আলোচনা করে আপনারা নিচের বিষয়গুলি সম্বন্ধে সম্যক্ অবহিত হবেন ঃ

- তেজস্ক্রিয়তার আবিষ্কার।
- তেজস্ক্রিয় রশ্মির স্বরূপ।
- তেজস্ক্রিয় মৌলের কিছু ভৌত ধর্ম।
- তেজস্ক্রিয়তা ঘটনাটির কিছু বিশেষ ধর্ম।
- তেজস্ক্রিয়তার কিছু প্রয়োগ।

3.2 তেজস্ক্রিয়তার আবিষ্কার

আগেই বলা হয়েছে যে তেজস্ক্রিয়তার আবিষ্কার প্রায় আকস্মিক। 1896 সালে অঁরি বেকারেল (Henri Becquerel) ইউরেনিয়ামের যৌগের উপর বিভিন্ন ধরনের রশ্মির প্রভাব নিয়ে গবেষণা করতে করতে একদিন কালো কাগজে ঢাকা পটাসিয়াম ইউরেনিল সালফেট $[K_2SO_4, UO_2(SO_4), 2H_2O]$-এর উপরে ফোটোগ্রাফির প্লেট রাখেন। ঐ প্লেট 'ডেভেলপ' করে ইউরেনিল লবণের প্রতিকৃতি দেখা গেল। এ থেকে জানা গেল যে ইউরেনিল সালফেটের থেকে এক ধরনের অদৃশ্য রশ্মি বের হয় যা নাকি কালো কাগজের মধ্য দিয়ে চলে যায় এবং ফোটোগ্রাফির প্লেটকে আক্রমণ করে। পরে দেখা গেল ইউরেনিয়ামের অন্য লবণ / যৌগ বা ইউরেনিয়াম ধাতু এবং অন্য আরও কিছু মৌল ও মৌলের লবণ একই ধরনের ধর্ম দেখায়। একেই বলা হয় তেজস্ক্রিয়তা (radiocactivity)। এর জন্য 1903 সালে বেকারেলকে পদার্থবিদ্যার নোবেল পুরস্কার দেওয়া হয়। সহ-প্রাপক ছিল পিয়ের ক্যুরী ও মাদাম মারিয়া স্ক্লোদোভ্স্কা ক্যুরী।

3.3 সংজ্ঞা-নির্দেশ (definition)

কোনও মৌল বা তার যৌগ কর্তৃক (মৌলের কেন্দ্রকের বিভাজনের ফলে) স্বতঃস্ফূর্তভাবে অবিরাম অদৃশ্য বিশেষ ধর্মসম্পন্ন রশ্মির নির্গত হওয়ার ঘটনাকে তেজস্ক্রিয়তা (radioactivity) বলা হয়। যে মৌল এই ধরনের

ধর্ম দেখায় তাদের বলা হয় তেজস্ক্রিয় মৌল (radioactive elements)। প্রাকৃতিক মৌল কর্তৃক প্রদর্শিত এই ধর্ম হল স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তা (natural radioactivity)।

আগেই বলা হয়েছে বেকারেল ইউরেনিয়ামে এই ধর্ম আবিষ্কার করেন। তাই ইউরেনিয়াম প্রথম আবিষ্কৃত প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় মৌল। পরবর্তীকালে ক্যুরী দম্পতি পোলোনিয়াম নামক প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় মৌল আবিষ্কার করেন (পোলোনিয়াম নামটি মাদাম ক্যুরীর মাতৃভূমি পোল্যান্ডের সম্মানে দেওয়া)। 1898-এ তাঁরা অপর একটি প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় মৌল রেডিয়াম আবিষ্কার করেন। আরও পরে আবিষ্কৃত থোরিয়াম্ (G.C. Schmidt) এবং অ্যাক্টিনিয়াম (Debierne ও Giesel)-ও প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় মৌল। বর্তমানে চল্লিশাধিক এ ধরনের মৌল আবিষ্কৃত হয়েছে।

3.3 তেজস্ক্রিয় বিকিরণ (radioactive radiations)

1899 সালে তেজস্ক্রিয় বিকীরণের প্রকৃতি বিশ্লেষণের পরীক্ষায় রাদারফোর্ড দেখলেন যে এই বিকীরণে দুই ধরনের রশ্মি বা কণা-স্রোত থাকে। রাদারফোর্ড রশ্মিকে শক্তিশালী তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত করলেন। রশ্মি দুটি বিপরীত দিকে দুটি অংশে বিভক্ত হয়ে গেল। তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক এবং রশ্মির বিক্ষেপনের দিক থেকে বোঝা গেল খুব বেশি পরিমাণে বিক্ষেপিত হয় তা ঋণাত্মক আধানযুক্ত। একে বলা হল β (বিটা)-রশ্মি। এর বিপরীত দিকে অপেক্ষাকৃত কম বিক্ষেপিত (অতএব স্বভাবতই ধনাত্মক আধান যুক্ত) অংশকে বলা হল α (আলফা) রশ্মি। কিন্তু পিয়ের ক্যুরী বললেন যে তৃতীয় আরেকটি নিস্তড়িৎ এবং তাই অবিক্ষেপিত অংশও থাকে। যাকে বলা হল γ (গামা)-রশ্মি। 1900 সালে ভিলার্ড (villard) পিয়েরের পরীক্ষা সত্যতা প্রতিষ্ঠিত করেন। (চিত্র 3.1)।

চিত্র : 3.1

সারণি 3.1-এ রশ্মিত্রয়ের তুলনামূলক ধর্ম সংক্ষেপে বলা হল। এদের বিস্তৃত আলোচনা পরের তিনটি এককে থাকবে।

সারণি 3.1

ধর্ম	α রশ্মি $\left({}^{4}_{2}He\right)$	β-রশ্মি $\left({}^{0}_{-1}e,\ {}^{0}_{-1}\beta,\ \beta^{-}\right)$	γ-রশ্মি $\left({}^{0}_{0}\gamma\right)$
আধান	ধনাত্মক (+2e)	ঋণাত্মক (–e)	প্রশম
ভর	H-পরমাণুর ভরের 4 গুণ (4.0015 পাঃ ভর একক)	H-পরমাণুর প্রায় 2000 ভাগের একভাগ	শূন্য
গতিবেগ	$\left(\frac{1}{10}-\frac{1}{20}\right.$ আলোর গতিবেগ)	$\left(\frac{3}{10}-\frac{9}{10}\right)$ আলোর গতিবেগ	আলোর গতিবেগ
ভেদন ক্ষমতা	0.01 মিমি পুরু অ্যালুমিনিয়াম পাত দিয়ে আটকানো যায়	α–র দশগুণ	β-র 100 গুণ
গতিশক্তি	খুব বেশি	বেশি	কম
আয়নন ক্ষমতা	খুব বেশি	α-র $\frac{1}{10}$ অংশ	β-র $\frac{1}{10}$ অংশ
ফোটোগ্রাফিক ফিল্মের উপর প্রভাব	কম	বেশি	কম
জৈব পরিবেশে প্রভাব	বিপজ্জনক	খুবই বিপজ্জনক	অতিমাত্রায় বিপজ্জনক

3.5 তেজস্ক্রিয় বিঘটনের তত্ত্ব (Theory of Radioactive disintegration)

আপনাদের মনে একটা প্রশ্ন জাগা স্বাভাবিক যে তেজস্ক্রিয় মৌল যেহেতু কেন্দ্রকের ভাঙনের ফলে রশ্মি বিকীরণ করে অর্থাৎ মৌলগুলি নিজেই ভঙ্গুর, তবে তেজস্ক্রিয় মৌল প্রকৃতিতে থাকবে কেন?

আরেকটা প্রশ্নও আপনাদের মনে আসছে— সেটা হল এই যে, আমরা যে বলি পৃথিবীতে মাত্র কয়েক গ্রাম রেডিয়াম বা মাত্র কয়েক গ্রাম থোরিয়ামের সঞ্চয় আছে, তার অর্থ কী? তেজস্ক্রিয় বিঘটনের তত্ত্ব আপনাদের এ প্রশ্নগুলির উত্তর জোগাবে।

ক্রুক্স (Crookes, 1900) এবং বেকারেল (1901) দেখেন যে ইউরেনিয়াম লবণের দ্রবণে অ্যামোনিয়াম হাইড্রোক্সাইড যোগ করলে অ্যামোনিয়াম ডাইইউরেনেট $(NH_4)_2U_2O_7)$ অধঃক্ষিপ্ত হয়। এটি আবার অতিরিক্ত অ্যামোনিয়াম কার্বোনেট দ্রবণে অ্যামোনিয়াম ডাইইউর‍্যানিল কার্বোনেট $(NH_4)_4\ [UO_2(CO_3)_3]$ উৎপন্ন হয় এবং বেশির ভাগটাই দ্রবীভূত হয়ে যায় এবং সামান্য অধঃক্ষেপ পড়ে থাকে। এও দেখা গেল যে প্রায় সমস্ত তেজস্ক্রিয়তাই অধঃক্ষেপে থেকে যায়, অথচ দ্রবণেই তো ইউরেনিয়াম থাকছে। এরপরে সময়ের সঙ্গে ধীরে ধীরে দ্রবণ তেজস্ক্রিয়তা হারাতে থাকে। মোট তেজস্ক্রিয়তা সব সময় অক্ষুণ্ণ থাকে। এ থেকে সিদ্ধান্ত নেওয়া হয় যে U-এর তেজস্ক্রিয়তা মূলতঃ ঐ মৌলের জন্য নয়, এর মূলে আছে অন্য কোন মৌল U_x (Th)-এটি U-থেকে উৎপন্ন হয়, আর U-থেকে একে পৃথক করাও যায়।

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{-\alpha} {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{-\beta} {}^{234}_{91}Po \xrightarrow{-\beta} {}^{234}_{92}U$$

($t_{1/2} = 4.6 \times 10^9$ বছর) (U_{x_1}) (24.1 দিন) (U_{x_2}) (1.14 দিন) (2.7×10^5 বছর)

চিত্র : 3.2

Th-এর বিঘটন অগ্রাহ্য করলে বলা যায়, U ক্রমাগত U_x তৈরি করে চলেছে, যা আর Un উৎপন্ন করার সঙ্গে তেজস্ক্রিয়তা হারাচ্ছে।

রাদার ফোর্ড ও সডি (Soddy) ঠিক এমন একটি নিরীক্ষা করেন Th নিয়ে (1902)। NH_4OH দিয়ে হাইড্রোক্সাইড [$Th(OH)_4$] রূপে Th-কে অধঃক্ষেপ ফেলে দেখা গেল যে তেজস্ক্রিয়তা রয়ে গেল দ্রবণে, আর অধঃক্ষেপ প্রায় অতেজস্ক্রিয়।

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow{-\alpha} \text{Ms Th I} \xrightarrow{-\beta} \text{MsTh II} \xrightarrow{-\beta} \text{রেডিও Th}$$

$^{228}_{88}Ra$ $^{228}_{89}Ac$ $^{228}_{90}Th$

(1.4×10^{10} বছর) মেসোথোরিয়াম I

(6.7 বছর) (6.13 ঘ.) (1.9 বছর)

সময়ের সঙ্গে আবার দ্রবণের তেজস্ক্রিয়তা কমে, অধঃক্ষেপের বাড়ে। এটি আরেকটি পরিষ্কার ঘটনা যেখানে Th থেকে বেশি তেজস্ক্রিয় পদার্থ উৎপন্ন হচ্ছে।

এই ধরনের ঘটনা ব্যাখ্যা করার উদ্দেশ্যে রাদারফোর্ড এবং সডি তেজস্ক্রিয় বিঘটনের তত্ত্ব উপস্থাপিত করেন। এই তত্ত্বানুযায়ী একটি তেজস্ক্রিয় মৌল α-বা β-কণা বিকিরণ করে স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিঘটিত হয়। উৎপন্ন পদার্থ তেজস্ক্রিয় হলে অনুরূপভাবে আবার বিঘটিত হয়। কাজেই তেজস্ক্রিয়তা হল এমন একটি ঘটনা যেখানে কোনও মৌল স্বতঃস্ফূর্ত বিঘটনের মাধ্যমে ভেঙ্গে যায় এবং α বা β-রশ্মি বিকীরণ করে নতুন মৌলের জন্ম দেয়। তেজস্ক্রিয়তা একটি কেন্দ্রকীয় ধর্ম এবং রাসায়নিক সংযোগ ও অন্যান্য ভৌত প্রভাব (যেমন তাপমাত্রা চাপ ইত্যাদি)-এর উপর নির্ভরশীল নয়। (পরে জানা যায় তেজস্ক্রিয়তা বাইরের প্রভাবে খুব অল্প পরিমাণে প্রভাবিত হয়।) পড়ে একক সময়ে পরমাণু সমূহের একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ বিঘটিত হয়। বিঘটনের হার এক্স্পোনেনসিয়াল (exponential) বা সূচকীয় নিয়ম মেনে চলে।

নিয়মটি হচ্ছে ঃ কোনও সময়কালে কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের বিঘটনের হার ঐ সময়কালে তার তেজস্ক্রিয়ার (বা সংখ্যার) সমানুপাতিক (একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া)। যদি t সময়কালে তেজস্ক্রিয়তা I হয় তবে,

$$-\frac{DI}{dt} \propto I \quad \text{অর্থাৎ} \quad -\frac{dI}{dt} = \lambda I \quad (\lambda \neq 0 \text{ একটি ধ্রুবক ;})$$

λ-কে তেজস্ক্রিয় বা বিভাজন (decay) ধ্রুবক বা বিঘটন ধ্রুবক বলা হয়। এটি তেজস্ক্রিয় মৌলের নিজস্ব ধর্ম।

$\therefore -dI = \lambda t\, dt.$

$t = 0$ (যখন $I = I_0$)-এর t (যখন তেজস্ক্রিয়তা I)-এর মধ্যে সমাকলন করে পাই,

$$\ln = \frac{I}{I_0} = -\lambda t, \quad \therefore I = I_0 e^{-\lambda t} \text{.....(I)}$$

অনুরূপে, $\frac{-dn}{dt} \propto n$ এবং $n = n_0 e^{-\lambda t}$ ..... (II) [n = t সময়কালে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা এবং n_0 = প্রারম্ভিক মুহূর্তে পরমাণুর সংখ্যা]

(I) বা (II) নং সমীকরণ থেকে পাই কোনও তেজস্ক্রিয় পদার্থ অন্তর্হিত হবে অর্থাৎ (I বা, $n = 0$ হবে) যদি $t = \infty$ হয়।

$$[\, I = \frac{I_0}{e^{\lambda t}}, \quad \therefore t = \infty \text{ হলে } I = 0 \text{ হবে }]$$

3.6 গড় আয়ুষ্কাল (Average life Period)

তেজস্ক্রিয় পদার্থের বিঘটনের ক্ষেত্রে সূচকীয় নিয়ম অনুসৃত হয়। প্রত্যেক মুহূর্তেই কোন নির্দিষ্ট পরমাণুর বিঘটনের একটি নির্দিষ্ট সম্ভাব্যতা থাকে এবং তা উপস্থিত পরমাণু সংখ্যার সমানুপাতিক। বিঘটনের পূর্বে একটি তেজস্ক্রিয় পরমাণুর জীবৎকাল অর্থাৎ তার আয়ুকাল '0' থেকে '∞'-র মধ্যে যা কিছু হতে পারে। এইভাবেই তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্রমান্বিত বিঘটন ব্যাখ্যা করা যায়, নতুবা সব পমাণুতো একই সঙ্গে বিঘটিত হত। তেজস্ক্রিয় মৌলের সমাবেশে তেজস্ক্রিয়তা বিকীরণের আয়ুষ্কালের গড়কে ঐ পদার্থের (মৌলের) গড় আয়ুষ্কাল বলে। তেজস্ক্রিয় পদার্থের সুস্থিতির পরিমাপ এই গড় আয়ুষ্কাল। এটি নিম্নলিখিত উপায়ে গণনা করা যায় ঃ

মনে করা যাক t_1 ও $t_1 + dt_1$ সময়ের ব্যবধানে dn_1 সংখ্যক পরমাণু [বা কণা] বিঘটিত বা বিভাজিত হচ্ছে।

$\therefore dt_1$ খুবই ছোট রাশি, আমরা ভাবতে পারি যে dn_1 সংখ্যক কণার আয়ুষ্কাল t_1, অনুরূপে dn_2 সংখ্যক কণার আয়ুষ্কাল t_2 ইত্যাদি।

$$\therefore \text{ গড় আয়ুষ্কাল } \tau \text{ (টাউ)} = \frac{t_1(-dn_1) + t_2(-dn_2) + t_3(-dn_3) + \ldots}{n_0}$$

$$= \int_0^\infty \frac{t(-dn)}{n_0} = \int_0^\infty \frac{t\lambda n dt}{n_0} \quad \left[\because \frac{-dn}{dt} = \lambda n\right]$$

$$= \int_0^\infty \frac{t\lambda n_0 e^{-\lambda t} dt}{n_0} \quad \left[\because n = n_0 e^{-\lambda t}\right]$$

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

[আংশিক সমাকলন পদ্ধতি ব্যবহার করে]।

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

$$= 0 + \int_0^\infty e^{-\lambda t} dt = \left[\frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda} \right]_0^\infty = \frac{1}{\lambda}$$

তবে এটাও স্মর্তব্য যে বিভাজনের মোট সময়কাল 0 থেকে ∞ পর্যন্ত বিস্তৃত বলে গড় আয়ুষ্কালের প্রায়োগিক গুরুত্ব বেশি নয়।

3.7 অর্ধায়ুষ্কাল (Half life Period)

রাদারফোর্ড 1904 সালে তেজস্ক্রিয় মৌলের 'অর্ধায়ুষ্কাল' কথাটি প্রবর্তিত করেন।

তেজস্ক্রিয় পদার্থের নমুনার অর্ধপরিমাণ অন্তর্হিত হতে প্রয়োজনীয় সময়কাল অর্থাৎ যে সময়ে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থ তার প্রারম্ভিক পরিমাণের ঠিক অর্ধেক হয়, তাকে উক্ত পদার্থের 'অর্ধায়ুষ্কাল' ($t_{1/2}$) বলে। অর্ধায়ুষ্কালও তেজস্ক্রিয় মৌলের সুস্থিতির পরিমাপক। অর্ধায়ুষ্কাল যত কম হবে, মৌলটি তত অসুস্থিত, কারণ ততই বেশিসংখ্যক পরমাণু নির্দিষ্ট সময়ে বিভাজিত হবে। অর্ধায়ুষ্কাল নিম্নলিখিত উপায়ে গণনা করা যায় ঃ

আমরা জানি, $n = n_0 e^{-\lambda t}$, বা, $\frac{n}{n_0} = e^{-\lambda t}$, বা, $\ln \frac{n}{n_0} = -\lambda t$

যখন $t = t_{1/2}$, $n = \frac{n_0}{2}$

বা, $\ln = \frac{n_0}{2} / n_0 = -\lambda t_{1/2}$ or, $\ln = \frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2}$ বা, $\ln 2 = \lambda t_{1/2}$

বা, $t_{1/2} = \frac{\ln_2}{\lambda} = \frac{2.303 \times 0.3010}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$

$\therefore$ বিঘটন (বিভাজন) ধ্রুবক (λ), গড় আয়ুষ্কাল ($t_{1/2}$) ও অর্ধায়ুষ্কালের (τ)-এর মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক ঃ

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693\,\tau$$

কাজেই অর্ধায়ুষ্কাল নির্নীত হলে বিভাজন ধ্রুবক ও গড় আয়ুষ্কাল নির্ণয় করা সম্ভব। $t_{1/2}$ তেজস্ক্রিয় মৌলের পরিমাণের উপর নির্ভরশীল নয়। এর মান সেকেন্ডের ভগ্নাংশ থেকে লক্ষ বছরের বেশি হতে পারে।

যেমন ঃ	মৌল	অর্ধায়ুষ্কাল
	Rn	3.82 দিন
	Ra	1620 বছর

যদি 1 গ্রা. রেডিয়াম নেওয়া হয় তবে 1620 বছর পরে এর পরিমাণ হবে $\frac{1}{2}$ গ্রা. এবং $\frac{1}{4}$ গ্রা. হবে 3240 বছর পড়ে। একে লেখাকারে চিত্র 3.3-এ দেখানো হয়েছে ; এ থেকে তেজস্ক্রিয় বিভাজনের সূচকীয় আচরণ ধরা পড়ে।

চিত্র ঃ 3.3

অনুশীলনী — 1

1. একটি তেজস্ক্রিয় নমুনার গণনার হার (counting rate) 47.59-কণা মি$^{-1}$। 5 মিনিট পরে তা হয় 27 মি$^{-1}$। নমুনার বিভাজন ধ্রুবক এবং অর্ধায়ুষ্কাল বের করুন।

3.8 তেজস্ক্রিয়তা কেন্দ্রকীয় (nuclear) ধর্ম ঃ প্রমাণ

তেজস্ক্রিয়তা যে কেন্দ্রকীয় ধর্ম তার সপক্ষে যুক্তিগুলি নিম্নরূপ ঃ

(1) তেজস্ক্রিয় বিঘটনের ফলে মৌল থেকে α-কণা $\left({}^{4}_{2}He\right)$-র মত ভারী কণা বের হয়। কেন্দ্রক বিভাজিত না হলে এটি সম্ভব নয়। সাধারণত β-কণার শক্তি কেন্দ্রকের বাইরে থাকা ইলেকট্রনের শক্তির থেকে বহুগুণ বেশী। কেন্দ্রকের মধ্যে নিউট্রন-প্রোটন পরিবর্তনের ফলে β-কণার উৎপত্তি হয়। β–কণা অবশ্য বের হয় যেমন উৎপাদনের মাধ্যমে। [$p \rightleftharpoons n + \pi^{+}$; $n \rightleftharpoons p + \pi^{-}$; $\pi^{\pm} \rightleftharpoons \mu^{\pm} + \nu$; $\mu^{\pm} \rightleftharpoons \beta^{\pm} + 2\gamma$]

(2) তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনে নতুনতর মৌল উৎপন্ন হয়। আমরা জানি মৌলের পরিচয় (identity) প্রকাশিত হয় তার পারমাণবিক সংখ্যা (কেন্দ্রকে প্রোটনের সংখ্যা) দ্বারা। কাজেই স্বাভাবিকভাবেই বলা যায় যে তেজস্ক্রিয়তা কেন্দ্রকীয় ধর্ম।

(3) তেজস্ক্রিয় পরিবর্তন তাপমাত্রা, তাপ ও অন্যান্য ভৌতধর্মের উপর নির্ভর করে না। কাজেই এই বিক্রিয়া ইলেকট্রনীয় বিক্রিয়া (সাধারণ রাসায়নিক বিক্রিয়ায় এই ইলেকট্রনীয় প্রক্রিয়া) থেকে পৃথক অর্থাৎ এখানে কেন্দ্রক সংশ্লিষ্ট।

(4) তেজস্ক্রিয়তা একটি পারমাণবিক ধর্ম, অর্থাৎ উপস্থিত মৌলিক পরমাণুর উপর নির্ভর করে ; এর যৌগিক অবস্থা অর্থাৎ জারণ সংখ্যার উপর নির্ভর করে না।

(5) তেজস্ক্রিয় পরিবর্তন একমুখী। কিন্তু সব রাসায়নিক বিক্রিয়াই প্রকৃতপক্ষে প্রতিমুখী। তাই এটি রাসায়নিক বিক্রিয়া থেকে ভিন্ন অর্থাৎ এখানে কেন্দ্রক সংশ্লিষ্ট।

(6) তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনে সংশ্লিষ্ট শক্তির পরিমাপ রাসায়নিক পরিবর্তনের ক্ষেত্রে সংশ্লিষ্ট শক্তির প্রায় লক্ষ গুণ। প্রথমটিতে যেখানে উদ্ভূত শক্তির পরিমাণ হয় 10^9 কি. ক্যালোরি মোল$^{-1}$ বা তারও বেশি, সেখানে শেষোক্তটি $10^4 - 10^5$ কি. ক্যালোরি মোল$^{-1}$ এর পর্যায়ের শক্তি উদ্ভূত / শোষিত হয়। এটা একমাত্র ব্যাখ্যাত হতে পারে এই ধরে যে তেজস্ক্রিয় বিক্রিয়ায় ভরের হ্রাস ঘটে কারণ সেখানে কেন্দ্রক সংশ্লিষ্ট এবং এই অন্তর্হিত ভর $\varepsilon = \Delta mC^2$ সূত্রানুযায়ী শক্তিতে পরিণত হয়।

3.9 অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা নির্ণয়

তেজস্ক্রিয় বিক্রিয়া অনুধাবন করে অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা নির্ণয় করা যায়।

1 গ্রা. Ra এক বছরে 11.6×10^{17} α-কণা বের করে। ^{226}Ra-এর অর্ধায়ুষ্কাল 1620 বছর।

তাহলে $\frac{-dn}{dt} = 11.6 \times 10^{17}$ বছর$^{-1}$ $= \lambda n$

$\therefore$ n = ^{19}Ra-এ উপস্থিত পরমাণু সংখ্যা $= \frac{11.6 \times 10^{17}}{\lambda} = \frac{11.6 \times 10^{17} \times 1620}{0.693}$

$$\left[\because 1620 = \frac{0.693}{\lambda} \quad \therefore \lambda = \frac{0.693}{1620}\right]$$

$\therefore$ N = অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা = 226 গ্রা Ra-এ উপস্থিত পরমাণু সংখ্যা

$$= 226n = \frac{11.6 \times 10^{17} \times 1620 \times 226}{0.693}$$

$$= 6.1 \times 10^{23}$$

3.10 তেজস্ক্রিয় সাম্য (Radioactive equilibrium)

সুদীর্ঘ সময় ধরে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থ পড়ে থাকলে 'তেজস্ক্রিয় সাম্য' নামক একপ্রকার অবস্থা সৃষ্ট হয়। সঠিকভাবে বলতে গেলে একে 'তেজস্ক্রিয় সাম্য' না বলে 'তেজস্ক্রিয় স্থিতাবস্থ' (steody state) বলা উচিত, কারণ তেজস্ক্রিয় পরিবর্তন একমুখী (অপ্রতিমুখী, irveversible)। এই অবস্থা সৃষ্ট হওয়ার কারণ, দীর্ঘ আয়ুষ্কাল সম্পন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থ একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের শ্রেণি গঠন করে ; যথেষ্ট দীর্ঘ সময়ের ব্যবধানে প্রত্যেকটি একক মৌলের উৎপত্তির হার তার বিভাজনের হারের সমান হয়ে দাঁড়ায়। $Ra \rightarrow Rn \rightarrow RaA$ (অর্থাৎ P_0)— এই পরিবর্তটির কথাই যদি ধরি, একটা সময় আসবে যখন রেডনের উৎত্তির হার তার বিভাজনের হারের সমান। মনে করা যাক, n হচ্ছে উপস্থিত পরমাণু সংখ্যা এবং λ বিভাজন ধ্রুবক। তাহলে সাম্যাবস্থায় অর্থাৎ, যখন Rn-এ উৎপত্তির হার এর বিভাজনের হারের সমান হবে, তখন

$$= \lambda_{R_a} \cap_{R_a} = \lambda_{R_n} n_{R_a} \qquad (\because R_a\text{-এর বিভাজন হার} = Rn\text{-এর উৎপত্তির হার})$$

$$\therefore \frac{nR_a}{nR_n} = \frac{\lambda R_a}{\lambda R_a} = \frac{(t_{1/2})R_n}{(t_{1/2})R_a} \quad (t_{1/2} = \text{অর্ধায়ুষ্কাল})$$

প্রকৃতপক্ষে তেজস্ক্রিয় শ্রেণির মৌলগুলি $\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2 = \lambda_3 n_3 = \ldots\ldots\ldots\ldots$ সম্পর্ক মেনে সহাবস্থান করে। সুদীর্ঘ সময় ধরে U-আকরিকের অবস্থানে কেন বিঘ্ন ঘটেনি, তাই এতে বিভিন্ন মৌলের উপস্থিতি নিম্নরূপ ঃ

মৌল	→	U	Ra	Po
পরিমাণ	→	3.11 টন	1 গ্রা.	0.002 গ্রা.

অনুশীলনী — 2

1. ^{235}U-এর অর্ধায়ুষ্কাল 7.1×10^8 বছর এবং এর অপত্য ^{231}Th-এর 24.6 ঘন্টা। 1 গ্রা ^{235}U-এর সঙ্গে সাম্যাবস্থায় কী পরিমাণ ^{231}Th থাকবে ?

3.11 তেজস্ক্রিয়তার একক (Unit of Radioactivity)

226 ভরসংখ্যা বিশিষ্ট রেডিয়াম (^{226}Ra)-এর 1 গ্রা, এক সেকেন্ডে যতবার α কণা নির্গমন সহ বিভাজন হয় সেই সংখ্যাকে তেজস্ক্রিয়তার একক ধরা হয়েছে। এই এককের নাম দেওয়া হয়েছে 'ক্যুরী' (curie, c)। 1e $= 3.70 \times 10^{10}$ বিঘটন সেকেন্ড $^{-1}$

গণনা : 1 গ্রা. (226) রেডিয়ামে পরমাণু সংখ্যা $= \dfrac{6.02 \times 10^{23}}{226}$

$\therefore$ প্রতি সেকেন্ডে 1 গ্রা. রেডিয়ামে বিঘটন সংখ্যা $= \dfrac{0.693 \times 6.02 \times 10^{23}}{1620 \times 365 \times 86400 \times 226}$

$= 3.70 \times 10^{10}$ বিঘটন সে$^{-1}$ (disintegration per second, dps)

[Ra-এর অর্ধায়ুষ্কাল = 1620 বছর]

ক্ষুদ্রতর একক ঃ মিলিক্যুরী (mc, 10^{-3}c) এবং মাইক্রোক্যুরী (μc, 10^{-6}c)

অন্য একক ঃ (1) 1dps = 1 বেকারেল (bq)

$\therefore$ 1c = 3.7×10^{10} bq = 37×10^{9} bq

= 37 গিগা (giga) বেকারেল

(2) 10^{6} dps = 1 রাদারফোর্ড (rd)

আপেক্ষিক তেজস্ক্রিয়তা (specific activity)

1 গ্রা. তেজস্ক্রিয় পদার্থ যত ক্যুরী তেজস্ক্রিয়তা উৎপন্ন করে তাকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তেজস্ক্রিয়তা বলা হয়। এর একক ক্যুরী গ্রাম$^{-1}$.

অনুশীলনী — 3

1. ^{214}Bi (Rac)-এর 1 ক্যুরীতে কত গ্রাম নির্ণয় করুন। এর আপেক্ষিক তেজস্ক্রিয়তাও বের করুন।

[$t_{1/2}$ = 19.7 মি.]

আমরা জানি, 1 ক্যুরী = 3.7×10^{10} ডি-পি-এস

মনে করুন x g ^{214}Bi $\Rightarrow$ 1 ক্যুরী তেজস্ক্রিয়তা

$$\therefore\ 3.7 \times 10^{10} = \lambda n = \frac{0.693 \times 6.02 \times 10^{23} x}{19.7 \times 60 \times 214}$$

$$\therefore\ x = \frac{3.7 \times 10^{10} \times 19.7 \times 60 \times 214}{0.693 \times 6.02 \times 10^{23}}$$

$= 2.244 \times 10^{-8}$ গ্রা.

আপেক্ষিক তেজস্ক্রিয়তা $= \dfrac{1}{2.244 \times 10^{-8}} = 4.457 \times 10^{7}$ ক্যুরী গ্রা$^{-1}$

3.12 ফ্যাজাঁ ও সডির শ্রেণিসরণ সূত্র (Fajan and Soddys group displacement law)

যখন কোনও তেজস্ক্রিয় মৌল α-কণা উদ্গীরণ করে $_2^4He$-এর 4 একক ভর ও 2 একক আধান আছে), তখন উদ্ভূত পদার্থের কেন্দ্রকে 2টি ধনাত্মক একক আধান কম থাকবে অর্থাৎ অপত্যর পারমাণবিক সংখ্যা 2 একক কম হবে। স্বভাবতঃই পর্যায় সারণিতে অপত্যের অবস্থান মূল মৌলের দু-ঘর বাঁ দিকে সরে যাবে। অপত্যর ভর 4 একক কম হবে। এখন Ra পর্যায় সারণিতে 11 শ্রেণিতে আছে। এ থেকে α–কণা বেরিয়ে গেলে অপত্যর অবস্থান হবে '0' (বা 18) শ্রেণিতে।

আবার β-কণা ($_{-1}^0e$) বের হলে কেন্দ্রকের ধনাত্মক আধান 1 একক বাড়বে (কারণ অপত্যর পারমাণবিক সংখ্যা মূল মৌলের 1 একক বেশি হবে), আর তাই অপত্যর অবস্থান হবে পর্যায় সারণিতে মূল এককের এক ঘর ডাইনে। যেহেতু β-কণা ভরবিহীন, তাই অপত্যর ভর সংখ্যা মূল মৌলের ভর সংখ্যার সমান হবে।

এই ঘটনাকে ফ্যাজা ও সডির শ্রেণির সরণ সূত্র বলা হয়। একে বিবৃত করা যায় এভাবে ঃ সকল তেজস্ক্রিয় বিঘটনেই পরমাণু থেকে α– বা, β-কণা (যে কোনও একটি, কখনই দুটি এক সঙ্গে নিঃসৃত হবে না ; যে কণাই বের হোক না কেন γ-নিসরণ সবসময়ই পরবর্তী ঘটনা হিসাবে প্রকাশ পাবে (বের হবে)। α-কণা নিঃসৃত হলে অপত্য পরমাণুর পারমাণবিকও ভরসংখ্যা যথাক্রমে 2 ও 4 একক কমবে ; আর β-কণা নিঃসৃত হলে অপত্য পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা 1 একক বাড়বে, কিন্তু ভর-সংখ্যা অবিকৃত থাকবে। তাই প্রথম ক্ষেত্রে অপত্য-মৌলের পর্যায় সারণিতে অবস্থান হবে প্রারম্ভিক মৌলের দুই ঘর বাঁয়ে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে এক ঘর ডাইনে। একটি α-নিঃসরণের পরে যদি পরপর দুটি β-কণা নিঃসৃত হয় তবে প্রারম্ভিক মৌলের সমঘর (4 একক কম ভরসংখ্যা বিশিষ্ট) পাওয়া যাবে ; অনুরূপে যদি দুটি β-কণা ও একটি α-কণা পরস্পর বের হয় তবুও একটি এমনই সমঘর পাওয়া যাবে। উদাহরণ ঃ

বিঘটন $\quad {}^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{\beta} {}^{234}_{91}Pa \xrightarrow{\beta} {}^{234}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{234}_{90}Th$

পর্যায় শ্রেণি $\quad$ (6) $\quad$ (4) $\quad$ (5) $\quad$ (6) $\quad$ (4)

চিত্র 3.2 -এ শ্রেণিসরণ সূত্র পরিষ্কার দেখানো হয়েছে।

চিত্র 3.2 : অ্যাক্টিনিয়াম শ্রেণির ক্ষেত্রে শ্রেণিসরণ

এ থেকে আমরা কিছু কৌতুহলোদ্দীপক গণনা করতে পারি।

(1) $^{A_1}_{Z_1}M_1 \rightarrow ^{A_2}_{Z_2}M_2$ তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনে কয়টি α ও কয়টি β-কণা নির্গত হচ্ছে?

সমাধান ঃ ভর সংখ্যার পরিবর্তন হয় শুধু α-কণার নির্গমনের ফলে ; প্রতি α-কণা পিছু 4-একক ভর-সংখ্যা হ্রাস পায়।

$\therefore$ নির্গত α-কণার সংখ্যা = $n_\alpha = \frac{A_1 - A_2}{4}$

এই $\frac{A_1 - A_2}{4}$ α-কণার নির্গমনে পাঃ সংখ্যা কমবে $\frac{A_1 - A_2}{4} \times 2 = \frac{A_1 - A_2}{2}$

কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা হ্রাস $= Z_1 - Z_2$

এক্ষেত্রে, অর্থাৎ β-কণা বের হলে $Z_1 - Z_2 < \frac{A_1 - A_2}{2}$ হবে।

নির্গত $= \beta$-কণার সংখ্যা $n_\beta = \frac{(A_1 - A_2)}{2} - (Z_1 - Z_2)$

একটি বাস্তব উদাহরণ নিন।

$$^{238}_{92}U \xrightarrow[-n_\alpha\alpha, -n_\beta\beta]{} ^{206}_{82}Pb$$

$$\alpha_n = \frac{238 - 206}{4} = \frac{32}{2} = 8$$

8টি α বের হলে অপত্যের পাঃ সংখ্যা হওয়া উচিত, $92 - 8 \times 2 = 16$, কিন্তু পরিবর্তন $92 - 82 = 10$,
$\therefore \beta_n = 16 - 10 = 6$

অন্যভাবে ঃ $\beta_n = \left(\frac{A_1 - A_2}{2}\right) - (Z_1 - Z_2) = \frac{238 - 206}{2} - (92 - 82)$

$$= \frac{32}{2} - 10 = 16 - 10 = 6$$

(2) $^{A_1}_{Z_1}M_1 \xrightarrow{-n_\alpha\alpha, -n_\beta\beta} ^{A_2}_{Z_2}M_2$ $(Z_2 = ?, A_2 = ?)$

$A_2 = A_1 - 4n_\alpha$, n_α α-কণার নির্গমনে n_α একক পাঃ সংখ্যা কমবে, আর n_β β-কণা নির্গমনে n_β একক বাড়বে।

$\therefore Z_2 = Z_1 - n_\alpha + n_\beta$

একটি বাস্তব উদাহরণ ঃ

$^{234}_{90}Th \rightarrow ^{A}_{Z}M$ — পরিবর্তনে 7টি α ও 6টি β বের হলে $Z_3 - A_1$-এর মান কত হবে? নির্গত α-কণার সংখ্যা = 7 ; $\therefore$ ভর সংখ্যা হ্রাস = 28 একক।

$\therefore A = 234 - 28 = 206$

7টি α-বের হলে পাঃ সংখ্যা কমবে 14 একক এবং 6টি β কণা বের হলে পাঃ সংখ্যা বাড়বে 6 একক

$\therefore Z = 90 - 14 + 6 = 82$

অনুশীলনী—3

1. $^{232}_{82}Th$ থেকে $^{208}_{82}Pb$ -এ আসতে গেলে কটি α ও কটি β-কণা বের হবে ?

3.13 তেজস্ক্রিয় শ্রেণিসমূহ (Radioactive Series)

একটি তেজস্ক্রিয় মৌল বিঘটনের ফলে N নতুন মৌলটি উৎপন্ন করে, সেটি যদি আবার তেজস্ক্রিয় হয় তবে সেটিও বিঘটিত হয়ে তৃতীয় মৌল তৈরি করবে। তৃতীয়টি তেজস্ক্রিয় হলে আবার বিঘটিত হবে। এভাবে চলতেই থাকবে, যতক্ষণ না একটি অতেজস্ক্রিয় প্রাপ্ত মৌল (যা আর বিঘটিত হবে না) উৎপন্ন হয়। এভাবে একটি শ্রেণি গঠিত হয়, একে বলা হয় তেজস্ক্রিয় শ্রেণি। স্বভাবতঃই দীর্ঘসময়ের ব্যবধানে শ্রেণিভুক্ত মৌলগুলির মধ্যে তেজস্ক্রিয় স্থিতাবস্থা প্রতিষ্ঠিত হয় ; প্রথমটি পরিমাণ কমে আর প্রাপ্তমৌলের পরিমাণ বাড়ে। এই ঘটনার ব্যবহারিক প্রয়োগ করে দেখতে পাবেন।

গত চল্লিশ বা ততোধিক তেজস্ক্রিয় মৌলের সবকটিই তিনটি তেজস্ক্রিয় শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত। তারা কোন না কোন শ্রেণির গুরুত্বপূর্ণ সদস্য, এই তিনটি শ্রেণির নাম থোরিয়াম (Th) শ্রেণি, ইউরেনিয়াম (U) শ্রেণি, অ্যাক্টিনিয়াম (Ac) শ্রেণি। Th শ্রেণির সব সদস্যের ভরসংখ্যাই 4-এর গুণিতক—তাই একে 4n শ্রেণি বলা হয়। U-শ্রেণির সদস্যদের ভর সংখ্যা 4n+2 (যেখানে n = পূর্ণসংখ্যা), তাই একে বলে 4n + 2 শ্রেণি। অনুরূপে Ac শ্রেণি 4n + 3 শ্রেণি। (4n + 1) হল Np-(নেপ্তুর নিয়াম) শ্রেণি কিন্তু এই শ্রেণির মৌলগুলি কৃত্রিমভাবে উৎপন্ন হয়েছে। নিচে এই শ্রেণিগুলি দেখুন ঃ

U-শ্রেণি (4n + 2) :

Th-শ্রেণি (4n) :

Ac-শ্রেণি (4n + 3) :

Np-শ্রেণি (4n + 1) :

তেজস্ক্রিয় বিঘটনের সময় হয় α বা β-রশ্মি নির্গত হয়। কখনই উভয়ে একত্রে বের হয় না। যেখানে শাখায়িত (branched) বিঘটন দেখানো হয়েছে এটা পরিষ্কার যে যারা α-রশ্মি বিকীরন করে তারা কিন্তু β-রশ্মি বিকীরণের মাধ্যমে বিঘটিত হয় না—হয় বাকী পরমাণু সমূহ। এ ঘটনা কি কেন্দ্রকীয় সমাবয়বতার (nuclear isomerism) উদাহরণ (1.3 অংশ দেখুন)।

3.14 তেজস্ক্রিয় প্রবহণ (Radioactive emanation) ও শ্রেণিভুক্ত মৌলসমূহের পৃথকীকরণ (Separation of rdio elements)

কাঁচের আধারে ইউরেনিয়াম রেখে দেখা গেল যে সামনের বিপরীত দিকে কাঁচের গায়ে প্রতিপ্রভা লক্ষিত হচ্ছে, শুধু তাই নয় সেখান থেকে এক ধরনের রশ্মিও নির্গত হচ্ছে। পরে দেখা গেল যে এর মূলে আছে একটি গ্যাসীয় তেজস্ক্রিয় মৌল যা বিঘটনের ফলে আবার কঠিন পদার্থ উৎপন্ন করে। এই মৌল তেজস্ক্রিয় হওয়ায় α বা β-রশ্মি বিকীরণের মাধ্যমে বিঘটিত হয়। তেজস্ক্রিয় গ্যাসের এই প্রবাহকে তেজস্ক্রিয় প্রবহণ বলে। এ ভাবে শ্রেণির মৌলসমূহ সম্পূর্ণ দুটি ভাগে দুইটি বিভিন্ন স্থানে বিভক্ত হয়ে যায়।

এককভাবে মৌলগুলির পৃথকীকরণ দরকার, বিশেষ করে তাদের রাসায়নিক ও তেজস্ক্রিয় ধর্ম পর্যবেক্ষণের প্রয়োজনে। এর জন্যে বিভিন্ন ধরনের পদ্ধতি প্রচলিত আছে। বেশির ভাগ ক্ষেত্রে রাসায়নিক পদ্ধতি প্রযুক্ত হয় ; এর মধ্যে আবার সহ অধঃক্ষেপন (Copercipitation) সমধিক গুরুত্বপূর্ণ। যেমন, U-যৌগসমূহকে অ্যামোনিয়াম কার্বোনেট দ্রবণে দ্রবীভূত করা হয় ; $RaCl_2$ দ্রবণ যোগ করে রেডিয়ামকে $RaSO_4$ হিসাবে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। আকরিকে যথেষ্ট বেরিয়াম থাকে, এটি $BaSO_4$ হিসাবে অধঃক্ষিপ্ত হবার সময় $RaSO_4$-কে সহ অধঃক্ষিপ্ত করে। প্রয়োজন হলে বাইরে থেকে Ba-যোগ করা হয়। Po-কে সালফাইড হিসাবে অধঃপাতিত করা হয়, Bi_2S_3-এর সঙ্গে একে সহ-অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। অনুরূপে I_0 বা Th-কে অ্যামোনিয়া দ্রবণ সহযোগে হাইড্রোক্সাইড হিসাবে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়—জলে অদ্রবণীয় হাইড্রোক্সাইডের সঙ্গে (যেমন Al) একটিকে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়।

কখনো কখনো তড়িত রাসায়নিক পদ্ধতি যেমন ক্রমপরিবর্তনশীল (graded) বিভব প্রয়োগ করে Rac (Bi) অধঃক্ষিপ্ত হয় বা Ni দিয়েও একে অধঃক্ষিপ্ত করা যায়।

3.15 তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপন (Measursement of Radioactivity)

পদার্থের তেজস্ক্রিয়তা ও কেন্দ্রকীয় বিকীরণ নির্দেশ ও পরিমাপনের প্রয়োজন আকছারই হয়। এর জন্য বিভিন্ন যন্ত্রাদি নির্মিত ও প্রযুক্ত হয়। এ সব যন্ত্রের সংক্ষিপ্ত বিবরণ পাওয়া যাবে EPH 14, পর্যায় 02-এর একক 10-এর 10.2 অংশে।

3.16 ভূ-তাত্ত্বিক কালমিতি (Geological Chronometry)

3.16.1 আকরিক তথা পৃথিবীর বয়স

যদি ধরেনি যে ইউরেনিয়াম থোরিয়াম প্রভৃতি দীর্ঘায়ু সম্পন্ন মৌলের আকরিকগুলি এই বিশ্বজগৎ সৃষ্টির সময়কাল থেকেই বিদ্যমান ছিল। তবে তাদের রাসায়নিক বিশ্লেষণ করে সংশ্লিষ্ট আকরিকের বয়স নির্ধারণ করা যায়। ইউরেনিয়াম শ্রেণি $(4n+2)$-তে U প্রারম্ভিক মৌল, আর লেড্ শেষতম মৌল। আর দীর্ঘসময় কালে তেজস্ক্রিয় সাম্য বা স্থিতাবস্থা প্রতিষ্ঠিত হয়েছে। কিন্তু এটা ঠিক যে U-এর পরিমাণ ক্রমশঃ হ্রাস পাচ্ছে আর লেডের পরিমাণ ক্রমশঃ বাড়ছে। এদের পরিমাণ জেনে আকরিকের বয়স নির্ধারণ করা সম্ভব। আর যদি ধরা হয় যে পৃথিবীর সৃষ্টির মুহূর্তে এরা ছিল, তবে এটাই হবে পৃথিবীর বয়স। তবে এটা যে পৃথিবীর ন্যূনতম বয়স হবে তা ঠিক।

গণনা ঃ মনে করা যাক কোন আকরিকে U-Pb অনুপাত x।

$\therefore$ Pb-এর ওজন ঃ U-এর ওজন $= x : 1$

এখন 206 গ্রা. Pb উৎপন্ন হয় 238 গ্রা. U থেকে

$\therefore$ x গ্রা. Pb উৎপন্ন হয় $\frac{238x}{206}$ গ্রা. U থেকে

$\therefore$ দাঁড়াচ্ছে $\left(1+\frac{238}{206}x\right)$ বা, $(1+1.1553x)$ গ্রা. U.t সময়কালে 1 গ্রামে পরিণত হয়েছে, $t =$ আকরিকের তথা পৃথিবীর ন্যূনতম বয়স।

আমরা জানি $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$ [N_0 = U-এর প্রারম্ভিক পরমাণু সংখ্যা

এখান, $N_0 \propto 1 + 1.1553x$ N = U-এর অন্তিম পরমাণু সংখ্যা

$N \propto 1$ λ = U-এর বিঘটন ধ্রুবক $= \frac{0.693}{t_{1/2}}$]

$\therefore$ $\ln\frac{1+1.553x}{1} = \lambda t = \frac{t \times 0.693}{t_{1/2}}$ [$t_{1/2}$ বছর, U-এর অর্ধায়ুষ্কাল]

$\therefore$ $t = \frac{t_{1/2}}{0.693} \times \ln\,(1+1.553x)$ বছর।

একটি প্রকৃতি তথ্য সম্বলিত গণনা করা যাক আসুন।

● ইউরেনাইটের কোনও নমুনায় Pb – U অনুপাত দেখা গেল 0.0453, U-এর বিঘটন ধ্রুবক 1.52×10^{-10} বছর হলে পৃথিবীর ন্যূনতম বয়স বের করুন।

সমাধান ঃ Pb-এর ওজন : U-এর ওজন = 0.0453 : 1

$\therefore$ 0.0453 গ্রা. Pb এসেছে $\frac{238}{206} \times 0.0453 = 0.05234$ গ্রা. U-থেকে।

$\therefore$ $N \propto 1, N_0 \propto 1.05234$

$$\therefore \quad t = \frac{1}{\infty} m \frac{N_0}{N} = \frac{2.303}{\infty} = \log 1.05234 = \frac{2.303}{1.52 \times 10^{-10}} \log 1.05234$$

$$= \frac{2.303 \times 0.0220}{1.52} \times 10^{10} = 3.334 \times 10^8 \text{ বছর।}$$

এটি আকরিকের বয়স ; এটিই পৃথিবীর ন্যূনতম বয়স।

অনুশীলনী—4

1. পিচ্ ব্লেন্ডের একটি নমুনায় Pb-এর ওজন U-এর ওজনের 22.8%। U-এর অর্ধায়ুষ্কাল 4.5×10^9 বছর হলে পৃথিবীর ন্যূনতম বয়স বের করুন।

2. আকরিকের বয়সকে পৃথিবীর ন্যূনতম বয়স বলা হচ্ছে কেন ?

3.16.2 তেজস্ক্রিয় কার্বন কালমাপন (Radiocarbon dating)

14-কার্বনের অর্ধায়ুষ্কাল (5570 বছর)-এর তুলনায় সুদীর্ঘ বয়সের জন্য কয়লার কার্বনকে তেজস্ক্রিয়তার সাপেক্ষে নিষ্ক্রিয় ধরা হয়। কাজেই অন্য কোন উৎসের কার্বনের তেজস্ক্রিয়তা মাপার ক্ষেত্রে পরীক্ষাধীন নমুনায় C যে রাসায়নিক রূপে উপস্থিত ঠিক সেইরূপে কয়লা থেকে কার্বন নিয়ে 'মৃত C' হিসাবে তার সঙ্গে ঐ নমুনার কার্বনের তুলনা করা হয়।

নমুনা, মৃত কার্বন ও সমসাময়িক উৎস থেকে কার্বন সংগ্রহ করে একই রাসায়নিক অবস্থায় (সাধারণতঃ কার্বন ডাই-অক্সাইড) একটি আনুপাতিক গণক (proportional counts)-এ ঢোকানো হয় এবং তাদের ক্ষেত্রে গণনার হার (counts per minute, cpm) নির্ধারণ করা হয়। কয়লার গণনার হারকে পশ্চাদ্‌পট গণনা-হার (back ground countring rate) ধরে অন্য দুই ক্ষেত্রের গণনার হারের 'শুদ্ধমান' (corrected value) বের করা হয়।

এই বিশেষ কালমাপন পদ্ধতি লিবি (Libby) আবিষ্কার করেন এবং এর জন্য তিনি নোবেল পুরস্কার পান (1960)। এই পদ্ধতিতে অনধিক 20,000 বছর বয়সের নমুনা (ভূ-তাত্ত্বিক প্রত্নতাত্ত্বিক, ঐতিহাসিক) পরীক্ষিত হতে পারে।

একটা প্রশ্ন আসতে পারে, গাছ কীভাবে ^{14}C সংগ্রহ করে ? এ প্রসঙ্গে আলোচনার সময় আমাদের দুটি জিনিস স্বীকার করে নিতে হবে। মহাজাগতিক (cosmic) রশ্মিতে নিউট্রন আছে। এই নিউট্রন বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেনের সঙ্গে (কেন্দ্রকীয়) বিক্রিয়া ঘটায় এবং ^{14}C (তেজস্ক্রিয় কার্বন) উৎপন্ন করে ঃ

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \xrightarrow[t_{1/2}]{} ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H \quad \text{.....(1)}$$

এই ^{14}C বিঘটিত হয় এভাবে ঃ $^{14}_{6}C \xrightarrow[t_{1/2}]{} ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}\beta$, 5570 বছর ..... (2)

এখন সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় CO_2-এর মাধ্যমে গাছ ^{14}C গ্রহণ করে আর এই ^{14}C বিক্রিয়া (2) অনুযায়ী ভাঙতে থাকে। গাছ যতদিন বেঁচে থাকে ততদিন এই দুই প্রক্রিয়া সমান হারে চলে বলে জীবিত গাছে ^{14}C-এর পরিমাণ স্থির। গাছ মারা গেলে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া এবং ^{14}C-এর পরিগ্রহণ বন্ধ হয়, কিন্তু ^{14}C-এর বিভাজন চলতে থাকে। বিগত 30,000 বছর ধরে গাছের ^{14}C-এর পরিমাণ অপরিবর্তিত আছে। কয়লা গাছ থেকে উৎপন্ন। এত দীর্ঘদিন আগে কয়লার উৎপত্তি যে ধরা হয় কয়লার ^{14}C নিঃশেষ অর্থাৎ কয়লা ^{14}C-এর সাপেক্ষে মৃত।

তেজস্ক্রিয় কার্বন পরিমাপনে গাইগার মূলার গণক ব্যবহার করা হয়।

গণনা ঃ

ক্রমিক সংখ্যা	নমুনা	গণনার হার (cpm)	শুদ্ধ 'গণনার হার'
1.	কয়লা থেকে সংগৃহীত CO_2	n_0	—
2.	সমসাময়িক কাঠ থেকে সংগৃহীত CO_2	n_1	$n_1 - n_0 = \lambda$
3.	পরীক্ষাধীন বস্তু থেকে সংগৃহীত CO_2	n_2	$n_2 - n_0 = \lambda_0$

এখন $\lambda = \lambda_0 e^{-\lambda t}$ এই সূত্র প্রয়োগ করে বস্তুর বয়স (t) বার করা যাবে।

জীবাশ্ম, প্রত্নতাত্ত্বিক খননে পাওয়া কার্বন ঘটিত পদার্থ (যেমন মৌল) ইত্যাদির বয়স নির্ণয় করতে এ পদ্ধতি প্রযুক্ত হয়।

অনুশীলনী—5

1. একটি বড় আনুপাতিক গণক পরপর তিনটি নমুনা থেকে প্রাপ্ত CO_2 দিয়ে ভর্তি করা হল। নিচের তথ্য পাওয়া গেল ঃ

(a)	CO_2 (কয়লা থেকে)	900 মিনিটে 10,770 ঝলক (Flash)
(b)	CO_2 (সমসাময়িক কাঠ থেকে)	200 মিনিটে 26,405 ঝলক
(c)	CO_2 (পরীক্ষাধীন বস্তু থেকে)	400 মিনিটে 10,779 ঝলক

প্রতি ক্ষেত্রে একেবারে অভিন্ন পরিমাণ CO_2 নেওয়া হয়েছে ধরে নিন। তেজস্ক্রিয় কার্বনের অর্ধায়ুষ্কাল 5570 বছর।

3.17 সারাংশ

তেজস্ক্রিয়তা পদার্থের কেন্দ্রকীয় ধর্ম। বিশেষ কারণে অসুস্থিত কেন্দ্রক স্বতঃস্ফূর্তভাবে অদৃশ্য ও বিশেষ ধর্ম সম্পন্ন রশ্মি বিকিরণ করে ভেঙ্গে যায় ; এই ঘটনাকে তেজস্ক্রিয়তা বলে। এই বিকিরণে তিন ধরনের রশ্মি থাকে—α^-, β^- ও γ^- রশ্মি। এরা সাধারণভাবে বাস্তব মাধ্যম ভেদ করে যেতে পারে এবং পরিবেশকে আয়নিত করতে পারে। তবে এই ভেদন ক্ষমতা ও আয়নন ক্ষমতা (এবং আধান, গতিবেগ, ইত্যাদি) বিভিন্ন। U, Th, Ra প্রভৃতি ভারী মৌল এবং ^{14}C, ^{24}Na ইত্যাদি হাল্কা মৌলের কোন কোন সমঘর তেজস্ক্রিয়।

তেজস্ক্রিয় বিঘটন সূচকীয় নিয়ম মেনে চলে বলে এই ধরনের পদার্থ কখনই একেবারে নিঃশেষ হয় না। বিঘটন সূত্র হচ্ছে $n = n_0 e^{-\lambda t}$ বা, $J = J_0 e^{-\lambda t}$, λ(বিঘটন ধ্রুবক) তেজস্ক্রিয় পদার্থের নিজস্ব ধর্ম। এই ধ্রুবক গড় আয়ুষ্কাল (τ) ও অর্ধায়ুষ্কাল ($t_{1/2}$) নিম্ন-লিখিতভাবে সম্পর্কিত ঃ $t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693\tau$ ।

তেজস্ক্রিয় বিঘটন তত্ত্ব থেকে অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা নির্ণয় করা হয়েছে।

তেজস্ক্রিয় মৌল বিঘটিত হয়ে উৎপন্ন মৌল যদি তেজস্ক্রিয় হয় তবে তা আবার বিঘটিত হবে। এভাবে চলতে থাকবে যতক্ষণ না সুস্থিত শেষ-মৌল পাওয়া যাবে। এভাবে একটি শ্রেণি উৎপন্ন হবে। এরকম চারটি তেজস্ক্রিয় শ্রেণি জানা আছে ঃ $Th(4n), Np(4n+1), U(4n+2)$ ও $Ac\,(4n+3)$ শ্রেণি এর মধ্যে Np শ্রেণি কৃত্রিম মৌল সমন্বয়ে গঠিত।

দীর্ঘদিন এভাবে মৌলশ্রেণি বিঘটিত হতে থাকলে একটি তেজস্ক্রিয় সাম্যাবস্থা সৃষ্ট হবে। এতে প্রারম্ভিক মৌল পরিমাণে কমবে, শেষ মৌল পরিমাণে বাড়বে আর অন্তবর্তী মৌল সমূহ পরিমাণে স্থির থাকবে। এটি প্রকৃতপক্ষে স্থিতাবস্থা।

ফ্যাজাঁ ও সডির নিয়মানুসারে α-কণা নির্গত হলে পর্যায় সারণিতে অপত্য মৌলের অবস্থান মূল মৌলের দুঘর বামে (কারণ এর পারমাণবিক সংখ্যা মূল মৌলের দু-একক কম ও ভরসংখ্যা 4 একক কম। β-কণা বের হলে অপত্য মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা মূল মৌলের এক একক বেশি ও ভর সংখ্যা অভিন্ন, তাই এর পর্যায় সারণিতে অবস্থান ঘর, এক ঘর ডাইনে। তেজস্ক্রিয় মৌল হয় α-নতুবা β-কণা নিঃসরণ করে। সবসময়ই পরবর্তী ধাপে γ-বিকীরণ ঘটে।

তেজস্ক্রিয়তার বেশকটি একক আছে ; যেমন, ক্যুরী, বেকারেল ও রাদারফোর্ড। সবচেয়ে বেশি প্রচলিত ক্যুরী ; (c); 1 ক্যুরী = 3.7×10^{10} বিঘটন সেকেন্ড$^{-1}$।

তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপনে ব্যবহৃত যন্ত্রের মধ্যে আছে আয়নস প্রকোষ্ঠ, গাইগার মূলক গণক ও উইলসনের মেঘ কক্ষ।

তেজস্ক্রিয়তার পরিমাপ থেকে পৃথিবীর বয়স এবং প্রত্নতাত্ত্বিক বা ভূ-তাত্ত্বিক নমুনার বয়স নির্ণয় সম্ভব।

3.18 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. নিচের ক্ষেত্রগুলিতে A, B, C, D সনাক্ত করুন ঃ

   (a) $^{30}_{15}P \rightarrow ^{30}_{14}Si + A$

   (b) $^{37}_{17}Cl + B \rightarrow ^{38}_{18}Ar + ^{1}_{0}n$

   (c) $^{27}_{13}Al + C \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$

   (d) $^{129}_{53}ICl_4 + ^{1}_{0}n \rightarrow D + \beta$

2. রাসায়নিক সাম্যাবস্থা ও তেজস্ক্রিয় সাম্যাবস্থার মধ্যে পার্থক্য আলোচনা করুন। তেজস্ক্রিয় সাম্যাবস্থা কি প্রকৃত অর্থে সাম্যাবস্থা ? উত্তরে সপক্ষে যুক্তি দিন।

3. α, β ও γ-রশ্মির ধর্মাবলির একটি তুলনামূলক আলোচনা করুন।

4. তেজস্ক্রিয় বিঘটনের তত্ত্ব ও কৌশল আলোচনা করুন। অসুস্থির হওয়া সত্ত্বেও তেজস্ক্রিয় পদার্থের অস্তিত্ব আছে কেন ?

5. পৃথিবীতে মাত্র কয়েক গ্রাম Ra আছে। এই পরিমাণ স্থির। Ra-এর অনুস্থিতির সাপেক্ষে উক্তিটি ব্যাখ্যা করুন।

6. তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ুষ্কাল ও অর্ধায়ুষ্কাল বলতে কী বোঝো ? এদের মধ্যে সম্পর্ক বের করুন।

7. কীভাবে প্রমাণ করবেন যে তেজস্ক্রিয়তা কেন্দ্রকীয় ধর্ম।

8. উদাহরণ সহ শ্রেণি সরণ সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা করুন।

9. $4n + 2$ তেজস্ক্রিয় শ্রেণিটি উপস্থাপিত করুন। একে শ্রেণি বলা হয় কেন ? শ্রেণির মৌলসমূহকে পৃথক করার নীতি আলোচনা করুন। এ থেকে উদাহরণ নিয়ে কেন্দ্রকীয় সমাবয়বতা ব্যাখ্যা করুন।

10. টীকা লিখুন ঃ তেজস্ক্রিয় প্রবহন, তেজস্ক্রিয়তার একক, তেজস্ক্রিয়তা থেকে অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা নির্ণয়। ফিল্‌ম্‌ব্যাজ।

11. গাইগার মূলার গণকের গঠন ও কার্যপ্রণালী আলোচনা করুন।

12. তেজস্ক্রিয় কার্বন কালমাপনের নীতিও পদ্ধতি ব্যাখ্যা করুন।

13. 1 ক্যুরী ^{214}Bi (Rac)-র ওজন বের করুন। এর আপেক্ষিক তেজস্ক্রিয়তা কত ? দেওয়া আছে ^{214}Bi-এর অর্ধায়ুষ্কাল 19.7 মিনিট।

14. কোন প্রদত্ত নমুনার গণনার হার 47.5α-কণা প্রতি মিনিটে, 5 মিনিট পরে এর গণনার হার 2.7 মি$^{-1}$ ফলে নমুনার বিঘটন ধ্রুবক এবং অর্ধায়ুষ্কাল বের করুন।

15. ^{221}Fr-এর অর্ধায়ুষ্কাল 4.8 মিনিট। 1 মিলিগ্রাম এই সমঘর নিয়ে শুরু করলে 30 মিনিট পরে কতটা পড়ে থাকবে।

16. U(238)-এর অর্ধায়ুষ্কাল 4.51×10^9 বছর হলে যে আকরিকে P(206) : U(238) অনুপাত 0.231 : 1— তবে বয়স নির্ণয় করুন।

17. $^{232}_{9}Th$ থেকে পর্যায়ক্রমে 6টি α ও 4টি β কণা বের হল ; উদ্ভূত কেন্দ্রেককটিকে সনাক্ত করুন।

18. কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ুষ্কাল 100 সেকেন্ড। এর বিঘটন ধ্রুবক বের করুন। এরকম 1g মৌলের 0.01 g-এ নেমে আসতে কত সময় লাগবে ?

19. কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের $t_{1/2} = 47.2$ সে. হলে এক ঘণ্টা পরের $\frac{n}{n_0}$ বের করুন।

20. তেজস্ক্রিয় Ac-এর অর্ধায়ুষ্কাল 19.5 দিন। কত সময়ে 1 গ্রা. বিশুদ্ধ এই মৌল (i) 1 সেন্টিগ্রাম কমবে, (ii) কমে 1 সেন্টিগ্রাম হবে ?

21. 1 গ্রা. তেজস্ক্রিয় মৌল 50 সেকেন্ডে 1 সেন্টিগ্রাম ওজন থাকায় 1 সেন্টিগ্রাম মৌল পড়ে থাকবে কত সময় পরে ?

22. ^{220}Rn-এর অর্ধায়ুষ্কাল 54.5 সে. 1 মিলিক্যুরীর তুল্যপরিমাণ ^{220}Rn কেন্দ্রক বের করুন।

3.19 উত্তরমালা

অনুশীলনী—1

1. $n_0 \propto 47.5, n \propto 27$

$$n = n_0 e^{-\lambda t} \text{ বা, } \frac{n}{n_0} = e^{-\lambda t} \text{ বা, } \lambda t = \ln\frac{n_0}{n}$$

$$\therefore \lambda = \frac{2.303}{t}\log\frac{47.5}{27} = \frac{2.203}{5}\times 0.2453 = 0.1130 \text{ মি}^{-1}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{0.113} = 6.13 \text{ মি.}$$

অনুশীলনী—2

1. $$\frac{\lambda_{Th}}{\lambda_U} = \frac{(t_{1/2})_U}{(t_{1/2})_{Th}} = \frac{n_U}{n_{Th}}$$

$$\therefore n_{Th} = \frac{nU(t_{1/2})_{Th}}{(t_{1/2})_U}\frac{xN}{231} = \frac{N}{235}\times\frac{24.6}{7.1\times10^8\times365\times24}$$

[x = Th-এর নির্ণেয় ভর, N = অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা]

$$\therefore x = \frac{24.6 \times 231}{7.1 \times 10^8 \times 365 \times 24 \times 235}$$

$$= 3.888 \times 10^{-8} \text{ গ্রা.}$$

অনুশীলনী—3

1. 3.12 অংশ দেখে নিজে করুন।

   উত্তর হবে ঃ 6টি α ও 4টি β.

অনুশীলনী—4

1. 1.517×10^9 বছর।
2. এমন তো হতে পারে যে সংশ্লিষ্ট আকরিক পৃথিবী সৃষ্টি হওয়ার পরে কোনও সময়ে উল্কাপিণ্ডের সঙ্গে এসেছে। এক্ষেত্রে পৃথিবীর বয়স আকরিকের বয়সের বেশি হবে। তা হতে পারে কিন্তু আকরিকের বয়স পৃথিবীর বয়সের বেশি হতে পারে না।

অনুশীলনী—5

1. পশ্চাদ্‌পদ গণনা হার = $\frac{10770}{9} = 12$ সমসাময়িক কাঠের ক্ষেত্রে সি-পি-এম্।

   গণনা হার = $\frac{26.405}{200} = 132$ সি-পি-এম্।

   পরীক্ষাধীন বস্তুর ক্ষেত্রে গণনা হার = $\frac{10779}{400} = 27$ সি-পি-এম্।

$\therefore$ সমসাময়িক কাঠের ক্ষেত্রে শুধু গণনা হার = $132 - 12 = 120$ সি-পি-এম্।

এবং পরীক্ষাধীন বস্তুর ক্ষেত্রে শুদ্ধ গণনা হার = = $27 - 12 = 15$ সি-পি-এম্।

এখন $n_0 \propto 120, n \propto 15$

$$n = n_0 e^{-\lambda t} \text{ বা, } \ln \frac{n}{n_0} = -\lambda t \text{ বা, } \ln \frac{n_0}{n} = \lambda t$$

$$\therefore t = \frac{1}{\lambda} \times 2.303 \times \log \frac{120}{15}$$

$$= \frac{t_{1/2}}{0.693} \times 2.303 \times 0.9031$$

$$= \frac{5579 \times 2.303 \times 0.9031}{0.693} = 16720$$

$\therefore$ নির্ণেয় বয়স 16720 বছর।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. (a) ${}^{0}_{+1}e$ $\left\{\text{or } {}^{0}_{+1}\beta\right\}$, (b) ${}^{2}_{1}H$, (c) ${}^{4}_{2}H$, (d) ${}^{130}_{54}ICl_4$

2. রাসায়নিক সাম্যাবস্থা শর্তাধীনে প্রভাবিত হতে পারে। তেজস্ক্রিয় সাম্যবস্থা পারে না। (বিস্তারিত বলুন)

3. 3.3 অংশ দেখে লিখুন।

4. 3.5 অংশ দেখুন।

5. 3.5 অংশ ও 3.10 অংশের সমন্বয়ে উত্তর লিখুন।

6. 3.6 ও 3.7 অংশ দেখুন।

7. 3.8 অংশ দেখুন।

8. 3.12 অংশ দেখুন।

9. 3.13 অংশ দেখুন।

10. পাঠ্যাংশ দেখুন।

11. 3.15-র (B) অংশ দেখুন।

12. 3.16.2 অংশ দেখুন।

13. 1 ক্যুরী = 3.7×10^{10} ডি.পি.এস্

মনে করা যাক x গ্রা. ${}^{214}Bi$ = 1 ক্যুরী।

$$\therefore \quad 3.7\times10^{10} = -\frac{dn}{dt} = \lambda n = \frac{0.693\times6.02\times10^{23}\times x}{19.7\times60\times214}$$

$$\therefore \quad x = \frac{3.7\times10^{10}\times19.7\times60\times214}{0.693\times6.02\times10^{23}} = 2.24\times10^{-8} \text{ গ্রা.}$$

$$\therefore \quad \text{আপেক্ষিক তেজস্ক্রিয়তা} = \frac{1}{2.24\times10^{-8}} = 0.4457\times10^{8}$$

$$= 4.457\times10^{7} \text{ ক্যুরী গ্রাম}^{-1}$$

14. $n_0 \propto 47.5$ এখন, $n = n_0e^{-\lambda t}$

$n \propto 2.7$

গণনা করলে λ হবে 0.113 মি$^{-1}$

$= t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = 6.13$ মি.

15. $n = n_0 e^{-\lambda t}$ সূত্র ব্যবহার করুন। উত্তর হবে 0.01316 মিলিগ্রাম।

16. পাঠ্যাংশ দেখুন। উত্তর হবে 1.54×10^9 বছর।

17. $^{208}_{82}Pb$

18. $t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$ সূত্র ব্যবহার করে $\lambda = 6.93\lambda\ 10^{-3}$ সে$^{-1}$

$n = n_0 e^{-\lambda t}$ সূত্র ব্যবহার করে নির্ণেয় সময় 11.08 মি।

19. নিজে চেষ্টা করুন $n_0\ \alpha_1$ উত্তর হবে 1.1297×10^{-23}

20. (i) লক্ষ্য করুন $n_0 \propto 1$ গ্রাম, $n \propto (1 - 0.01)$ গ্রাম

উত্তর 0.2853 দিন।

(ii) $n_0 \propto 1$ গ্রাম $n \propto 0.01$ গ্রা. উত্তর হবে 1.296 দিন।

21. আগে λ বের করে লিখ। $\lambda = 0.000\ 2027$ সে$^{-1}$

তারপর $n = n_0 e^{-\lambda t}$ ব্যবহার করে $t = 22.7272 \times 10^3$ সে.

[মিনিট / ঘণ্টায়ও বের করতে পারেন।]

22. উত্তর হবে 1.06×10^{-12} গ্রা.

একক 4 □ আলফা রশ্মি

গঠন

4.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

4.2 α-কণারা আধান ও ভর

4.3 α-কণার স্বরূপ নির্ধারণ

4.4 α-কণা বিকিরণ থেকে অ্যাভোগেড্রোর-সংখ্যা নির্ণয়

4.5 α-কণার পাল্লা : গাইগার নাটাল নিয়ম

4.6 α-কণার শক্তি বর্ণালী

4.7 α-সক্রিয় কেন্দ্রেককসমূহ

4.8 α-কণার বিক্ষেপ : রাদারফোর্ড তত্ত্ব

4.9 সারাংশ

4.10 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

4.11 উত্তরমালা

4.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা : আপনারা আগের এককে স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তার বিভিন্ন দিক সম্বন্ধে অবহিত হয়েছেন। লক্ষ করেছেন নিশ্চয়ই যে তেজস্ক্রিয় বিকিরনের মধ্যে তিন ধরনের রশ্মি আছে—α, β, γ। α-রশ্মি ধনাত্মক আধান যুক্ত, β-ঋণাত্মক ও γ-তড়িৎ-নিষ্ক্রিয়। চৌম্বক ও তড়িৎ ক্ষেত্রে দিক্-চ্যুতি দিয়ে এই আধানগ্রস্ততা বোঝা যায়। বর্তমান এককে আমরা এই α-রশ্মির বিভিন্ন দিক আলোচনা করব।

উদ্দেশ্য : আগেই বলা হয়েছে যে এই এককে আমরা α-রশ্মির উপর বিশদতর আলোচনা করব। এই এককটি পাঠ ও আলোচনা করে আপনারা বুঝতে পারবেন :

- α-কণার আধান ও ভর কত।
- α-কণার পরিচয় অর্থাৎ এটি যে He_0^{2+} তা, কীভাবে α-বিকিরণের সাহায্য নিয়ে অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা নির্ণয় করা হয়েছে।

- α-কণার বিভিন্ন ধর্ম।
- α-সক্রিয় কেন্দ্রকের বৈশিষ্ট্য।

4.2 α-কণার আধান (charge) ও ভর (mass)

চৌম্বক এবং / বা তড়িৎক্ষেত্র দিকচ্যুতি দিয়ে বোঝা গেল যে α-কণা ধনাত্মক আধান যুক্ত। আপনারা জানেন এ ধরনের কণা (e, p ইত্যাদি)-র আপেক্ষিক আধান (e/m) ও আধান নির্ণয়ের জন্য যথাক্রমে টমসন্ ও মিলিকান (মিলিকানের তৈল বিন্দু পরীক্ষা)-এর পরীক্ষা আছে। রাদারফোর্ড ও পরবর্তী গবেষকরা (e/m)-এর মান একাধিকবার পরীক্ষা করেন। শুদ্ধতম মান দেখা গেল 4.813×10^3 ই-এম্-ইউ গ্রা$^{-1}$ α-কণার উৎস নিরপেক্ষ এই মান। এখন ফ্যারাডের সূত্র থেকে পাওয়া যায় ঃ $(e/m)_{H^+} = 9.649\times10^3$ ই-এম্-ইউ গ্রা$^{-1}$।

এ থেকে পরিষ্কার যে যদি α-কণার আধান H^+ (প্রোটন)-এর সমান হলে ভর হবে H^+-এর ভরের দ্বিগুণ, আর যদি আধান H^+-এর দ্বিগুণ হয় তবে ভর হবে H^+-এর ভরের চার গুণ। [রাদারফোর্ড এবং গাইগার প্রথমে এক সেকেন্ডে বহির্গত α-কণা সংখ্যা বার করলেন, আর বের করলেন তাদের মোট আধান। এ থেকেই কণা পিছু আধান পাওয়া গেল।] দেখা গেল আধানের পরিমাণ 9.3×10^{10} ই-এম্-ইউ। কাজে α-কণার আধান দুই একক, এবং ভর হবে প্রোটনের 4 গুণ। অন্যভাবে বলা যায় যে, α-কণা প্রকৃতপক্ষে দ্বি-আধানযুক্ত হিলিয়াম পরমাণু He^{2+}।

4.3 α-কণার স্বরূপ নির্ধারণ (Determination of identity of α-particle)

α-কণা যে প্রকৃতপক্ষে He^{2+}, তার প্রত্যক্ষ প্রমাণ পাওয়া যায় রাদারফোর্ড (Rutherford) ও রয়েড (Royd)-এর (চিত্র 4.1) পরীক্ষায়। একটি পাতলা কাচের নল A-র মধ্যে α-কণার উৎস হিসাবে Rn^{222} গ্যাস নেওয়া হল। A-নলটি একটি বাইরের নল (T) দিয়ে আবরিত, T-র সঙ্গে সংযুক্ত একটি বর্ণালী নল S (spectrum tube)। T-র মধ্য দিয়ে তড়িৎ-মোক্ষম প্রবেশ করানো যায়। শুরুতে T-কে শুন্য করে ফেলা হয়, কয়েক দিন পরে এর মধ্যে জমা হওয়া গ্যাস পারদ স্তম্ভের উন্নীতকরণের মাধ্যমে S-এর প্রবেশ করানো হয়। তড়িৎ মোক্ষম পাঠিয়ে He-বর্ণালী দেখা গেল। সাধারণ হিলিয়াম দিয়ে নল পূর্ণ করে দেখা গেল পাতলা কাচের দেয়াল দিয়ে এতটুকুও হিলিয়াম নির্গত হচ্ছে না। কিন্তু α-কণার উচ্চ গতিবেগ সম্পন্ন বলে পাতলা কাচ ভেদ-করে যেতে পারে।

চিত্র : 4.1

4.4 অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা নির্ণয়

বিঘটনের মাধ্যমে উদ্ভূত α-কণা আধানযুক্ত হয়ে বছরে প্রতি গ্রাম রেডিয়াম প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায়, 0.043 মিলি হিলিয়াম উৎপন্ন হয় (এই হিসাবে অপত্য মৌলসমূহ থেকে নির্গত α-কণা বাদ দেওয়া হয়েছে—নতুবা গণনায় ভুল হত)। ঐ সময়ে নির্গত α-কণার সংখ্যা 11.6×10^7। যেহেতু একটি α-কণা থেকে একটি পরমাণু He উৎপন্ন হচ্ছে, তাই বলা যায় ঃ

এস্-টি-পিতে 0.043 মিলি He গ্যাসে পরমাণু (অণু)-র সংখ্যা 11.6×10^7

$\therefore$,, 22400 মিলি ,, ,, ,, ,, ,, $\frac{11.6\times10^7\times22400}{0.043}=6.04\times10^{23}$

$\therefore$ অ্যাভোগেড্রো সংখ্যার মান 6.04×10^{23}

4.5 α-কণার পাল্লা (range)

α-কণার গতিবেগ (পরে দেখুন) $1.4-2.0\times10^9$ সেমি সে$^{-1}$ অর্থাৎ আলোর গতিবেগের $\frac{1}{15}-\frac{1}{20}$ অংশ। এই প্রাথমিক গতিবেগ উৎসের উপর নির্ভর করে। কিন্তু একই উৎস থেকে উৎক্ষিপ্ত সব কণার গতিবেগ অভিন্ন নয়। এই প্রাথমিক বেগ ও পাল্লা (বা পথসীমা) খুব সরল গাইগার সমীকরণ দিয়ে সম্পর্কিত ঃ

$v_0^3 = aR$ যেখানে, v_0 = গতিবেগ (সেমি সে$^{-1}$-এ)

R = বায়ুমাধ্যমে পাল্লা $a = 1.0 \times 10^{27}$ = ধ্রুবক

পাল্লা বা পথসীমা বলতে বোঝায় উৎস থেকে বায়ু মাধ্যমে সেই দূরত্ব যেখানে গিয়ে আয়নন বা স্ফুলিঙ্গায়ন (Scintillation) মূলের যে 40%-এ পর্যবসিত হয়।

চিত্র : 4.2

আবার পাল্লা নির্ভর করে মাধ্যমের প্রকৃতির উপর। কাজেই বলা হয় যে মাধ্যমের নিরোধ ক্ষমতা (stopping power)-র উপর α-কণার গতিবেগ নির্ভর করে। এই নিরোধ ক্ষমতা মৌলের পারমাণবিক ওজনের সঙ্গে বাড়ে (অর্থাৎ α-কণায় পাল্লা কমে)। মোটামুটি বলা যায় S (নিরোধ ক্ষমতা) $\propto \sqrt{Z}$ (z = পারমাণবিক সংখ্যা)।

α-কণায় পাল্লা মোটামুটি 2.8 — 10 সেমি. 0.01 মিমি পুরু অ্যালুমিনিয়াম পাত দিয়ে α-কণা আটকে দেওয়া সম্ভব। অবশ্য খুব পাতলা ধাতব পাত তারা ভেদ করে যেতে পারে কারণ পরমাণুর বেশির ভাগ অংশই ফাঁকা মোটামুটি 10,000-এ 1টি α-কণা 90-র বেশি কোণে বিচ্যুত হয়। (রাদারফোর্ডের বিচ্ছুরণ পরীক্ষা)। α-কণার বেশি ভর আছে বলে এদের যথেষ্ট গতিশক্তি আছে, এবং তারা যথেষ্ট আয়নন ক্ষমতা ধরে। এই কারণেই উইলসন মেঘকক্ষে তারা পরিষ্কার গতিপথ অঙ্কিত করে (চিত্র 4.2)। এই গতিপথের ছবি নিয়ে দেখা যায় যে তা নির্দিষ্ট পাল্লা সম্পন্ন সরলরেখায় চলে।

গাইগার নাটাল নিয়ম (Ceiger Nuttal Rule) ঃ গাইগার ও নাটাল পরীক্ষালব্ধ তথ্য থেকে তেজস্ক্রিয় পদার্থের বিঘটন ধ্রুবক বা গড় আয়ুষ্কালের সঙ্গে α-কণার পাল্লার একটি সম্পর্ক বের করেন। যদি $\log\lambda$-কে নির্দিষ্ট তেজস্ক্রিয় শ্রেণির মৌল সমূহের $\log R$ (R = পাল্লা)-এর সাপেক্ষে উপস্থাপন করা হয় তবে মোটামুটি একটি সরলরেখা পাওয়া যাবে (চিত্র 4.3)।

এভাবে, $\log\lambda = b + c\log R$ ..... (1)

তিনটি শ্রেণির জন্য b-সামান্য ভিন্ন হয়, কিন্তু c-র মান মোটামুটি স্থির। তাই দেখা যাচ্ছে যে তেজস্ক্রিয় মৌলের আয়ুষ্কাল যত কম হয়, পাল্লা তত বেশি হয় এবং উদ্‌গীর্ণ শক্তিও বেশি হয়। গাইগার নাটাল সমীকরণ (1) খুবই কাজের, কারণ এটি প্রয়োগ করে খুব বেশি বা কম আয়ুষ্কাল সম্পন্ন তেজস্ক্রিয় মৌলের থেকে নির্গত α-কণার পাল্লা বের করা হয়। আবার যেহেতু পাল্লা ও প্রাথমিক গতিবেগের সম্পর্ক

$$v_0^3 = aR \quad \therefore \log\lambda = b' + c'\log v_0 \text{ ।}$$

তাহলে আমরা তেজস্ক্রিয় মৌলের গড় আয়ুষ্কাল (বা বিঘটন ধ্রুবক) ও উদ্‌গীর্ণ α-কণার গতিবেগের মধ্যে একটি সম্পর্ক পাচ্ছি।

চিত্র : 4.3

তবে এক্ষেত্রে একটি কথা মনে রাখা উচিত যে বিভিন্ন উৎসের α-কণার পাল্লার সীমা কয়েক সে মিটার মাত্র হলেও অর্ধায়ুকাল বা গড় আয়ুষ্কাল বিরাট সীমার মধ্যে (10^{-6} সেকেন্ড বা তার চেয়েও কম থেকে 10^{7} বছর বা তার চেয়েও বেশি হতে পারে)। যেমন ঃ

মৌল	$t_{1/2}$	পাল্লা	প্রাথমিক গতিশক্তি
The' (Po)	3×10^{-7} সে.	8.57 সেমি.	8.95 এম্-ই-ভি
Th	1.39×10^{10} বছর	2.49 সেমি	4.06 এম্-ই-ভি

এও সত্যি যে গাইগার নাটাল নিয়ম খুব একটা ঠিক নয়। পরের দিকে আরও সঠিক নিয়ম আবিষ্কৃত হয়েছে।

4.6 α-কণার শক্তি-প্রণালী (α-particle Energy Spectum)

কোন কেন্দ্রেকক থেকে নির্গত α-রশ্মির শক্তি-বর্ণালীতে কয়েকটি এক-শক্তি (monoeragic) রেখা থাকে, এরা ঐ মূল কেন্দ্রকের বিঘটনের ফলে উদ্ভূত অপত্য কেন্দ্রক অনুযায়ী হয়ে থাকে। 4.4 চিত্রে $^{212}_{83}Bi$ -এর α-বিঘটন বর্ণালী দেখানো হল। বিঘটন জনিত সর্বোচ্চ শক্তির পরিমাণ ভর-হ্রাসের তুল্যপরিমাণ হয়ে থাকে ঃ

$$E = [m_p - (m_r + m_\alpha)]\ 931 \text{ মি-ই-ভি}$$

এখানে ঃ m_r = প্রতিক্ষিপ্ত (recoiling) অপত্য কেন্দ্রকের ভর,

m_p = মূল কেন্দ্রেককের ভর,

m_α = α-কণার ভর

এই শক্তি (E) প্রতিক্ষিপ্ত কেন্দ্রক ও α-কণার মধ্যে তাদের ভরের বিপরীত ভেদে গতিশক্তি রূপে বণ্টিত হয়। তাহলে $E = E_r + E_\alpha$ ..... (1)

এবং $E_r\ m_r = E_\alpha m_\alpha$ (রৈখিক ভরবেগের নিত্যতা সূত্রানুযায়ী)।

চিত্র 4.4 : $^{212}_{83}Bi$ -এর বিঘটন-বর্ণালী

m_α-র মান কম (4 পা. ভ. এ.), বিঘটন-শক্তির বেশির ভাগটাই α-কণার গতিশক্তি রূপে আবির্ভূত হয়।

অনুরূপে $^{232}_{90}Th \xrightarrow{-\alpha} {}^{228}_{88}Ra$ বিঘটনের ক্ষেত্রে $E = 4.07$ মি-ই-ভি α-কণার ও প্রতিক্ষিপ্ত কেন্দ্রকের গতিশক্তি যথাক্রমে 4.0 ও 0.07 মি-ই-ভি। এই তথ্য সমীকরণ (1) সমর্থন করে।

4.7 α-সক্রিয় কেন্দ্রেকক সমূহ (α-active nuclides)

α-বিঘটনে মূল কেন্দ্রক $^{A}_{Z}X_{A-Z}$ α-কণা $\left(\equiv {}^{4}_{2}He^{2+}\right)$ উদ্গীরণ করে ; উদ্ভূত অপত্য কেন্দ্রকের ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা যথাক্রমে 4 ও 2 একক কম হয় (ফ্যাজাঁ-সডির সূত্র) এবং এর অবস্থান পর্যায় সারণিতে মূল মৌলের দু-ঘর বাঁয়ে থাকে।

উদাহরণ : $^{A}_{Z}X \xrightarrow{-\alpha} {}^{A-4}_{Z-2}X'$

$$^{226}_{88}Ra \xrightarrow{-\alpha} {}^{222}_{86}Rn ; \; ^{238}_{92}Th \xrightarrow{-\alpha} {}^{234}_{90}Th$$

- প্রকৃতিতে অবস্থানকারী সবচেয়ে ভারি সুস্থিত কেন্দ্রেকক ^{208}Bi ; তাই $A \geq 210$ এবং $Z > 83$ হলে কেন্দ্রেকক সমূহ α-উদ্গীরণের মাধ্যমে বিঘটিত হয়। পর্যায় সারণির মধ্যস্থলে অবস্থিত কিছু সংখ্যক কেন্দ্রেকক (যেমন $^{144}_{60}Nd$, $^{147}_{62}Sm$, $^{152}_{64}Cd$, $^{174}_{72}Hf$, $^{190}_{78}Pt$) খুব মৃদু α-সক্রিয় এবং এদের অর্ধায়ুষ্কাল $10^{11} - 10^{15}$ বছর।

4.8 α-কণার বিক্ষেপ : রাদারফোর্ডের তত্ত্ব (Scattering of α-particles : Rutherford's theory)

রাদারফোর্ড α-কণার ভেদ্যতা নিয়ে নিরীক্ষা করছিলেন। 0.004 মিমি সোনার পাত নিয়ে দেখলেন যে বেশির ভাগ α-কণাই পাত ভেদ করে চলে যায় ওর সামান্য বিচ্যুত হয়। কিন্তু অবাক কান্ড। খানিকটা কৌতূহল নিবারণের উদ্দেশ্যে তিনি উৎসবের দিকে নিরীক্ষক যন্ত্র বসিয়ে দেখলেন যে মাঝে মাঝে এক একটি α-কণা গতিপথ থেকে বহুল পরিমাণে (কোন কোন ক্ষেত্রে 90^0-রও বেশি) বিক্ষিপ্ত হয়।

এই নিরীক্ষা থেকে রাদারফোর্ড (1911) অনুমান করেন যে পরমাণুর বেশিরভাগ অংশই ফাঁকা, আর এর কেন্দ্রস্থলে খুব সামান্য অংশ জুড়ে আছে ধনাত্মক আধানযুক্ত কেন্দ্রক। α-কণা এর খুব কাছ দিয়ে যাবার সময় এই বিন্দুসদৃশ গুরুভার কেন্দ্রকের সঙ্গে স্থিরতাড়িতিক বিকর্ষণ ঘটে, আর সেজন্যই তারা বেশিমাত্রার কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। গাণিতিক তথ্য থেকে দেখা গেল যে এই কেন্দ্রকের (গোলাকার β) ব্যাসার্ধ 10^{-10} সে. মি.। α-কণা এর খুব কাছে এলে এর উপর বিকর্ষণী বল ক্রিয়া করে কেবল পরমাণুর ধনাত্মক আধানের সেই অংশের জন্য— যা এর সংঘাত মাপের (impact parameter) সমান ব্যাসার্ধ সম্পন্ন গোলকের মধ্যে নিহিত থাকে। এই বল স্বাভাবিক ভাবেই খুব ক্ষীণ। এই পরীক্ষার জন্য রাদারফোর্ডের ব্যবহৃত যন্ত্র 4.5 চিত্রানুযায়ী ছিল।

চিত্র : 4.5

(s. α উৎস; c. কেন্দ্র; F. চমক উৎপাদক ব্যবস্থা সম্বলিত অণুবীক্ষণ যন্ত্র)

গণনায় দেখা যায় যে, প্রতি একক ক্ষেত্রফলে আপতিত α-কণার সংখ্যা I হলে, একটি মাত্র কেন্দ্রকের প্রভাবে উক্ত কণাটির θ কোণে প্রতি একক ঘন কোণের মধ্যে বিক্ষিপ্ত হবার সম্ভাব্যতা (probability of scateming), do / d Ω হবে ঃ

$$\frac{dQ}{d\Omega} = \left(\frac{Ze^2}{Mv^2}\right)^2 \operatorname{cosec}^2 \frac{v}{2}$$ (যেখানে Z পারমাণবিক সংখ্যা, M = α-কণার ভর, v = α-কণার বেগ)।

এই সমীকরণটিকে রাদারফোর্ডের বিক্ষেপণ সূত্র (Ratherford Scattering formula) বলা হয়।

গাইগার (H. Geiger) ও মার্সডেন (& Marsden)-এর পরীক্ষাগত প্রমাণ দেন।

4.9 সারাংশ

α-কণা দুই একক ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট হিলিয়াম পরমাণু। এর আধান প্রোটনের দ্বিগুণ এবং ভর চারগুণ। α-কণা পরিবেশে আধানমুক্ত হয়ে হিলিয়াম গ্যাস উৎপন্ন করে। এই গ্যাস সংগ্রহ করে এর আয়তন থেকে অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা নির্ণীত হতে পারে। বাতাসে α-কণার পাল্লা 2.8 — 10 সে.মি। এই পাল্লা α-র গতিবেগের উপর নির্ভরশীল। মাধ্যমের ঘনত্বও একে প্রভাবিত করে। 0.01 মিমি পুরু অ্যালুমিনিয়ামের পাত দিয়ে α-কণা প্রতিহত করা যায়। গাইগার-নাটালের সূত্র মোটামুটি গতিবেগ ও পাল্লার সম্পর্ক নির্দেশ করে ঃ

$$U_0^3 = aR \text{ বা } \log \lambda = b' + c' \log U_0$$

α-কণার শক্তি বর্ণালীতে কয়েকটি এক শক্তি রেখা থাকে, এরা ঐ মূল কেন্দ্রকের বিঘটনের ফলে উদ্ভূত অপত্য কেন্দ্রক অনুযায়ী হয়। পরমাণুর α-বিঘটনের ফলে উদ্ভূত অপত্য পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা মূলের 2-একক কম এবং ভর 4-একক কম হয়। এর অবস্থান পর্যায় সারণিতে মূল মৌলের দুই ঘর বাঁয়ে হবে। α-কণা খুব পাতলা সোনার পাতের মধ্য দিয়ে চলে যেতে পারে ; কিন্তু এবং সামান্য ভগ্নাংশ 90° বা তার বেশি কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। রাদারফোর্ডের নামাঙ্কিত এই α-কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষা থেকেই কেন্দ্রকের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।

4.10 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. α-কণার আধানও ভর আলোচনা করুন।
2. α-কণার আপেক্ষিক আধান ও আধানের পরিমাণ কত ?
3. α-কণা যে দ্বি-আধান যুক্ত হিলিয়াম পরমাণু (He^{2+}), তা কীভাবে প্রমাণ করা যায় ?
4. α-কণা বিঘটন পর্যবেক্ষণ করে কীভাবে অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা নির্ণয় করা সম্ভব দেখান। এক্ষেত্রে কী সতর্কতা অবলম্বন করতে হয় ?
5. α-কণার পাল্লা তার গতিবেগের সঙ্গে কীভাবে সম্পর্কিত আলোচনা করুন।
6. গাইগার-নাটাল নিয়ম কী ? এর ব্যাখ্যা ও প্রয়োগ দেখান।
7. α-কণার শক্তি-বর্ণালী আলোচনা করুন।
8. ইউরেনিয়ামের আকরিকে আবদ্ধ হিলিয়াম গ্যাসের অবস্থিতি কীভাবে ব্যাখ্যা করবেন ?

4.11 উত্তরমালা

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. 4.2 পাঠাংশ দেখুন।
2. $(e/m)_\alpha = 4.813 \times 10^3$ ই-এম্-ইউ গ্রা$^{-1}$; $e_\alpha = 9.3 \times 10^{10}$ ই-এস্-ইউ।
3. 4.3 পাঠ্যাংশ দেখুন।
4. 4.4 পাঠ্যাংশ দেখুন, নির্গত α-কণার সংখ্যা নির্ণয়ের সময়ের α-উদ্গীরণকারী অপত্যসমূহের থেকে নির্গত α-কণার জন্য উপযুক্ত সংশোধন করে নিতে হবে। উদাহরণ ঃ $U \xrightarrow{\alpha} Th \xrightarrow{\beta} Pa \xrightarrow{\beta} U \xrightarrow{\alpha} Th$
5. 4.5 পাঠ্যাংশ দেখুন।
6. 4.5 পাঠ্যাংশ দেখুন।
7. 4.6 পাঠ্যাংশ দেখুন।
8. U, α-কণা উদ্গীরণের মাধ্যমে বিঘটিত হয়। এর বিঘটন শ্রেণিভুক্ত অন্য আরও কিছু মৌল α-বিঘটক। এই α-কণা পরিবেশে থেকে e-সংগ্রহ করে নিস্তড়িৎ হয় এবং হিলিয়াম গ্যাসে পরিণত হয়। এই He বেরিয়ে আসতে পারে না এবং আকরিকে আবদ্ধ অবস্থায় থাকে।

একক 5 □ বিটা রশ্মি

গঠন

5.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

5.2 বিটা কণা আপেক্ষিক আধান ও প্রকৃতি স্বরূপ

5.3 β-বিঘটনের বিভিন্ন ধরণ

5.4 β-কণার গতিবেগ ও নিউট্রিনোর আবিষ্কার

5.5 β-কণার শোষণ ও পদার্থের মধ্যে তাদের পাল্লা

5.6 সারাংশ

5.7 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

5.8 উত্তরমালা

5.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ আপনারা 'তেজস্ক্রিয়তা' অধ্যায়ে β-কণা বা রশ্মির সাধারণ ধর্ম সম্বন্ধে অবহিত হয়েছেন। যেমন ঃ—

(i) এটি ঋণাত্মক আধান যুক্ত, আধান 1 একক।

(ii) এর ভর H-পরমাণুর ভরের $\frac{1}{1837}$ অংশ।

(iii) গড় গতিবেগ আলোর গতিবেগের $\frac{1}{10}$ অংশ, সর্বোচ্চ গতিবেগ $\frac{9}{10}$ অংশ।

(iv) এর ভেদ্যতা α-কণার চেয়ে বেশি।

(v) এর আয়নন-ক্ষমতা α-কণার চেয়ে কম।

এই অধ্যায়ে আমরা উক্ত ধর্মগুলির একটু বিস্তারিত আলোচনা করব এবং সেই প্রসঙ্গে নতুন কিছু তথ্যের অবতারণা করব।

উদ্দেশ্য ঃ এই এককটি পাঠ করে আপনারা—

- β-রশ্মি ধর্মাবলী সম্বন্ধে সম্যক অবহিত হবেন।

5.2 বিটা কণার আপেক্ষিক আধান, আধান ও স্বরূপ

মাদাম ক্যুরী প্রথম প্রমাণ করেন যে β-রশ্মি ঋণাত্মক আধান যুক্ত এবং এর ভেদ্যতা α-রশ্মির চেয়ে বেশি। বেকারেল দেখান যে এই কণাগুলি বিচ্যুতি (চৌম্বক ক্ষেত্রে) α থেকে অনেক বেশি, অর্থাৎ এদের ভর α-কণার চেয়ে অনেক কম। বেকারেল আরও দুটি জিনিস লক্ষ করেন ঃ

(i) এদের $\frac{e}{m}$ মান থেকে বোঝা যায় যে এরা আসলে ইলেকট্রন।

(ii) বিভিন্ন উৎস থেকে নির্গত β-কণাগুলির গতিবেগই শুধু বিভিন্ন নয়, একই উৎস থেকে নির্গত β-কণাগুলির গতিবেগও বিভিন্ন।

β-কণার আপেক্ষিক আধান $\left(\frac{e}{m}\right)$ সর্বপ্রথম সঠিকভাবে নির্ণয় করেন কাউফ্‌ম্যান (Kaufmenn, 1901), তিনি চিত্র 5.1-এ প্রদর্শিত যন্ত্র-ব্যবস্থা ব্যবহার করেন।

চিত্র ঃ 5.1

A-একটি খুব কম বায়ুচাপ সম্পন্ন বদ্ধ আধার ; এর মধ্যে স্বল্প পরিমাণ β-উৎস (Q) থাকে। β-কণাগুলি খুব কাছে রক্ষিত দুটি সমান্তরাল ধাতব প্লেট (P_1, P_2)-এর মধ্যবর্তী স্থানে প্রবেশ করে। এখান থেকে কণাগুলি D পর্দার (diaphragm) মধ্যে দিয়ে ফোটোগ্রাফিক প্লেট P-র উপর আপতিত হয়। এই সমস্ত বর্ণিত যন্ত্র সমবায় চুম্বকের মেরুদ্বয় N.S.-এর মধ্যে রক্ষিত। চৌম্বক ক্ষেত্র B, β-কণার গতিপথের অভিলম্ব অভিমুখে ক্রিয়াশীল। P_1, P_2 পাত দুটির মধ্য দিয়ে কয়েক হাজার পর্যন্ত বিভব বৈষম্য প্রযুক্ত হয়ে চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল একটি তড়িৎক্ষেত্র উৎপন্ন করে। B চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে β-কণার বিচ্যুতি (e = আধান, m = ভর, v = গতিবেগ)-র সমানুপাতিক অপরদিকে তড়িৎক্ষেত্র X-এর প্রভাবে বিচ্যুতি $\propto \frac{e}{mv^2}$, এই দুই ধরনের বিচ্যুতি

পরস্পরের লম্ব অভিমুখে ঘটে। কাওফ ম্যান লক্ষ করেন যে একই $\frac{e}{m}$ কিন্তু বিভিন্ন গতিবেগ সম্পন্ন β-কণাগুলি একটি অধিবৃত্ত গঠন করে (চিত্র 5.2)। এ থেকে প্রমাণ হয় যে উৎস অভিন্ন থাকলেও β-কণাসমূহের গতিবেগ অভিন্ন হয় না। এদের গতিবেগ একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে বন্টিত থাকে। চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ উল্টে দিয়ে তিনি অর্ধপাশে আরেকটি অধিবৃত্ত পান (চিত্র 5.2)। এই দুটি রেখার অনুরূপ বিন্দুগুলির মধ্যেকার দূরত্ব মেপে তিনি বিভিন্ন বেগ সম্পন্ন β-কণার $\frac{e}{m}$ নির্ণয় করা হয়।

একটা বিষয় কাউফম্যানকে আকৃষ্ট করে। তিনি লক্ষ করেন যে মন্থরগতি β-কণার ক্ষেত্রে $\frac{e}{m}$-এর মান ইলেকট্রনের $\frac{e}{m}$-এর মানের প্রায় সমান, কিন্তু দ্রুতগতি β-কণার ক্ষেত্রে এই মান ইলেকট্রনের চেয়ে কম হয়। তিনি আরও লক্ষ করেন যে এইসব দ্রুতগতি β-কণার পরিচায়ক অংশটি ঠিক অধিবৃত্তাকার হয় না (চিত্র 5.2)। বেগের সঙ্গে $\frac{e}{m}$-এর পরিবর্তন আইন-স্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিকতাবাদ তত্ত্ব দিয়ে ব্যাখ্যাগত হতে পারে।

পরবর্তীকালে বুচারের (A. H. Bucherer, 1908), এম্-এম রজার্স (M.M. Rogers), ম্যাক রেনলড্স (A. N. Reynolds), এফ এফ্-টি রজার্স (F.T. Rogers)-এর পরীক্ষায়, সঠিকতর ভাবে β-কণার $\frac{e}{m}$ নির্ণীত হয়েছে।

এই সমস্ত পরীক্ষা থেকে অবিসংবাদিতভাবে প্রমাণিত হয়েছে যে β-কণা এবং ইলেকট্রন অভিন্ন।

চিত্র ঃ 5.2

5.3 β-বিঘটনের বিভিন্ন ধরন (Types of β-dceay)

তিন ধরনের β-বিঘটন ঘটতে পারে। এরা হল, β^-(ইলেকট্রন), β^+ (পজিট্রন)— বিঘটন ইলেকট্রন অধিকগ্রহণ (Electron capture, EC).

(a) **β^--বিঘটন** ঃ এই ধরনের তেজস্ক্রিয়তায় মূল কেন্দ্রকের একটি নিউট্রন প্রোটনে রূপান্তরিত হয়, এবং এই পদ্ধতিতে একটি β^- এবং একটি অ্যান্টিনিউট্রিনো নির্গত হয়। অ্যান্টিনিউট্রিনো নিউট্রিনোর প্রতি-কণা (antiparticle), কৌণিক ভরবেগ ভেক্টরের সাপেক্ষে এর ঘূর্ণন-অবস্থা ভিন্ন।

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

এভাবে উৎপন্ন অপত্য কেন্দ্রক পর্যায় সারণিতে মূল মৌলের একঘর ডানদিকে অবস্থিত মৌলের হয়ে থাকে। যেমন ধরুন ঃ

$$^{23}_{11}Na \xrightarrow[15.03]{} {}^{23}_{12}Mg + \beta^- + \bar{\nu}$$

(সুস্থিত)

$$^{32}_{15}P \xrightarrow[12.28\ \text{দি.}]{} {}^{32}_{16}S + \beta^- + \bar{\nu}$$

(সুস্থিত)

সমস্ত কৈন্দ্রেকক গোষ্ঠীতে, প্রকৃতিতে প্রাপ্ত ভারী কেন্দ্রক এবং ভারী মৌলের বিভাজনের ফলে উদ্ভূত মৌলসমূহের এই ধর্ম দেখা যায়।

(b) β^+ **বিঘটন** ঃ এক্ষেত্রে মূল মৌলের কেন্দ্রকের একটি প্রোটিন নিউট্রনে রূপান্তরিত হয়— ফলে পজিট্রন ও নিউট্রিনো নির্গত হয় ঃ

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

অপত্য কেন্দ্রক পর্যায় সারণিতে মূল মৌলের এক ঘর বামে অবস্থিত মৌলের হয়ে থাকে। উদাহরণ ঃ

$$^{22}_{11}Na \xrightarrow[2.62]{} {}^{22}_{10}Ne + \beta^+ + \nu$$

(সুস্থিত)

$$^{45}_{22}Ti \xrightarrow[2.08\ \text{ব.}]{} {}^{45}_{21}Sc + \beta^+ + \nu$$

(সুস্থিত)

(c) ইলেকট্রন অধিগ্রহণ ঃ মূল-অপত্য সম্পর্ক বিবেচনা করলে এই ইলেকট্রন অধিগ্রহণ B^+ বিঘটনের অনুরূপ, কারণ উভয় ক্ষেত্রেই প্রোটন নিউট্রনে রূপান্তরিত হয় এবং অপত্য-কেন্দ্রক বিশিষ্ট মৌল পর্যায় সারণিতে এক ঘর বামে অবস্থিত হয়ে থাকে। পার্থক্য শুধু এই যে (নাম থেকে স্পষ্ট হয়) পরমাণুর বাইরের কক্ষ— সাধারণতঃ K — থেকে (অল্পতর ক্ষেত্রে L কক্ষ থেকেও) ইলেকট্রন উত্তেজিত কেন্দ্রকে অধিগৃহীত (captured) হয় এবং ফলে প্রোটন নিউট্রনে রূপান্তরিত হয়।

$$p + e\,(\text{বাইরের কক্ষ থেকে}) \rightarrow n + \nu$$

উদাহরণ ঃ $^{55}_{26}Fe \xrightarrow[2.6\ \text{ব.}]{EC} {}^{55}_{25}Mn$ (সুস্থিত) + ν

$$^{131}_{56}Ba \xrightarrow[12.0\ \text{দি.}]{EC} {}^{131}_{55}Cs + \nu \xrightarrow[9.7]{EC} {}^{131}_{54}Xe + \nu \quad (\text{সুস্থিত})$$

$$^{188}_{78}Pt \xrightarrow[10.2\ \text{দি.}]{} {}^{188}_{77}Lr + \nu$$

বাইরের ইলেকট্রন সমূহ (সংখ্যায় এখন একটি কম) নিউক্লীয় আধানকে (যার মান ও এক একক কম) প্রশমিত করে। ইলেকট্রন অধিগ্রহণের ফলে আর কোনও পরিবর্তন হয় না। অবশ্য পরবর্তী ধাপে X-রশ্মি বিকিরণের মাধ্যমে কেন্দ্রক সুস্থিতি অর্জন করে।

5.4 β-কণার বেগ ও নিউট্রিনোর আবিষ্কার (velocity of β-particles and discovery of neutrino)

আপনারা জেনে গেছেন যে বিভিন্ন উৎস থেকে নির্গত β-রশ্মির গতিবেগ তো বিভিন্ন বটেই, এমন কী একই উৎস থেকে নির্গত β-কণার গতিবেগও অভিন্ন হয় না। কোনো উৎস থেকে নিঃসৃত β-কণার গতিশক্তি নিরবচ্ছিন্নভাবে বণ্টিত হয়। β-কণার গতিশক্তি নিম্নমানের থেকে সব থেকে বেশী মানের মধ্যে যে কোনো মানের হতে পারে। এই সমস্যা শক্তির নিত্যতা সূত্রের পরিপন্থী। এই সমস্যা, ঘূর্ণন এবং পরিসংখ্যান সম্বন্ধীয় সমস্যা অন্তর্হিত হয়, যদি β-কণার সঙ্গে জড়িত কোন কণার অস্তিত্ব থাকে ; এরূপ কণার আধান, ভর এবং চৌম্বক ভ্রামক থাকবে না ; ঘূর্ণন হবে $\frac{1}{2}h$ এবং তা ফার্মি-ডিরাক পরিসংখ্যান মেনে চলবে।

পরবর্তীকালে এরূপ কণা নিউট্রিনো আবিষ্কৃত হল। তবে উপরে বর্ণিত নিউট্রিনো-কণার অদ্ভুত ধর্মগুলি এর সরাসরি আবিষ্কার প্রায় অসম্ভব করে তুলেছিল ; তদুপরি পদার্থের সঙ্গে এর মিথস্ক্রিয়ার প্রস্থচ্ছেদ (cross section of interation) খুবই কম ($\sim 10^{-45}$ মি^{2})। 1931-এ বিজ্ঞানী পাউলি এর অস্তিত্বের প্রস্তাব করেন ও পরে ফের্মি (Enrico Fermi, 1934) তাত্ত্বিকভাবে β-বিঘটনে ইলেকট্রনের অবিচ্ছিন্ন শক্তি বন্টন নিউট্রিনোর সাহায্যের ব্যাখ্যা করেন। বিঘটনের মোট শক্তি ইলেকট্রন ও নিউট্রিনোর মধ্যে বন্টিত হয়। 1953-র আগে কোন পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ ছিল না। ঐ বছর কাওয়ান G. L. Cowan Jr) ও রাইন্‌স্ (F. Reines) নিউট্রিনোর অস্তিত্বের প্রমাণ দিলেন।

পাউলির পরিকল্পিত বিক্রিয়া $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ .....(1) যদি সত্য হয় তবে এর বিপরীত বিক্রিয়া $p + \bar{\nu} \rightarrow n + e^+$ — .....(2) ও সত্য হবে। তাহলে আমাদের যা করতে হবে তা হল ঃ (i) বেশি ঘনত্বের (flux) p ও n -কে কাছাকাছি আনতে হবে, আর (ii) সহজে সনাক্ত করা যায় এমন p ও n উৎপাদনের ব্যবস্থা করা।

কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ক (nuclear reactor)-এ সব সময় প্রচুর সংখ্যক নিউক্লীয় বিভাজন ঘটছে, প্রত্যেক বিঘটনে β-বিঘটনের শৃঙ্খল সংশ্লিষ্ট থাকে। এ থেকে উঁচু ফ্লাক্সে প্রতি-নিউট্রিনো (antineutrino) পাওয়া যাবে, আর জলে থাকবে প্রচুর প্রোটন।

যন্ত্র সজ্জা নিম্নরূপ (চিত্র ঃ (5.3)

* ট্রাইইথাইল বেঞ্জিনে টারফিনাইলের দ্রবণ (5gl^{-1})

চিত্র : 5.3

বিক্রিয়ক থেকে পাওয়া প্রতি-নিউট্রিনোগুচ্ছ জলপূর্ণ একটি বিশাল জলাধারে (A) প্রবেশ করে। জলে দ্রবীভূত থাকে কিছু পরিমাণ ক্যাডমিয়াম ক্লোরাইড ($CdCl_2$) দ্রবণ। জলাধারের দুই পাশে আরও দুটি বড় জলাধার (B) থাকে। এ দুটিতে থাকে তরল চমক-উৎপাদক (liquid scintilator), পোপোপ (Popop) এবং এদের অপর প্রান্তে বিন্যস্ত থাকে বহু সংখ্যক আলোক-তাড়িতিক পরিবর্ধক কোষ (photo electric multiplier cells)।

জলাধারের মধ্যে সৃষ্ট প্রতি-নিউট্রিনো প্রোটন কর্তৃক, শোষিত হবে [প্রক্রিয়া (2)]। পজিট্রনের আয়ুষ্কাল হ্রস্ব ; তাই এটি প্রায় তৎক্ষণাৎ (10^{-10} সে. এর মধ্যে) পদার্থের মধ্যস্থিত ইলেকট্রনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং পরস্পরের মধ্যে বিলয়ন (annihilaba) ঘটে, ফলে দুটো গামা-ফোটন উৎপন্ন হয় ; এদের প্রত্যেকের শক্তি 0.51 মি-ই-ভো এবং অভিমুখ পরস্পরের বিপরীত।

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$$

(0.51 (0.51) (মি-ই-ভো)

এটি হল প্রথম প্রক্রিয়া।

(1) নং বিক্রিয়ার উৎপন্ন অপর কণা নিউট্রন। এটি জলীয় অণুর সঙ্গে যথেষ্ট সময় ধরে। এটি জলীয় পরপর সংঘর্ষে মন্থর হয়ে পড়ে। পরিশেষে এই মন্থরীভূত নিউট্রন ক্যাডমিয়াম পরমাণুর দ্বারা অধিগৃহীত হয় এই প্রক্রিয়ার প্রস্থচ্ছেদ খুবই বেশি। এর ফলে উৎপন্ন $^{114}Cd^*$ ভূমি স্তরে প্রত্যাবর্তন কালে মোট মি-ই-ভো শক্তি সম্পন্ন কয়টি γ-ফোটন উৎপন্ন করে।

$$^{113}Cd(n, \gamma)\ ^{114}Cd^* \rightarrow {}^{14}Cd + \gamma + \gamma + \ldots\ldots\ldots + \gamma$$

9 মি-ই-ভো

এই সব ফোটনের নির্গমন হচ্ছে দ্বিতীয় প্রক্রিয়া এই γ-ফোটনগুলিও বল চমক উৎপাদকের মধ্যে শোষিত হয়ে যে চমক (scintillation) তৈরি করে তা থেকে একটি তড়িৎ ঝলক (pulse) সৃষ্ট হয়। এরা পরিবর্ধিত আকারে কম্পন বীক্ষণ যন্ত্রের পর্দার উপর নির্দেশিত হয়। দুটি তড়িৎ ঝলকের মধ্যে ব্যবধান থাকে 5.5μ সে. বিশেষ ইলেকট্রনিক পদ্ধতিতে এই যুগ্ম তড়িৎ-ঝলক উৎপাদনের হার গণনা করাযায়। রাস্ও কাওয়ানের পরীক্ষায় ঘণ্টায়—2.88টি এরকম যুগ্ম-ঝলক উৎপন্ন হয়। এই সংখ্যা প্রোটন, কর্তৃক প্রতি-নিউট্রিনোর শোষণের সম্ভাব্যতার সঙ্গে সম্পূর্ণ সংগতিপূর্ণ। এ থেকেই নিউট্রিনো সনাক্ত করা গেল।

এই নিউট্রিনোর উপস্থিতির জন্যই অভিন্ন উৎস থেকে প্রাপ্ত β-কণার গতিবেগ বিভিন্ন। দ্রুতগতি β-কণার সঙ্গে জড়িত থাকে শ্লথগতি নিউট্রিনো এবং শ্লথগতি β-কণার সঙ্গে জড়িত থাকে দ্রুতগতি নিউট্রিনো।

5.5 β-কণার শোষণ ও পদার্থের মধ্যে তাদের পাল্লা (The absorption of β-particles and their range through matter)

আপনারা জেনেই গেছেন যে β-কণা α-কণার প্রায় 100 গুণ বেশি ভেদ্যতা সম্পন্ন এবং এদের আয়নন ক্ষমতা আবার α-তুলনায় কম। এদের শোষণ অপেক্ষাকৃত ঘনতর মাধ্যমে (যেমন অ্যালুমিনিয়াম) পরীক্ষিত হয়েছে। β-কণার এই শোষণের ধরন এবং শক্তি-পাল্লা সম্পর্ক নির্ভর করে কণাসমূহ। অভিন্ন বা বিভিন্ন শক্তির—তার উপর। নিচে আমরা এই দুটি ক্ষেত্র পৃথক পৃথক বর্ণনা করলাম।

(a) নিরবচ্ছিন্ন শক্তির β-কণা সমূহ (β-particle of Energy Continuum).

পদার্থের মধ্য দিয়ে সঞ্চরণশীল নির্দিষ্ট বিস্তারের শক্তি সম্পন্ন β-কণা সমূহের সংখ্যা মোটামুটি সূচকীয় হারে (exponentially) কমে ঃ

$$N_x = N_0 \exp(-\mu x) \text{ ..... } (1)$$

এখানে N_a ও N_x যথাক্রমে পদার্থের মধ্যে শূন্য ও x দূরত্বে β-কণার সংখ্যা ; আর μ হচ্ছে β-কণার সংখ্যার সরল (linear) শোষণ সহগ (absorption co-efficient)। বেধ আরও সহজভাবে শোষকের পৃষ্ঠ ঘনত্ব (surface density)-র (একক ক্ষেত্রফলের ভর) মাধ্যমে প্রকাশ করা যায় (একক হবে মিগ্রা সেমি$^{-2}$)। এভাবে প্রকাশের সুবিধা হল (1) সহজে নিরূপণ সম্ভব এবং (2) পাল্লা বা অতিক্রান্ত দূরত্ব শোষকের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল নয়। এর আবার কারণ এই যে, শোষক মাধ্যমের পরমাণুর ইলেকট্রনের সঙ্গে সংঘর্ষের উপর অর্থাৎ একক ভরে উপস্থিত ইলেট্রনের সংখ্যার উপর বা মাধ্যমের Z/A মানের উপর β-কণার পাল্লা নির্ভর করে। Z/A পদার্থের বিভিন্নতা অনুযায়ী খুবই সামান্যই পরিবর্তিত হয়। যেমন ধরা যেতে পারে হাল্কা ধাতু Al থেকে ভারি An পর্যন্ত অংশে Z/A পরিবর্তিত হয় 0.48 থেকে 0.40 পর্যন্ত আর মি-ই-ভো-এর β-কণার পাল্লার পরিবর্তন ঘটে 400 – 500 মিগ্রা সেমি$^{-2}$।

(b) এক শক্তি (monoergic β-particles) ঃ মিশ্র শক্তি সম্পন্ন β-কণার ক্ষেত্রে মাধ্যমের বেধের সঙ্গে শোষণের পরিবর্তন সূচকীয় নিয়ম অনুযায়ী হয়। কিন্তু 0.2 মি-ই-ভো এর বেশি শক্তিসম্পন্ন একশক্তি β-কণার ক্ষেত্রে মোটামুটি সরলরৈখিক। বেধ-অক্ষের সরলরৈখিক অংশের ছেদতাংশ থেকে কার্যকরী পাল্লা (effective range) পাওয়া যায়। তবে মনে রাখতে হবে যে রশ্মির β-কণাগুলি আরম্ভে একশক্তি হলেও শোষক মাধ্যমে পরমাণুর ইলেকট্রনের সঙ্গে ক্রমাগত সংঘর্ষে এদের শক্তি বিভিন্ন ভগ্নাংশে হ্রাস পেতে থাকে। একে বলা হয় বিক্ষেপণ প্রভাব (straggling effect)। এক্ষেত্রে তাই পাল্লার একটি নির্দিষ্ট সংজ্ঞা পাওয়া যায়। অ্যালুমিনিয়ামের ক্ষেত্রে কাজে (E. Katz) এবং পেনফোল্ড্ (A. S.Penfold) প্রদত্ত পাল্লা-শক্তি সম্পর্ক নিম্নরূপ ঃ

$$R = 412E_0^{(1.265-0.0954 \ln E_0)} ; E_0 < 2.5 \text{ মি-ই-ভো}$$

$\therefore$ $R = 530E_0 - 106 : E_0 > 2.5$ মি-ই-ভো

এখানে পাল্লা R মিগা সেমি$^{-2}$ তে প্রকাশিত এবং E_0 প্রান্তবিন্দু (end point) শক্তি মি-ই-ভো-এ প্রকাশিত।

(c) ফেদার (N Feather) উপস্থাপন (Plot) থেকে β-কণার সর্বোচ্চ পাল্লা ঃ এটি এমন একটি পদ্ধতি— যা দিয়ে β-কণার সর্বোচ্চ পাল্লা এবং প্রান্ত-বিন্দু শক্তি নির্ণয় করা সম্ভব।

এ-ক্ষেত্রে মূল স্বীকার হল এই যে ঃ শোষকের অবর্তমানে মোট β-কণা ফ্লাক্সের নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ (0.2, 0.5...) সংগ্রহ করতে প্রয়োজনীয় মাধ্যমের বেধ শোষকের মধ্যে β রশ্মির সর্বোচ্চ পাল্লার সমানুপাতিক। ধরাযাক দুটি বিভিন্ন মাধ্যমের বিশুদ্ধ β-রশ্মির সর্বোচ্চ পাল্লা R_1 ও R_2 (মিগ্রা সেমি$^{-2}$) এবং একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশে একে পরিবর্তিত করতে প্রয়োজনীয় মেধ যথাক্রমে t_1 ও t_2 (মিগরা সেমি$^{-2}$); তাহলে $\frac{R_1}{R_2} = \frac{t_1}{t_2}$

প্রকৃত ক্ষেত্রে দুটি উৎসের ক্ষেত্রে বিভিন্ন ভগ্নাংশে হ্রাসপ্রাপ্ত হতে প্রয়োজনীয় বেধের মান বের করে নেওয়া হয় ; এদের মধ্যে একটি উৎস প্রমাণ। এই বার লেখচিত্রে উপস্থাপিত করে সম্পূর্ণ অবলুপ্তি (attenuation, 1 বা 100%) পর্যন্ত প্রলম্বিত (extrapolated) করলেই ঈপ্সিত পাল্লা পাওয়া যাবে।

5.6 সারাংশ

আসুন দেখা যাক, এ অধ্যায়ে আপনারা কী জানলেন ও শিখলেন।

- β-কণা ও ইলেকট্রন অভিন্ন।
- বিভিন্ন উৎস থেকে প্রাপ্ত β-কণাসমূহের গতিবেগ তো বিভিন্ন বটেই, অভিন্ন উৎস থেকে প্রাপ্ত β-কণা সমূহের গতিবেগও বিভিন্ন। এর মূলে আছে নিউট্রিনো।
- β-কণার শোষণ ও পদার্থের মধ্যে তাদের পাল্লা সম্বন্ধে বিভিন্ন ধরণের পরীক্ষা ও তাত্ত্বিক আলোচনা হয়েছে।

মিশ্র শক্তির β-কণা সমূহের পাল্লা বেধের সঙ্গে সূচকীয় পদ্ধতিতে পরিবর্তিত হয়। এক শক্তি হলে বেধ ও শোষণের সম্পর্ক মোটামুটি সরল রৈখিক। ফেদার-প্রলম্বন পদ্ধতিতে একশক্তি β-কণার পাল্লা নির্ণয় সম্ভব।

5.7 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. কীভাবে প্রমাণ করা যায় যে β কণা ও ইলেকট্রন অভিন্ন।
2. β-বিঘটনের বিভিন্ন ধরন বর্ণনা করুন।
3. β-কণার পাল্লা বলতে কী বোঝেন ? ফেদার-প্রলম্বন পদ্ধতিতে β-কণার পাল্লা নিরুপণের পদ্ধতি বর্ণনা করুন। কোন বিশেষ ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি প্রযুক্ত হয় ?

4. নিউট্রিনো কণার বৈশিষ্ট্য কী? কীভাবে এটি আবিষ্কৃত হয়?
5. একই উৎস থেকে নির্গত β-কণাসমূহের গতিবেগ বিভিন্ন হয় কেন ব্যাখ্যা করুন।

5.8 উত্তরমালা (Answer)

1. 5.2 পাঠ্যাংশ দেখুন।
2. 5.3 পাঠ্যাংশ দেখুন।
3. 5.5 পাঠ্যাংশ দেখুন।
4. 5.4 পাঠ্যাংশ দেখুন।
5. 5.4 পাঠ্যাংশ দেখুন।

একক 6 □ গামা-রশ্মি

গঠন

6.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

6.2 γ-রশ্মির স্বরূপ

6.3 γ-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও শক্তি নিরূপণ

6.4 পদার্থের সঙ্গে γ-রশ্মির মিথস্ক্রিয়া

6.5 সারাংশ

6.6 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

6.7 উত্তরমালা

6.8 সহায়ক গ্রন্থসমূহ

6.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ আপনারা জানেন যে γ-রশ্মি আসলে তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণ। এর বিভিন্ন ধর্ম নিম্নরূপ ঃ

(i) এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 10^{-1} to 10^{-4} nm।

(ii) এরা আধান-নিষ্ক্রিয়।

(iii) এদের গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান।

(iv) এদের শক্তির পাল্লা 0.1 – 2 মি-ই-ভো।

(v) এদের ভেদন ক্ষমতা অনেক বেশি ; এদের নিশ্চিতভাবে প্রতিহত করতে 10 সেমি সীমার চাদর প্রয়োজন।

(vi) α, β ও γ-রশ্মির মধ্যে γ-র আয়নন ক্ষমতা সবচেয়ে কম ঃ $\alpha : \beta : \gamma = 100 : 10 : 1$.

(vii) জিঙ্ক সালফাইড পর্দা বা ফোটোগ্রাফিক প্লেটের উপর এদের প্রভাব আছে।

উদ্দেশ্য ঃ ● এই অধ্যায়ে আপনারা একটু বিস্তৃতভাবে γ-রশ্মির বিভিন্ন ধর্মের সঙ্গে পরিচিত হবেন।

6.2 γ-রশ্মির স্বরূপ

আপনারা জেনে গেছেন যে তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণু হয় α-সক্রিয়, নয় β-সক্রিয়। একই সঙ্গে একই পরমাণু থেকে α ও β কণা নির্গত হয় না। এখন, α-ই বের হোক, বা β-ই বের হোক— অবশিষ্ট কেন্দ্রক (residual nucleus) উত্তেজিত অবস্থায় থাকে। এই উত্তেজিত কেন্দ্রক 10^{-13} সেকেন্ডের মধ্যে নিম্নতর শক্তিস্তরে নেমে আসে — এবং এই পদ্ধতিতে তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ ঘটে। এই নিঃসৃত রশ্মিই γ-রশ্মি। নিঃসৃত γ ফোটনের শক্তি (hν) কয়েক সহস্র ই-ভো থেকে কয়েক মিলিয়ন ই-ভো হয়ে থাকে। γ ফোটনের শক্তি X-রশ্মির ফোটনের শক্তির চেয়ে অনেক বেশি হয়। X-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কয়েক ন্যানোমিটার মাত্র হয়। γ-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য আরও অনেক কম হয়। যেমন ঃ

γ-র শক্তি (ই-ভো)	তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (nm) × 10^{-3}
10^4	124
10^5	12.4
10^6	1.24

প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় মৌলসমূহের মধ্যে ক্ষুদ্রতম তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সম্পন্ন γ-রশ্মি বের হয় Thc বা Tl থেকে। এর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 4.7×10^{-4} nm এবং শক্তি 2.62 মি-ই-ভো। কৃত্রিম উপায়ে সংগটিত কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় নিঃসৃত γ ফোটনের শক্তি 8 –10 মি-ই-ভো বা তারও বেশি।

6.3 γ-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও শক্তি নিরূপণ

X-রশ্মির সঙ্গে তুলনীয় γ-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের জন্য কেলাস-ব্যবর্তন (crystal diffraction) পদ্ধতি প্রয়োগ করা যায়। ^{214}Po-এর ক্ষেত্রে যেমন এই পদ্ধতির সার্থক প্রয়োগে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য পাওয়া গেছে 0.16 nm। ক্ষুদ্রতর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের জন্য আছে বক্র কেলাস বর্ণালীবীক্ষণ (curved crystal spectrometer, JWM Dumond and Mlie Y cauchois)—যা দিয়ে 0.1 nm-এরও কম তরঙ্গ দৈর্ঘ্য মাপা যায়। তরঙ্গ দৈর্ঘ্য থেকে স্বভাবতই γ-রশ্মির শক্তি নির্ণয় করা যায় ঃ $E = h\nu = hc/\lambda$ [E = শক্তি, h = প্ল্যাঙ্ক, ধ্রুবক (= (6.62620 × 10^{-34}Js)], ν = কম্পাঙ্ক, λ = তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, c = আলোর গতিবেগ = 2.99793×10^8 ms^{-1})।

যে-সব ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রূপান্তর (internal coversion)-এর দরুণ ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়, সেক্ষেত্রে চৌম্বক বর্ণালীমিতি দ্বারা ইলেকট্রনের শক্তির পরিমাপ করে γ-রশ্মির শক্তি নির্ণয় করা সম্ভব।

ধরা যাক, কেন্দ্রকের দুটি শক্তিস্তরের শক্তি যথাক্রমে E_1 ও E_2 এবং এদের মধ্যে সংক্রমণের ফলে নিঃসৃত γ-রশ্মির শক্তি ঃ $h\nu = E_1 - E_2$, যদি γ-রশ্মির বদলে ঐ সংক্রমণের ফলে একটি কক্ষীয় ইলেকট্রন (যেমন K-ইলেকট্রন) নিঃসৃত হয়, তবে ইলেকট্রনের গতিশক্তি = $E_k = E_1 - E_2 - W_k = h\nu - W_k$.

এখানে W_k, K-কক্ষীয় ইলেকট্রনের বন্ধন শক্তি। চৌম্বক বর্ণালীমিতির সাহায্যে E_k পরীক্ষা করে γ-শক্তির hν নির্ণয় সম্ভব।

এছাড়া চমক বর্ণালীমাপক (scintillation spectrometer) ব্যবহার করে খুব সার্থকভাবে γ-শক্তির নর্ণয় করা যায়।

6.4 পদার্থের সঙ্গে γ-রশ্মির মিথস্ক্রিয়া (Interaction of γ-rays with matter)

γ-রশ্মি সাধারণতঃ তিনভাবে পদার্থের সঙ্গে মিথস্ক্রিয়া ঘটায় ঃ (i) ফোটো ইলেকট্রন নিঃসরণ, (ii) কম্পটন বিক্ষেপ ও (iii) ইলেকট্রন-পজিট্রন যুগল কণিকা উৎপাদন (electron-positron pair-production)।

এই তিন পদ্ধতির সম্ভাব্যতা প্রকাশিত হয় নিম্নলিখিত উপায়ে ঃ

$$\sigma = \sigma_{ph} + \sigma c + \sigma_p$$

এখানে σ_{ph} = আলোক-তড়িত শোষণের প্রস্থচ্ছেদ।

σ = কম্পটন-বিক্ষেপের প্রস্থচ্ছেদ।

σ_p = যুগলকণিকা উৎপাদনের প্রস্থচ্ছেদ।

(i) আলোক তাড়িত শোষণ (photoelectric absorption) ঃ পরমাণুর মধ্যে কক্ষীয় ইলেকট্রনের বন্ধন শক্তির (W) চেয়ে বেশি ক্ষমতাসম্পন্ন আলোক-ফোটন কোন পরমাণুর উপর আপতিত হলে ফোটনটির সমস্ত শক্তি (hv) কক্ষীয় ইলেকট্রন শোষণ করতে পারে এবং পরমাণু থেকে বেরিয়ে যেতে পারে। তখন, ইলেকট্রনটির গতিশক্তি হবে

$$E_k = h\nu W$$

hv-র মান যথেষ্ট বেশি হওয়ায় γ-রশ্মির প্রভাবে পরমাণুর ভিতরের কক্ষপথ (K, L....) থেকে ফোটো ইলেকট্রন বের হতে পারে। নির্দিষ্ট শক্তি সম্পন্ন γ-রশ্মি কর্তৃক নিঃসৃত আলোক-ইলেকট্রনগুলি সব সমশক্তি সম্পন্ন হয়, অর্থাৎ

$$h\nu = E_K + W_k = E_L + W_L = ...$$

Ex বিভিন্ন কক্ষপথ থেকে নিঃসৃত ফোটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি।

মনে করা যাক I = আপতিত γ-রশ্মিগুচ্ছের প্রারম্ভিক তীব্রতা (intensity), পাতের বেধ Δx তবে পাতের অপর দিকে নির্গত γ-রশ্মির তীব্রতার পার্থক্য (হ্রাস)

$$\Delta I = -\mu_{ph} I \Delta x = -\sigma_{ph} nI\Delta x.$$

n = শোষকের একক আয়তনে উপস্থিত পরমাণুর সংখ্যা।

σ_{ph}-কে পারমাণবিক আলোক-তাড়িত শোষণ গুণাঙ্ক (Atomic photo-electric absorbtion coefficient) বলা হয়। nΔx = শোষকের একক ক্ষেত্রফলে উপস্থিত পরমাণু সংখ্যক। nΔx = 1 হলে আলোক-ইলেকট্রনের নিঃসরণের সম্ভাব্যতা হবে,

$$\frac{\Delta I}{I} = -\sigma_{ph}$$

σ_{ph} একক ক্ষেত্রফলে উপস্থিত একটি মাত্র পরমাণুর আলোক ইলেকট্রন নিঃসরণের সম্ভাব্যতা নির্দেশ করে।

$$\text{এখন,} \quad \sigma_{ph} = \frac{\mu_{ph}}{n}$$

μ_{ph}-কে আলোক তাড়িত শোষণ প্রস্থচ্ছেদ (photoelectric absorbation cross-section) বলে। কোয়ান্টাম বলবিদ্যা দিয়ে σ_{ph}-এর মান বের করা যায়। $\sigma_{ph} \propto Z^5$ অর্থাৎ Z-এর মান বেশি হলে ফোটো ইলেকট্রন নিঃসরণ অনেক বেশি ঘটার সম্ভাবনা। আবার γ-রশ্মির শক্তি (অর্থাৎ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যর উপরও σ_{ph} নির্ভর করে)।

(ii) γ-রশ্মির কম্পটন বিক্ষেপ ঃ কম্পটন (A. H. Compton, 1924) দেখান যে কার্বন থেকে একবর্ণী X-রশ্মি নির্দিষ্ট দিকে বিক্ষিপ্ত হলে তার মধ্যে দুটি ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য সম্পন্ন বিকিরণ থাকে। একটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রারম্ভিকের সমান অপরটির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য দীর্ঘতর। অর্থাৎ শেষেরটির কম্পাঙ্ক কম। প্রথমটির উদ্ভব হয় অপরিবর্তিত স্থিতিস্থাপক বিক্ষেপ (in elastic scattering) থেকে। দ্বিতীয়টি অস্থিতিস্থাপক (inelastic) বিক্ষেপ, একে কম্পটন বিক্ষেপ বা compton ক্রিয়া বলে।

গণনায় দেখা গেছে hv শক্তি সম্পন্ন একটি ফোটন θ কোণে বিক্ষিপ্ত হলে ফোটনটির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাণ হয়।

$$\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2\frac{\theta}{2}$$

এখানে, $\lambda_c \frac{h}{m_0 c}$ (h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক, m_0 = ইলেকট্রনের স্থিরভর, c = শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ। v' বিক্ষিপ্ত ফোটনের কম্পাঙ্ক হলে কম্পটন ক্রিয়ায় প্রতিক্ষিপ্ত (recoiled) ইলেকট্রনের গতিশক্তি হয় $E_c = E_r - E_r = h(v - v')$। চিত্র 6.1-এ কম্পটন ক্রিয়া দেখানো হয়েছে।

চিত্র ঃ 6.1

ইলেকট্রনের প্রতিক্ষেপ কোণ (recoil angle) ϕ ও ফোটনের বিক্ষেপকের θ-র মধ্যে সম্পর্ক

$$\text{এখানে} \quad \alpha = \frac{hv}{m_0 c^2}$$

কম্পটন ক্রিয়ার সম্ভাব্যতা পাওয়ায় নিচের সম্পর্ক থেকে ঃ

$$\mu_r = \sigma_r \frac{N_0 \rho}{M} . Z$$

N = অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা

ρ = বিক্ষেপকের ঘনত্ব

Z = বিক্ষেপকের পারমাণবিক সংখ্যা

M = বিক্ষেপকের পারমাণবিক ভর।

μ_c = রৈখিক বিক্ষেপ গুণাঙ্ক (Linear Compton Scattring coefficiant)

σ_e = পারমাণবিক ইলেকট্রন প্রতি কম্পটন বিক্ষেপ প্রস্থচ্ছেদ।

σ_e-র মান পারমাণবিক সংখ্যার উপর নির্ভর করে ($\sigma_e \propto Z$).

(iii) γ-রশ্মি কর্তৃক ইলেকট্রন পজিট্রন যুগল উৎপাদন ঃ

এই যুগল উৎপাদন প্রক্রিয়া শক্তির পদার্থে রূপান্তরের নিদর্শন। 1.02 মি-ই-ভো অপেক্ষা উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন γ-রশ্মি যখন কোন পদার্থের মধ্য দিয়ে যায়, তখন কেন্দ্রকের তড়িৎ ক্ষেত্রের সঙ্গে মিথস্ক্রিয়ার ফলে γ ফোটনগুলি সময়ে সময়ে ইলেকট্রন ও পজিট্রন কণায় রূপান্তরিত হয়। পজিট্রন হচ্ছে ইলেকট্রনের প্রতি-কণিকা (antiparticle)।

এই যুগল উৎপাদনের সম্ভাব্যতা যুগল উৎপাদন প্রস্থচ্ছেদ (cross-section of pair-creation, σ_p) দ্বারা নির্দেশিত হয়। পদার্থের অভ্যন্তরে একক ক্ষেত্রফলে অবস্থিত একক পরমাণুর সঙ্গে γ ফোটনের মিথস্ক্রিয়ায় যুগল উৎপাদনের সম্ভাব্যতাই যুগল-উৎপাদন প্রস্থচ্ছেদ। এই σ_p-র মান নির্ভর করবে অবশ্যই γ-রশ্মির শক্তির ও শোষকের পারমাণবিক সংখ্যার উপর (মোটামুটিভাবে $\sigma_p \propto Z^2$)।

$$\sigma_p = \frac{\mu_p}{n}$$

μ_p = যুগল উৎপাদন গুণাঙ্ক, n = শোষকের একক আয়তনে উপস্থিত পরমাণুর সংখ্যা।

চিত্র 6.2-এ পদার্থের মধ্যে γ-রশ্মির বিভিন্ন মিথস্ক্রিয়ার পদ্ধতির একটি তুলনামূলক ধারণা সীমার ক্ষেত্রে) পাওয়া যাবে।

চিত্র ঃ 6.2

চিত্র 6.2 থেকে বোঝা যায়, γ ফোটনের শক্তি প্রায় 1 মি. ই. ভো.-এর থেকে বেশী হলে যুগল উৎপাদন শুরু হয় এবং ফোটনের শক্তি বাড়ার সঙ্গে এই প্রক্রিয়ায় γ-রশ্মির শোষণ ও বাড়তে থাকে এবং কম্পটন ক্রিয়ায় ও আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় এবং কম্পটন ক্রিয়ায় আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় শক্তি শোষণের মাত্রা কমতে থাকে। ফোটনের শক্তি আরো বেশী হলে γ-রশ্মির শোষণ হয় কেবল মাত্র যুগল উৎপান প্রক্রিয়ায়।

6.5 সারাংশ

γ-রশ্মি তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ। এটি আধান নিস্ক্রিয় এবং এর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $10^{-4} - 10^{-4}$ nm। এর গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান। 10 সেমি সীসার চাদর দিয়ে সম্পূর্ণ আবরিত করা সম্ভব।

শোষক পদার্থের সঙ্গে γ-রশ্মি তিন ভাবে ক্রিয়া করে ঃ

(i) ফোটো-ইলেকট্রন নিঃসরণ।

(ii) কম্পটন বিক্ষেপ।

(iii) যুগল-কণিকা উৎপাদন।

6.6 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. γ-রশ্মির স্বরূপ আলোচনা করুন।
2. X-রশ্মির সঙ্গে γ-রশ্মির পার্থক্য কোথায় ?

   γ-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কীভাবে নির্ণীত হতে পারে ?
3. পদার্থের সঙ্গে γ-রশ্মির মিথস্ক্রিয়া আলোচনা করুন।
4. কম্পটন ক্রিয়া কী ? γ–রশ্মির ক্ষেত্রে সাপেক্ষে এর স্বরূপ আলোচনা করুন।
5. শক্তির পদার্থের রূপান্তরের উদাহরণ দিন।

6.7 উত্তরমালা (Answer)

1. 6.2 পাঠ্যাংশ দেখুন।

2. 6.2 ও 6.3 পাঠ্যাংশ দেখুন।

3. 6.4 অংশ দেখুন।

4. 6.4 অংশ দেখুন।

5. 6.4 অংশ দেখুন।

6.8 সহায়ক গ্রন্থসমূহ

1. সমরেন্দ্রনাথ ঘোষাল, পরমাণু ও কেন্দ্রক-গঠন পরিচয় (দ্বিতীয় খণ্ড) ঃ (পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষৎ)
2. S. N. Ghossal, Atomic and Nuclear Physics (2nd volume) : (S. Ghand & Company Ltd.)
3. H. J. Arniker, Essentials of Nuclear Chemistry (New Age International Publishers Ltd. / Wiley Eastern Ltd.)
4. I. Kaptan, Nuclear Physics, (Addison - Wesley).

EPH 14 : 02

কেন্দ্রকীয় পদার্থবিদ্যা — 2

একক 7 □ নিউট্রন

গঠন

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

7.2 নিউট্রনের আবিষ্কার

7.3 নিউট্রনের ধর্মাবলি

7.3.1 নিউট্রনের ভর নির্ণয়

7.3.2 নিউট্রনের আধান

7.3.3 নিউট্রনের সুস্থিতি

7.4 শক্তি-ভেদে নিউট্রনের শ্রেণিবিভাগ

7.5 নিউট্রনের উৎস

7.6 নিউট্রন-নির্দেশক

7.7 রাসায়নিক বিশ্লেষণে নিউট্রনের প্রয়োগ

7.7.1 আপেক্ষিক পদ্ধতি

7.7.2 চরম পদ্ধতি

7.7.3 নিউট্রন শোষণমিতি

7.8 সারাংশ

7.9 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

7.10 উত্তরমালা

7.1. ○ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ

অবপারমাণবিক (Subatomic) কণাসমূহের মধ্যে নিউট্রন সবচেয়ে বেশি গোলমেলে। এই বিশেষ কণাটির সম্বন্ধে আমরা অনেক কিছু জানি আবার অনেক কিছু জানিও না। এটা এখন অবিসংবাদিতভাবে স্বীকৃত যে বক্ষ্যমান কণাটি প্রকৃতির গঠনের একটি মৌলিক উপাদান। সে কারণেই আমরা এই অধ্যায়ে এর সাধারণ ও বিশেষ ধর্মগুলি আলোচনা করব।

এটা জানা আছে যে একই মৌলের কণাসমূহের মধ্যে পারমাণবিক ধর্মের বিভিন্নতা দেখা যায়। প্রথমদিকে এর কারণ হিসাবে বলা হত যে কেন্দ্রক প্রোটন ও ইলেকট্রনের সমবায়ে গঠিত এবং ওজনের এই বিভিন্নতা

প্রোটন - ইলেকট্রন সমবায়ের বিভিন্নতার উপর নির্ভরশীল। 1920 খ্রিস্টাব্দে রয়্যাল সোসাইটিতে প্রদত্ত বেকেরীয় (Bakeman) বক্তৃতায় রাদারফোর্ড (Sir Ernest Rutherford) কেন্দ্রকের মধ্যে এক ধরনের নিস্তড়িৎ প্রশম এবং পারমাণবিক ভার স্কেলে একক ভর সম্পন্ন কণার অস্তিত্বের কথা বলেন। এর ফলশ্রুতিই নিউট্রনের আবিষ্কার।

উদ্দেশ্য ঃ

বর্তমান এককটি পাঠ ও পর্যালোচনা করে আপনারা —

- নিউট্রনের আবিষ্কার ও বিস্তারিত ধর্ম সম্বন্ধে অবহিত হতে পারবেন। এসব বিস্তারিত ধর্মের মধ্যে আবার আছে ঃ
- নিউট্রনের শক্তি।
- নিউট্রনের উৎস।
- তাপীয় নিউট্রন।
- নির্দেশকের ভূমিকায় নিউট্রন।

7.2. ○ নিউট্রনের আবিষ্কার

রাদারফোর্ডের মত প্রজ্ঞাবান বিজ্ঞানীর প্রস্তাবিত প্রাগুক্ত অসাধারণ সম্ভবনা কিন্তু পরবর্তী বারো বছরেও প্রমাণ করা গেল না। প্রথম পরিকল্পিত পরীক্ষায় হাইড্রোজেন গ্যাসের মধ্যে তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটানো হল। আশা করা গেল যে উৎপন্ন ইলেকট্রন প্রোটনের সঙ্গে সংযোজিত হয়ে নিস্তড়িৎ নিউট্রন উৎপন্ন করবে। না; এই পরীক্ষা কৃতকার্য হল না। 1930-এ জার্মানির বেথে (Bethe H. A.) ও বেকার (Becker F. S) লিথিয়াম, বেরিলিয়াম ও বোরনকে লক্ষ করে প্রাকৃতিক পোলোনিয়াম থেকে প্রাপ্ত আলাদা কণা বর্ষিত করার পর দেখা গেল এক ধরনের উচ্চ ভেদনক্ষমতা সম্পন্ন নিস্তড়িৎ বিকীরণ পাওয়া গেল। 1931-এ ফ্রেডারিক জোলিওক্যুরী ও আইরিন জোলিও-ক্যুরী-দের পরীক্ষায় উপরের পরীক্ষালব্ধ তথ্য সমর্থিত হল। ক্যুরী দম্পতি আরও লক্ষ করলেন যে এই উদ্গীর্ণ রশ্মির গতিপথে প্যারাফিন লেপিত পর্দা বসালে উচ্চ গতিসম্পন্ন প্রোটন পাওয়া যায়। বলা হল এই ঘটনা হয়তো খুব কম তরঙ্গদৈর্ঘের গামা রশ্মির প্রভাবে ঘটে; কিছুদিন পর্যন্ত এই ব্যাখ্যাই গৃহীত হত।

এখন জোলিও-ক্যুরী দম্পতি নিঃসৃত প্রোটনের পাল্লা (range) পরিমাপ করে এদের শক্তি নির্ণয় করেন। দেখা গেল যে এদের শক্তি (Ep)-র মান প্রায় 6 মি-ই-ভো। প্রোটনের স্থির শক্তি E_p^0 (Rest energy) জানা আছে 938 মি-ই-ভো। এ থেকে বিকিরণের শক্তি গণনা করা যায় ঃ

$$E_0 = \sqrt{E_p \cdot \frac{1}{2} M_p C^2} = \sqrt{\frac{6 \times 938}{2}} = \quad 53 \text{ মি-ই-ভো } \left[E_p^0 = 938 \quad \text{মি-ই-ভো} \right]$$

আবার স্যাডউইক (J Chadwick) একটি পরীক্ষায় দেখান যে উপর্যুল্লিখিত উচ্চ ভেদ্যতা সম্পন্ন বিকিরণ নাইট্রোজেন ঘটিত যৌগ থেকে N-(নাইট্রোজেন) কেন্দ্রক নিঃসৃত করে। নিঃসৃত N-কেন্দ্রকের শক্তি পরিমাপ করে প্রায় 1.2 মি-ই-ভো পাওয়া গেল। কাজেই উপযুক্ত পদ্ধতিতে গণনা করে উক্ত বিকিরণের শক্তি স্বাধীনভাবে নির্ণয় করা সম্ভব। এভাবে নির্ণীত শক্তির মান পাওয়া যায় 90 মি-ই-ভো।

তাহলে দাঁড়াল যে (i) বেথে ও বেকার এবং জোলিও-ক্যুরী দম্পতির প্রাপ্ত পরীক্ষাফলের মধ্যে সঙ্গতি নেই; (ii) প্রোটন প্রতিক্ষেপে ও নাইট্রোজেন কেন্দ্রক প্রতিক্ষেপ পরীক্ষালব্ধ ফল দুটিও অসঙ্গতিপূর্ণ।

আরেকটি দিকও প্রণিধানযোগ্য। যদি ধরে নেওয়া যায় যে অজ্ঞাত বিকিরণ γ-রশ্মি, তবে ভর-শক্তি সমীকরণ থেকে এর শক্তি গণনা সম্ভব। এরকম অনুমান থেকে নিচের বিক্রিয়াটি দাঁড় করানো যায় ঃ

$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{13}_{6}C^{*} \rightarrow ^{13}_{6}C + ^{0}_{0}\gamma$$

সেক্ষেত্রে γ রশ্মির শক্তি দাঁড়াবে —

$$E_0 = M_{Be}c^2 + M_{He}c^2 + E_\alpha - M_C c^2$$

[স্পষ্টতঃই ^{13}C (অবশিষ্ট কেন্দ্রক)-র গতিশক্তি গণনার মধ্যে আনা হয়নি।]

E_0 = 5 মি-ই-ভো (বা 0.005368 পারমাণবিক ভর একক) ধরলে E_0-র মান দাঁড়ায় 0·016801 পাঃ ভঃ একক = 15·65 মি-ই-ভো। আগে বর্ণিত মানসমূহের সঙ্গে এর অসঙ্গতিও সহজ নিরীক্ষ্য।

এই সব আপাতবিরোধী তথ্যসমূহ বিচার করতে গিয়ে স্যাড্উইক এক যুগান্তকারী সিদ্ধান্ত উপহার দিলেন। 1932-এ নিচের পরীক্ষাটি (চিত্র 7.1) সংঘটিত করেন।

চিত্র 7.1

S একটি α কণার উৎস; P হচ্ছে বেরিলিয়ামের পাত; P_2 হচ্ছে প্যারাফিনের প্লেট; A শোষক (Al - নির্মিত) এবং C-আয়ণ কক্ষ। C-এর সঙ্গে সংযুক্ত পরিবর্ধক এবং কম্পনবীক্ষক (oscilloscope) যন্ত্রের সাহায্যে প্রোটনগুলির প্রবেশ নিরীক্ষিত হয়। শোষক পাত (A)-এর সাহায্যে এদের পাল্লা ও তা থেকে এদের শক্তি নির্মিত হয়। পরে প্যারাফিন-এর পরিবর্তে N-ঘটিত পদার্থ ব্যবহার করে অনুরূপ পরীক্ষাও নিরীক্ষা করা হয়।

স্যাড্উইক দেখান যে অজ্ঞাত বিকিরণ যদি r রশ্মি না হয়ে প্রায় প্রোটনের ভর সম্পন্ন একপ্রকার আধানহীন কণিকা বলে ধরা হয় তবে নিঃসৃত প্রোটন ও নাইট্রোজেন কেন্দ্রকের নির্ণীত গতিশক্তির মান সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। এই কণিকার নাম দেওয়া হল 'নিউট্রন' (neutron)। এই যুগান্তকারী আবিষ্কারের স্বীকৃতিস্বরূপ স্যার জেম্‌স্ স্যাডউইককে 1935-এর পদার্থবিদ্যার নোবেল পুরস্কার দেওয়া হয়।

7.3. ○ নিউট্রনের ধর্মাবলি

নিউট্রনের নির্দিষ্ট ধর্মাবলি নিম্নরূপ ঃ

- এর ভর 1.008665 পারমাণবিক ভর একক।
- এর তড়িৎ আধান শূন্য।
- এর ঘূর্ণন ½ ।

- অর্ধায়ুষ্কাল প্রায় 12 মি.।
- নিউট্রন ফার্মি-ডিরাক সংখ্যায়ন মেনে চলে।

7.3.1. নিউট্রনের ভর নির্ণয় ঃ

স্যাড্উইক নিউট্রনের ভর বলেন 1·0067 পা-ভ-একক। কিন্তু পরবর্তী পরীক্ষায় দেখা গেছে যে এই মান খুবই ত্রুটিপূর্ণ।

নিউট্রন আধানবিহীন কণিকা আর কাজেই তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্রে এর বিচ্যুতি ঘটবে না। লোরেঞ্জ বল কাজ করবে না। তাই সাধারণ ভর বর্ণালীবীক্ষণ (massepectrograph) যন্ত্রে এর ভর নির্ণয় সম্ভব নয়। নিউট্রন দিয়ে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া সংঘটিত করে এবং সেই বিশেষ ক্ষেত্রে ভর ও শক্তির নিত্যতা ও সমতা সূত্র থেকে নিউট্রনের ভর নির্ণয় করা সম্ভব। নিচের বিক্রিয়া দুটি ধরা যেতে পারে ঃ

(i) $^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow \underset{\text{যৌগিক (Compound) কেন্দ্রক}}{^{13}_{6}C^{*}} \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$

(ii) $^{11}_{5}B + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{15}_{7}N^{*} \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n$

(ii) নং বিক্রিয়া থেকে পাই ঃ

$$M(^{11}B) + M(^{4}He) + E_{\alpha} = M(^{14}N) + M_{n} + E_{n}$$

রাশিগুলির মান বসিয়ে এবং প্রোটন প্রতিক্ষেপ (proton recoil) পরীক্ষা থেকে স্যাডউইক নিউট্রনের ভর (1.0067 পা-ভ-একক) পান।

পরবর্তী পর্যায়ে গোল্ড্ হাবের (N. Goldhaber)-এর সঙ্গে নিচের বিক্রিয়াটি ব্যবহার করে একই পদ্ধতিতে নিউট্রনের ভর (1.008607 পা-ভ-একক) সঠিকতর ভাবে নির্ণয় করেন।

এরও পরের পর্যায়ে আরও সঠিক ভাবে এই ভর নির্ণীত হয়েছে। বর্তমানে স্বীকৃত ও গৃহীত ভর 1.008665 পা-ভ-একক।

7.3.2. নিউট্রনের আধান ঃ

বলা হয়েছে ইলেকট্রনের তড়িৎ আধান শূন্য। কিন্তু একথা বলার আগে কিছু ব্যাখ্যা প্রয়োজন। এটা সত্যিই যে তীব্রতম তড়িৎক্ষেত্রে বা চৌম্বক ক্ষেত্রেও নিউট্রনের বিচ্যুতি ঘটে না। এটাও জানা যে নিউট্রন নিজে থেকে মেঘ কক্ষে আয়নন ঘটাতে পারে না। আবার অন্যদিকে এও জানা আছে যে নিউট্রনের চৌম্বক ধর্ম আছে; এটি একটি প্রশম কণার পক্ষে একটু ব্যতিক্রমীই বটে। চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি অণু-চুম্বকের মত নিউট্রনের রৈখিক অবস্থান ঘটবে। এ-ও দেখা গেছে যে শ্লথ (Slow) নিউট্রনকে চুম্বকিত লোহার মধ্য দিয়ে পাঠানো হলে অর দিকবিচ্যুতি ঘটে। তা ছাড়া আধাননিষ্ক্রিয় নিউট্রনের ঠিক ঘূর্ণ্যমান ইলেকট্রনের মতই চৌম্বক ভ্রামক থাকে। প্রত্যাশা মতই নিউট্রনের চৌম্বক-ভ্রামক ঋণাত্মক (–1.9135) এবং ঘূর্ণ্যমান ধনাত্মক প্রোটনের চৌম্বক-ভ্রামকের বিপরীত।

এই চৌম্বক ধর্মের থেকে স্বতঃই এটি প্রমাণিত হয় যে মোটের উপর নিস্তড়িৎ হলেও নিউট্রনের মধ্যে

আধানবাহী একক আছে। বহুদিন ধরেই বৈজ্ঞানিক মহলে এই আলোচনা ও সমাধানের প্রয়াস চলছিল। হাল আমলে কোয়ার্ক গ্লুয়ন আবিষ্কারের পরে এর উত্তর পাওয়া যাচ্ছে। এই আবিষ্কার দেখাচ্ছে যে তড়িৎ আধান পূর্ণসংখ্যক নয়, এটি ভগ্নাংশও হতে পারে। নিউট্রন দুটি 'd' (ডাউন) ও একটি 'u' (আপন) কোয়ার্কের সমন্বয় ($-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}+\frac{2}{3}=0$)। আবার পদার্থের গঠন ব্যাখ্যায় কোয়ার্ক-গ্লুয়ন জোটের ভূমিকা নির্ধারণের পরীক্ষায় ও কোয়ান্টাম ক্রোমোডায়ানামিক্স্‌গত ব্যবস্থায় দেখা গেছে যে পরমাণুর নিউট্রনের (প্রোটনেরও) ও বেশির ভাগ অংশ ফাঁকা। কেন্দ্রে সামান্য অংশ নিরেট ভর সম্পন্ন। কেন্দ্রের এই ক্ষুদ্রাদিক্ষুদ্র নিরেট অংশকে 'পার্টন' বলা হয়। অর্থাৎ, তাহলে দাঁড়াচ্ছে এই যে নিউট্রন একটি একক কণা নয় পরন্তু একাধিক পার্টনের সমবায়ে গঠিত।

অনুশীলনী — 1

1. নিউট্রনের মতো প্রোটনও একাধিক কোয়ার্কের সমন্বয়ে গঠিত। কয়টি কোয়ার্ক কীভাবে প্রোটন গঠন করে?

7.3.3. নিউট্রনের সুস্থিতি ঃ

মৌলকণাসমূহের মধ্যে নিউট্রনই অসুস্থির। এর অর্ধায়ু 12 মি। প্রথমে ধরা হত যে এটি স্বতঃই বিনষ্ট হয় এবং নিচের সমীকরণ অনুযায়ী প্রোটন, β কণা ও নিউট্রিনো উৎপন্ন করে ঃ

$$n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu} \text{ ..... (1)}$$

জে-এম্ রবসন (J. M. Robson) নামে একজন ক্যানাডীয় বিজ্ঞানী প্রথম নিউট্রনের β-বিঘটনের অর্ধায়ুষ্কাল নির্ণয় করেন। শ্লথ/তাপীয় (Slow/thermal) নিউট্রনকে একটি বায়ুশূণ্য আধারের মধ্যে পাঠানো হয়। বিক্রিয়া (1) অনুসারে প্রোটন (1 কি-ই-ভো মাত্রার) উৎপন্ন হল। এগুলিকে 13 কিলো ভোল্ট বিভবের দ্বারা ত্বরিত করে একটি ইলেকট্রন বিবর্ধকের সাহায্যে নির্দেশিত করা হয়। প্রোটনসমূহকে পর্যায়ক্রমে চৌম্বক বর্ণালীবীক্ষণের ও ইলেকট্রন বিবর্ধকের মধ্যে পাঠানো হয়। প্রোটনকে সেখানে ফোকাস করা হয়। নিউট্রনের বিঘটনের ফলে উদ্ভূত β-কণাকেও একই ভাবে ও পদ্ধতিতে ফোকাস করে একটি এ্যান্থ্রাসিন চমক নির্দেশক দ্বারা নির্দেশিত করা হয়। প্রোটন ও ইলেকট্রন নির্দেশক যন্ত্র দুটি থেকে প্রাপ্ত ঝলকগুলির বিলম্বিত (delayed) সমাপতন (coincidence) ঘটানো হয় এবং তা থেকে ঐ সমাপতন ঝলকগুলিকে নির্দেশিত করা হয়। বিঘটন সঞ্জাত প্রোটনগুলিকে একটি আবদ্ধ আধারে সংগ্রহ করা হয়; এর আয়তন থেকে নিউট্রন রশ্মির বিঘটনের হার নির্ণয় করা হয়। এই ধরনের পরীক্ষায় নিউট্রনের অর্ধায়ুষ্কাল পাওয়া গেছে 12.8 ± 2.5 মি.।

1935 সালে জাপানী বিজ্ঞানী ইউকাওয়া (H. Yukawa) বলেন মেসনের অস্তিত্ব সম্পর্কে ভবিষ্যদবাণী করেন; আরও বলেন যে এদের আধান ধনাত্মক ও ঋণাত্মক হতে পারে, আর ভর হবে ইলেকট্রনের ভরের 200 গুণ আর অর্ধায়ুষ্কাল $\sim 10^{-6}$ সেকেন্ড। নিউট্রন → প্রোটন পরিবর্তন, তাঁর মতে, এই মেসনের মাধ্যমে ঘটে। এই ভবিষ্যত বাণীর পরের দুই বছরে ক্যালিফোর্নিয়া ইনস্টিট্যুট অব্ টেকনোলজির কার্ল ডি. অ্যান্ডারসন (Carl D. Anderson) ও সেট এইচ্ নেডার মায়ার (Seth H. Nedder meyer) এবং হার্ভার্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের স্ট্রিট (J. C. Street) ও স্টিভেনসন্ (E. C. Stevenson) মহাজাগতিক (cosmic) রশ্মির আবর্জনা থেকে অনুরূপ কণা আবিষ্কার করলেন। কিন্তু দেখা গেল নিউট্রনের সঙ্গে এদের বিক্রিয়া ঘটে না। এথেকে আবার ধারণা হল যে এই ধরনের দুটি কণার অস্তিত্ব আছে, অর্থাৎ দুধরনের মেসন কণা আছে। 1947-এ পাওয়েল (C. F. Powele) ওক্চিয়ানি (G. P. S. Occhiani) ও লেটেস (C M G Lattes) উচ্চ বালিকীয় আডিজ্ অঞ্চলের কাজ করার

সময় ইলেকট্রনের 276 গুণ ভর সম্পন্ন মেসন কণা আবিষ্কার করেন। এদের বলা হল পাই (π) মেসন, এবং আগে পাওয়া মেসনের নাম দেওয়া হল মিউ (μ) মেসন। π-মেসন তিন রকমের, π^+, π^-, π^0; μ মেসন দুরকমের, μ^+ ও μ^-। নিউট্রিনোর উৎপত্তিও এই মেসন তত্ত্ব থেকে ব্যাখ্যাত হয়।

$$p \rightleftharpoons \pi^+ + n$$
$$n \rightleftharpoons \pi^- + p$$
$$\pi^\pm \rightleftharpoons \mu^\pm + \nu$$
$$\mu^\pm \rightleftharpoons \beta^\pm + 2\nu$$
$$p \rightleftharpoons p + \pi^0$$
$$n \rightleftharpoons n + \pi^0$$

নিউট্রনের অত্যাধুনিক গ্রাহ্য অর্ধায়ুষ্কাল [রবসন (J. M. Robson) কৃত পরীক্ষায় প্রাপ্ত] 10.61 ± 0.16 মি.

7.4. ○ শক্তি-ভেদে নিউট্রনের শ্রেণি বিভাগ

অন্য কেন্দ্রক ও পদার্থের সঙ্গে নিউট্রনের মিথস্ক্রিয়া জানা এবং বিশদ আলোচিত ঘটনা। এই সব পরীক্ষায় ব্যবহৃত নিউট্রনের β শক্তির উপর নির্ভর করে তাদের নিম্নলিখিত ভাবে শ্রেণিবদ্ধ করা হয়েছে ঃ

(1) শ্লথ (Slow) নিউট্রন ($0 < E_k < 10^3$ ই-ভো।)

(2) মাঝারি (Intermediate) নিউট্রন (10^3 ই. ভো. $< E_k < 10^5$)

(3) দ্রুতগতি (fast) নিউট্রন (0·5 মি-ই-ভো $< E_k <$ 10 মি-ই-ভো)

(4) অতি দ্রুতগতি (very fast) নিউট্রন (10 মি-ই-ভো $< E_k <$ 50 মি-ই-ভো)

(5) পরা দ্রুতগতি (ultrafast) নিউট্রন ($E_k >$ 50 মি-ই-ভো)

এদের মধ্যে শ্লথ নিউট্রন নিয়েই সবচেয়ে বেশি কাজ হয়েছে। পারমাণবিক শক্তি উৎপাদনে এদের ভূমিকা সমধিক। এদের আবার কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায় ঃ

(i) শীতল (Cold) নিউট্রন ঃ $E_k <$ 0·002 ই-ভো এদের ভেদ্যতা খুব বেশি।

(ii) তাপীয় (thermal) নিউট্রন;

(iii) অতি তাপীয় (epithermal) নিউট্রন ঃ $E_k >$ 0·5 ই-ভো।

(iv) অনুনাদ (resonance) নিউট্রন। 1 ই-ভো — 100 ই-ভো. E_k

7.5. ○ নিউট্রনের উৎস (Source of Neutron)

নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় নিউট্রন উৎপাদিত হয়। স্পষ্টতঃই সেসব বিক্রিয়া ব্যবহৃত হয় যাদের ক্ষেত্রে প্রস্থচ্ছেদ বেশি এবং সেই কারণে বেশি তীব্রতা (high intensity) সম্পন্ন নিউট্রন রশ্মি পাওয়া সম্ভব। অবশ্যই প্রাপ্ত নিউট্রন রশ্মির তীব্রতা নির্ভর করে নিউট্রন উৎপন্নকারী বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত প্রাথমিক কারণের তীব্রতার উপর। কাজেই প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় রশ্মির থেকে ধারক-নির্ভর নিউট্রনের তীব্রতা বেশি। কখনো কখনো উঁচু ফ্লাক্স সম্পন্ন নিউট্রন

পাবার জন্য পারমাণবিক চুল্লিতে সংঘটিত বিক্রিয়ার অনুরূপ বিক্রিয়া ঘটানো হয়। নিচে এরকম কয়েকটি উৎসের উল্লেখ করা হল ঃ

(i) Ra / Be বা Pu / Be উৎস

এখানে Ra ও Pu α-কণার উৎস। এই α-কণা Be-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে নিউট্রন সঞ্জাত করে ঃ

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

রেডিয়াম ব্যবহৃত হয় কোন লবণ (যেমন $RaCl_2$) চূর্ণ রূপে, বেরিলিয়াম ও প্লুটোনিয়াম ধাতু রূপে।

Ra/Be উৎস থেকে প্রাপ্ত নিউট্রনে শক্তির বিভিন্নতা (0 শূন্য থেকে কয়েক মি-ই-ভো পর্যন্ত) থাকে, কারণ তেজস্ক্রিয় সাম্যাবস্থার জন্য Ra-পরবর্তী মৌল সমূহ থেকে নিঃসৃত α কণার শক্তি বিভিন্ন। তা ছাড়া উদ্গত নিউট্রন Be-এর মধ্য দিয়ে যাবার সময় শক্তি হারায়। Pu/Be উৎস থেকে γ-নিঃসরণ খুবই কম; সেজন্য Pu/Be উৎস ব্যবহার করা বেশি সুবিধাজনক।

(ii) কণিকা ত্বরক যন্ত্র ব্যবহার করে প্রাপ্ত নিউট্রন ঃ

কণিকা-ত্বরক যন্ত্রের মাধ্যমে প্রোটন ও ডয়েটেরন নিক্ষিপ্ত-কণা (projectile) হিসাবে এবং কম Z সম্পন্ন মৌল লক্ষ (target) হিসাবে ব্যবহার করে উচ্চ তীব্রতার নিউট্রন পাওয়া সম্ভব। ব্যবহৃত বিক্রিয়াসমূহ ঃ

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

$$^{9}_{4}Be + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n$$

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{7}_{4}Be + ^{1}_{0}n$$

(iii) আলোক-নিউট্রন (photo neutron) (γ, n) বিক্রিয়ায় $^{9}_{4}Be$ নিউট্রন উৎপন্ন করে। উচ্চশক্তির γ ব্যবহার করতে হয়। γ-র পরিবর্তে বীটাট্রন থেকে প্রাপ্ত উচ্চশক্তির X-রশ্মি ব্যবহার করা যায়।

(iv) পারমাণবিক চুল্লি (nuclear reactor বা atomic pile) থেকে প্রাপ্ত নিউট্রন ঃ

আপনারা জানেন যে একটি নিউট্রন কণা একটি u পরমাণু (বা অন্য বিভাজনক্ষম জ্বালানী)-র সঙ্গে বিক্রিয়া করে তার বিভাজন ঘটায়; সেক্ষেত্রে প্রচুর শক্তি ও 2 — 4 টি নিউট্রন বের হয়। এর আবার নতুন u পরমাণুকে বিভাজিত করে শক্তি ও নিউট্রন উৎপন্ন করে। ফলে প্রচুর নিউট্রন জমা হয়ে যায়। এগুলিকে বের করে নেওয়া হয়। উৎপন্ন নিউট্রন দ্রুতগতি (fast) সম্পন্ন। নিয়ন্ত্রক (moderater)-এর মাধ্যমে এদের শ্লথ করা হয়। এই নিউট্রনকে তাপীয় (thermal) নিউট্রন বলা হয়।

7.6. ○ নিউট্রন-নির্দেশক

আধানযুক্ত বিভিন্ন কণা (যেমন α, δ ইত্যাদি) নিউট্রন নির্দেশ করতে ব্যবহার করা হয়। পদ্ধতির মূল তত্ত্ব হচ্ছে প্রথমোক্ত কণাসমূহের আয়ন-উৎপাদন ধর্ম। নিউট্রন নিজে আধানবিহীন হওয়ায় এর নির্দেশক ভূমিকা গুরুত্বপূর্ণ। নিউট্রন দ্বারা সংঘটিত বিভিন্ন কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় উৎপন্ন আহিত কণিকা থেকে নিউট্রন নির্দেশ করা যায়। এ ছাড়া H সম্বলিত পদার্থকে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করার ফলে উৎপন্ন প্রোটনের সাহায্যেও নিউট্রন নির্দেশ করা যায়। নিচে নিউট্রন নির্দেশ (detection)-এর চারটি পদ্ধতি বলা হল।

(1) $^{6}_{3}Li(n, \alpha)^{3}_{1}H$ এবং $^{10}_{4}Be (n, \alpha)^{7}_{3}Li$ – এই দুটি বিক্রিয়ায় নিউট্রন নির্দেশিত হতে পারে। এই বিক্রিয়া দুটিকে ব্যবহার করার কারণ হল এই যে এদের সম্ভাব্যতা (probability) খুব বেশি। পদ্ধতিগত দিক হল এই যে ঃ একটি আয়নন কক্ষ (ionisation chamber) বা আনুপাতিক সংখ্যায়ক (proportional counter)-এর ভিতরে দিকের দেয়ালে সংশ্লিষ্ট (Li or B) লবণের প্রলেপ দেওয়া হয়। অতঃপর এদের লক্ষ করে নিউট্রন নিক্ষিপ্ত হলে $^{3}_{1}H$ বা $^{7}_{3}Li$ অবশিষ্ট কেন্দ্রক (residual nucleus) হিসাবে পাওয়া যায়। এরা যন্ত্রের অভ্যন্তরে রক্ষিত গ্যাসকে আয়নিত করে। এই আয়নপ্রবাহ ইলেক্ট্রোমিটার (আধান মানক) দ্বারা নির্দেশিত হতে পারে।

(2) **উজ্জীবন (activation) পদ্ধতি ঃ** (n, γ) বিক্রিয়ায় কোন মৌলের কেন্দ্রককে তেজস্ক্রিয় করে তার তেজস্ক্রিয়তার পরিমাপ করে নিউট্রন নির্দেশ সম্ভব। ম্যাঙ্গানিজ (পারমাণবিক সংখ্যা 25), $_{45}Rh$, $_{47}Ag$, $_{49}In$, $_{79}Au$ প্রভৃতি মৌল এ-ধরনের বিক্রিয়ার বিশেষ উপযোগী। গাইগার মুলার গণক বা এরূপ কোন যন্ত্র তেজস্ক্রিয়তার পরিমাপে ব্যবহৃত হয়।

(3) **বিভাজন (fission) নির্দেশক ঃ** একটি আয়নন কক্ষ বা আনুপাতিক সংখ্যায়কের ভিতরে দেয়ালে U বা Th এর লবণের প্রলেপ দিয়ে তার উপর নিউট্রন রশ্মি নিক্ষেপ করলে বিভাজন ঘটবে, আর এই বিভাজন খণ্ডগুলি গ্যাসের মধ্যে তীব্র আয়ন প্রবাহ উৎপন্ন করে এই আয়ন প্রবাহ থেকে নিউট্রন নির্দেশ করা সম্ভব।

(4) **প্রতিক্ষিপ্ত (recoiled) প্রোটন পদ্ধতি ঃ** হাইড্রোজেন সম্বলিত পদার্থকে নিউট্রন দিয়ে আঘাত করলে প্রোটন নিঃসৃত হয়। এই প্রতিক্ষিপ্ত প্রোটনগুলিকে আয়নকক্ষ বা আনুপাতিক সংখ্যায়ক দিয়ে নির্দেশ করা যায়।

(1), (2) পদ্ধতি দুটি শ্লথ, নিউট্রনের ও পদ্ধতি (4) উচ্চ শক্তি সম্পন্ন নিউট্রন নির্দেশের উপযোগী। পদ্ধতি (3) উভয় ক্ষেত্রেই প্রযুক্ত হতে পারে।

7.7. ○ রাসায়নিক বিশ্লেষণে নিউট্রনের প্রয়োগ

এই পদ্ধতিতে, যে মৌলটির পরিমাপ করতে হবে, তাকে (n, γ) কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার মাধ্যমে তেজস্ক্রিয় সমঘরে পরিণত করা হয় এবং উদ্ভূত পদার্থের সক্রিয়তা থেকে লক্ষ বস্তুর পরিমাণ বের করা হয়। পদ্ধতিটির দুটি রকমফের আছে— (i) আপেক্ষিক (relative) পদ্ধতি ও (ii) চরম (absolute) পদ্ধতি।

7.7.1. আপেক্ষিক পদ্ধতি ঃ

এই পদ্ধতিতে একটি প্রমাণ বস্তু (যাতে জ্ঞাত মাত্রার পরিমাপণীয় মৌল E আছে) ও পরীক্ষাধীন বস্তু একই পরিবেশে ও শর্তাধীনে একই নিউট্রন ফ্লাক্সে একই সময় ধরে উন্মুক্ত রাখা হয়।

বিশেষ বাহক (Carrier) ব্যবহার করে উভয়ের থেকে পরিমাপনীয় মৌলটিকে পৃথক করে গণক যন্ত্রে তাদের তেজস্ক্রিয়তা মাপা হয়। তারপর গণনা তো অতি সোজা ঃ

$$\frac{\text{পরীক্ষাধীন নমুনা E-র ওজন}}{\text{প্রমাণ বস্তুতে E-র ওজন}} = \frac{\text{নমুনায় E-র মোট তেজস্ক্রিয়তা}}{\text{প্রমাণ বস্তুতে E-র মোট তেজস্ক্রিয়তা}}$$

7.7.2. চরম পদ্ধতি ঃ

এই পদ্ধতিতে পরীক্ষাধীন পদার্থে পরিমাপনীয় মৌলক নির্দিষ্ট নিউট্রন ফ্লাক্সে (নিউট্রন ছাড়া প্রোটন, ডয়েটেরন, α-কণা এবং γ বা x রশ্মি ব্যবহার করা যায়, সেক্ষেত্রে পদ্ধতির সাধারণ নাম উজ্জীবন বিশ্লেষণ) যথেষ্ট সময় ধরে উন্মুক্ত রাখা হয়। বর্তমানে পারমাণবিক চুল্লি দিয়ে যথেষ্ট নিউট্রন সরবরাহ করা হচ্ছে।

কণাপাত (irradiation)-এর পরে বস্তুটিকে দ্রবীভূত করে, বাহকের সহায়তায় কোনও রাসায়নিক আকারে পৃথক করে ফেলা হয় (এই ধাপটির প্রয়োজন। এতে অন্যান্য তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে এর পৃথকীকরণ হয়)। এখন গণক যন্ত্রে এর তেজস্ক্রিয়া মেপে নেওয়া হয়। তা থেকে নিচের সূত্রের সাহায্যে নির্ণেয় পরিমাপ পাওয়া যায়।

$$c = \frac{n\varphi\sigma}{3\cdot7\times10^{10}}\left(1-e^{-(\lambda t)}\right)\text{.....(1)}$$

c = তেজস্ক্রিয়তা (ক্যুরী 30 সংখ্যায়), n = লক্ষবস্তুতে পরমাণু সংখ্যা, φ সেমি $^{-2}$ সে $^{-1}$ = আপতিত নিউট্রন ফ্লাক্স; σ = বিক্রিয়ার প্রস্থচ্ছেদ (সেমি^{2}) [এটি একটি রাশি যা দিয়ে বিশেষ কোনও কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঘটবার সম্ভাব্যতা প্রকাশিত হয়। এর একক সেমি^{2} বা বার্ন (barn); 1 বার্ন = 10^{-24} সেমি^{2}]; t = যতক্ষণ ধরে কণাপাত ঘটেছে। এখন $n = \frac{w\times6\cdot02\times10^{23}}{A}$, w = পরীক্ষাধীন পদার্থের ওজন, A = পারমাণবিক ওজন।

(1) কে পুনর্লিখিত করে পাই, $c = \frac{6\cdot02\times10^{23}\,w\varphi\sigma}{3\cdot7\times10^{10}\,A}\left(1-e^{-\lambda t}\right)$.....(2)

σ কে বার্ন-এ প্রকাশ করে, $\lambda = \frac{0\cdot93}{t_{1/2}}$ ($t_{1/2}$ = অর্ধায়ু) বসিয়ে পাই,

$$= \frac{0\cdot602\,w\varphi\sigma}{3\cdot7\times10^{10}\times A}\left(1-e^{-0\cdot693/t}\right)\text{.....(3)}$$

(3) সূত্রটি খাটবে, যদি পরীক্ষাধীন মৌলটি এক-সমঘরীয় (monoisotopic) হয়। যদি একাধিক সমঘর থাকে তবে বিক্রিয়ায় সংশ্লিষ্ট সমঘরের সমঘরীয় প্রাচুর্য (isotopic abundance) θ হলে সমীকরণ দাঁড়াবে ঃ

$$c = \frac{0\cdot602\,w\varphi\theta}{3\cdot7\times10^{10}\times A}\left(1-e^{-0\cdot693/t_{1/2}}\right)$$

w = 1, হলে c = s, s = আপেক্ষিক সক্রিয়তা।

In, Re, Tr, Sm, Eu, Dy, Ho, Lu, V, As, Sb প্রভৃতি মৌলের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতিতে ভালো ফল পাওয়া গেছে (10^{-12} গ্রা. পর্যন্ত)। কিন্তু Te, Ca, Pb, Bi, Zn, Cd, Na, k প্রভৃতির ক্ষেত্রে ফল রাসায়নিক পদ্ধতির ফলের চেয়ে খারাপ।

অনুশীলনী — 2

1. একটি খুব পাতলা সোনার মুদ্রা 10^{12} (নিউট্রন প্রতি বর্গ সেমি-এ) ফ্লাক্সে 25·6 ঘ. ধরে উন্মুক্ত রাখা হল। বিক্রিয়ায় ^{198}Au ($t_{1/2}$ = 64 ঘ.) উৎপন্ন হল। বিক্রিয়ার প্রস্থচ্ছেদ 98 বার্ন হলে (i) নমুনার আপেক্ষিক সক্রিয়তা বের করুন। (ii) এর সম্পৃক্ত সক্রিয়তাই বা কত?

7.7.3. নিউট্রন শোষণমিতি ঃ

বোরন ও ক্যাডমিয়াম-এর নিউট্রন শোষণ প্রস্থচ্ছেদ খুব বেশি। সেইজন্যই পারমাণবিক চুল্লীতে এদের নিয়ন্ত্রক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। নিউট্রন শোষণমিতি এই দুটি মৌল আর বিরল মৃত্তিকা শ্রেণির আরও কটি মৌল যেমন Sm, Eu, Gd, Ty, Yb, Lu-এর পরিমাপনে প্রয়োগ করা হয়। এই পদ্ধতিতে একটি প্রমাণ নমুনার পরীক্ষাধীন মৌল বা তার যৌগকে তাপীয় নিউট্রনের উৎস এবং নিরীক্ষক (detector)-এর মাধ্যমে স্থাপন করা হয়। নিরীক্ষাতে পৌঁছুনো নিউট্রন ফ্লাক্স নমুনার মৌলের পরিমাণের সমানুপাতিক। পদার্থের বেধ ও অবস্থান স্থির রেখে একটা প্রমাণ অঙ্ক ঠিক করে নেওয়া হয়। তার সাপেক্ষে পরীক্ষাধীন মৌলের পরিমাণ জানা যায়। 10^{-4}M – 10^{-2}M গাঢ়ত্বের পাল্লায় বোরন ও ক্যাডমিয়াম এভাবে নির্ণীত হয়েছে।

7.8. ○ সারাংশ

নিউট্রন কেন্দ্রকের অন্যতম মৌল কণা। এটি কেন্দ্রকণ সমূহের মধ্যে সবচেয়ে ভারি, অনুস্থির ও নিস্তড়িৎ। এর অস্তিত্ব সম্বন্ধে ভবিষ্যত বাণী করে রাদারফোর্ড। 1935 সালে জেমস্ স্যাডউইক $^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$ বিক্রিয়ার মাধ্যমে নিউট্রন আবিষ্কার করেন।

নিউট্রনের ভর 1·008665 ডাল্টন, এর ঘূর্ণন ½ ও অর্ধায়ুষ্কাল প্রায় 12 মি.

সর্বাধুনিক আবিষ্কার থেকে জানা যায় যে এটির আধান প্রকৃতপক্ষে $\left(-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}+\frac{2}{3}\right)$ অর্থাৎ এটি দুটি d (ডাউন) ও একটি u (আপ) কোয়ার্কের সমন্বয়ে গঠিত। এ থেকে নিউট্রনের চৌম্বক ধর্মের ব্যাখ্যা পাওয়া যায়।

মেসন তত্ত্ব (ইউকাওয়া পরিকল্পিত) দিয়ে নিউট্রনের সুস্থিতি / অনুস্থিতি ব্যাখ্যা করা যায়।

নিউট্রনের একাধিক বাস্তব প্রয়োগ আছে। এসব ক্ষেত্রে বিভিন্ন শক্তিসম্পন্ন নিউট্রন ব্যবহৃত হয়। শক্তিভেদে তাই নিউট্রনের শ্রেণিবিভাগ করা হয়ে থাকে।

নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় নিউট্রন উৎপাদিত হয়। এই নিউট্রন নির্দেশ করার প্রয়োজন হয়। একাধিক উৎস থেকে উৎসারিত নিউট্রন নির্দেশ করার বিভিন্ন পদ্ধতি আছে।

বিভিন্ন উৎস থেকে নিউট্রন পাওয়া গেলেও পারমাণবিক চুল্লি থেকে প্রাপ্ত নিউট্রনই সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ।

7.9. ○ প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. নিউট্রন কে আবিষ্কার করেন? এই অবিষ্কারের ইতিহাস লিখুন।
2. (a) নিউট্রনের ভর, আধান, ঘূর্ণন ও আয়ুষ্কাল কত?
   (b) নিউট্রনের ভর কীভাবে নির্ণীত হয়েছে?
   (c) নিউট্রনের আধান শূন্য হওয়া সত্ত্বেও এর চৌম্বক ভ্রামক আছে — ব্যাখ্যা করুন।
3. নিউট্রনের সুস্থিতি আলোচনা করুন।
4. শক্তিভেদে নিউট্রনের শ্রেণিবিভাগ কীভাবে করা হয়ে থাকে?
5. কোন কোন উৎস থেকে নিউট্রন সংগ্রহ সম্ভব? কোন উৎসটি সর্বাধিক গুরুত্বপূর্ণ?
6. বিভিন্ন বিক্রিয়া ও পদ্ধতিতে উৎসারিত নিউট্রন কীভাবে উৎসারিত হয়?

7.10. ○ উত্তরমালা

অনুশীলনী — 1

1. 2u ও 1d : $+\frac{2}{3}+\frac{2}{3}-\frac{1}{3}=+1$

অনুশীলনী — 2

1. এখানে Wa = 10·1 মিগ্রা

Sa = 128 সি-পি-এম্ মিগ্রা $^{-1}$

S = 68·3 সি-পি-এম্ মিগ্রা $^{-1}$

$$\therefore\ w=\frac{10\cdot1(128-68\cdot3)}{68\cdot3}=8\cdot83 \text{ মিগ্রা}$$

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. 7.2 অংশ দেখুন।
2. (a), (b), (c), 7.3 অংশ দেখুন।
3. 7.3.3 অংশ দেখুন।
4. 7.4 অংশ দেখুন।
5. 7.5 অংশ দেখুন।
6. 7.6 অংশ দেখুন।

একক 8 □ নিউক্লীয় (কেন্দ্রকীয়) বিক্রিয়া

গঠন

8.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

8.2 কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার আবিষ্কার

8.3 যৌগ-কেন্দ্রক তত্ত্ব

8.4 প্রাসের শক্তি

8.5 কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার শ্রেণিবিভাগ প্রযোজ্য সংরক্ষণ ক্ষেত্রসমূহ

8.5.1. ভরসংখ্যা সংরক্ষণ

8.5.2. পারমাণবিক-সংখ্যা সংরক্ষণ

8.5.3. শক্তি-সংরক্ষণ নীতি ঃ Q-মান

8.6 কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার শ্রেণিবিভাগ

8.7 কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা

8.7.1. তেজস্ক্রিয় কেন্দ্রকের সনাক্তকরণ পদ্ধতি

8.8 সারাংশ

8.9 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

8.10 উত্তরমালা

8.1. ❍ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ

পরমাণুর অভ্যন্তরীণ গঠন এবং কেন্দ্রকের প্রকৃতি সম্বন্ধে সম্যক্ অবহিত হওয়ার পর বিজ্ঞানীরা ধারণা করলেন যে যদি কোনওভাবে কেন্দ্রকের প্রোটন সংখ্যা অর্থাৎ মৌলের পারমাণবিক সংখ্যার পরিবর্তন ঘটাতে পারলে মৌলবিশেষ থেকে নতুনতর মৌল পাওয়া সম্ভব হতে পারে। আর এই ধারণার বাস্তব সংঘটনের প্রয়াস থেকেই নিউক্লীয় বা কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া (nuclear reaction)-র সূত্রপাত। বর্তমান এককটিতে আমরা এই ধরনের বিক্রিয়া সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করব।

উদ্দেশ্য ঃ

কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার আলোচনায় থাকবে ঃ

- এর আবিষ্কার।

- কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় প্রযুক্ত সংরক্ষণ সূত্রসমূহ।
- Q মান ঃ স্বরূপ ও গুরুত্ব।
- বিভিন্ন ধরনের প্রাস (নিক্ষিপ্ত কণা) ও তাদের শক্তি-বৈষম্য।
- বিভিন্ন ধরনের কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঃ
  (ক) প্রাসের রকমফেরের উপর নির্ভর করে,
  (খ) উদ্ভূত 'অবশিষ্ট কেন্দ্রক' ও 'নিঃসৃত কণা'-র উপর নির্ভর করে।
- যৌগ কেন্দ্রক ও তার বৈশিষ্ট্য।
- কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা ও তার শ্রেণিবিভাগ।

8.2. Q কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার আবিষ্কার

1919 সালে রাদারফোর্ড (E. Rutherford) প্রথম কেন্দ্রক তথা পরমাণুর কৃত্রিম রূপান্তরের পরীক্ষায় সফল হন। তিনি দেখেন যে নাইট্রোজেন গ্যাসকে α কণা দিয়ে আঘাত (bombarded) করলে প্রোটন নির্গত হয় ঃ

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

এটিই কৃত্রিম পদ্ধতিতে সংঘটিত অ-তেজস্ক্রিয় কেন্দ্রকে সংঘটিত প্রথম রূপান্তর। একে আমরা (α, p) বিক্রিয়া বলি। এখানে α হল প্রাস (projectile) ও p হল নিঃসৃত কণা (emitted particle); নাইট্রোজেন হল লক্ষ (target) এবং $^{17}_{8}O$ হল অবশিষ্ট কেন্দ্রক (residual nucleus)। একে আমরা নিচের বিকল্প উপায়েও উপস্থাপিত করতে পারি ঃ $^{14}_{7}N$ (α, p) $^{17}_{8}O$. এর পরেই বিজ্ঞানীরা এই নতুন ক্ষেত্রে গবেষণায় নিরত হন এবং α-কণা ছাড়াও প্রোটন, ডয়েটেরন, নিউট্রন এমনকী γ-রশ্মিকেও প্রাস হিসাবে ব্যবহার করে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া সংঘটিত করতে লাগলেন।

রাদারফোর্ড-এর ব্যবহৃত যন্ত্র-সমবায় নিচে বর্ণিত হল (চিত্র 8·1)

(চিত্র 8.1)

A একটি বন্ধ পাত্র, এতে গ্যাস প্রবেশ করানোর জন্য একটি প্রবেশ দ্বার I_1 ও ম্যানোমিটার আটকাবার জন্য আর একটি দ্বার (I_2) থাকে। S-হল α-কণার উৎস (RaC) আর P একটি ZnS-এর প্রতিপ্রভ পর্দা। পাত্রটির জানালার (w) ঠিক বাইরে অবস্থিত থাকে। P-র বাইরের দিকে থাকে একটি অনুবীক্ষণ যন্ত্র (M), এর মধ্য দিয়ে পর্দায় তৈরি হওয়া চমক (Scintillation) দেখা যায়। SP দূরত্ব নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় F-এর (একটি পাতলা পর্দা, রুপার বা অ্যালুমিনিয়ামের তৈরী) বেধ এমনই যে S থেকে নির্গত α-কণা শোষিত হয়ে যায়। SP দূরত্ব এমনই রাখা হয় যে তা α-কণার পাল্লা থেকে কম হয়, ফলে S থেকে বেরিয়ে আসা α-কণা F-এ পড়ে চমক তৈরি করতে পারে না। A পর্দাটি নাইট্রোজেন দ্বারা পূর্ণ করলে

নির্দিষ্ট সময় পর পর চমক সৃষ্টি হবে। SP > 40 সেমি. হলেও এই চমক দেখা যায়। এ থেকে রাদারফোর্ড এই সিদ্ধান্তে আসেন যে N_2 গ্যাস α-কণা দিয়ে অভিঘাতের ফলে বৃহত্তর পাল্লার কণিকা নিঃসৃত করে— এরাই P-এর উপর চমক-সৃষ্টির জন্য দায়ি। চৌম্বক ক্ষেত্রে তাদের দিক্‌চ্যুত (debiected) করে তিনি প্রমাণ করেন যে এই নিঃসৃত কণিকা $^1H_1$ (প্রোটন p) কণা।

(চিত্র 8.2)

1925 সালে ব্ল্যাকেট (PMS Blackelt) মেঘকক্ষে একই পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করেন। তিনি N_2পূর্ণ কক্ষে সঞ্চরণশীল α-কণার ছবি নিয়ে 20,000 ছবির 4,00,000 α-কণার গতিপথ নিরীক্ষা করে মাত্র গোটা আটেক ছবিতে বিশেষত্ব দেখতে পেলেন (চিত্র 8.2)। কী সে বিশেষত্ব?

এধরনের ছবিতে দেখা যাচ্ছে যে একটি ছাড়া অন্যান্য α-কণার গতিপথ সরলরৈখিক। একটি কণার গতিপথ হঠাৎ করেই শেষ হয়ে প্রান্ত থেকে দুই ভাগে বিভক্ত হয়ে পড়েছে। একটা অংশ অপেক্ষাকৃত দুর্বল— এই অংশ প্রোটনের জন্য। অন্য অংশ খুবই গাঢ় দেখায়— এটি কোনও ভারি কণার গতিপথ সূচিত করে। ব্ল্যাকেট দেখান যে α-কণার গতিপথ ও এই দুটি নতুন কণার গতিপথ একতলে অবস্থান করে।

এই সমস্ত পর্যবেক্ষণ ও তথ্য ব্যাখ্যা করতে গিয়ে ব্ল্যাকেট বলেন ঃ N-লক্ষের সঙ্গে অভিঘাতে α-কণা অন্তর্হিত হয় এবং একটি নতুন কণা (প্রোটন) এবং একটি নতুন কেন্দ্রক উদ্ভূত হয়। শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুযায়ীও α-কণার গতির তল উদ্ভূত কণা ও নতুন কেন্দ্রকের সঙ্গে সমতলে থাকার কথা। স্বভাবতই এই মিথস্ক্রিয়া নিম্নলিখিত উপায়ে উপস্থাপিত হতে পারে ঃ

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{18}_{9}F \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

অর্থাৎ, উদ্ভূত নতুন কেন্দ্রক O-এর 17 - সমঘর।

8.3. ○ যৌগ-কেন্দ্রক তত্ত্ব (Theory of compound nucleus)

α-কণা দিয়ে N-এর অভিঘাত পর্যবেক্ষণ করে রাদারফোর্ড কল্পনা করে নিলেন যে N-কেন্দ্রক α-কণাকে পুরোপুরি শোষণ করে ফেলে— আর, একটি প্রোটন ও অক্সিজেন কেন্দ্রক উৎপন্ন হয়। আর একটি সম্ভাবনাও থেকে যায়। সেটি হচ্ছে α-কণাটি N-এর কেন্দ্রক থেকে একটি প্রোটনকে ধাক্কা দিয়ে বের করে দেয়; সেক্ষেত্রে বিক্রিয়াটি দাঁড়াবে ঃ

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{13}_{6}C + ^{1}_{1}H + ^{4}_{2}He$$

অর্থাৎ এক্ষেত্রে তিনটি কণা উৎপন্ন হবে। এই তিনটি কণার গতিপথ একই তলে তা থাকতেও পারে। এটি কিন্তু ব্ল্যাকেটের পর্যবেক্ষণের সঙ্গে মেলে না।

এসব তথ্য এবং কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া সম্বন্ধীয় অন্যান্য তথ্যাবলি থেকে নীলস্ বোর (Niels Bohr; 1936) তাঁর যোগ-কেন্দ্রক (compound necleus) সম্বন্ধীয় প্রকল্প উপস্থাপিত করেন।

এই তত্ত্বানুযায়ী X কেন্দ্রক x কণা দ্বারা অভিহত (bombarded) হলে, প্রথমোক্ত কণা শেষোক্তটিকে শোষণ করে ফেলে একটি অস্থির (metastable) যৌগ-কেন্দ্রক গঠন করে। এই যৌগ-কেন্দ্রক উত্তেজিত অবস্থায় থাকে (এর আয়ুষ্কাল প্রায় 10^{-16} সে.)। এই সময়ের ব্যবধানে এটি বিঘটিত (disintegrated) হয়ে Y কেন্দ্রক উৎপন্ন ও y-কণা নির্গত করে ঃ

$$^{A}_{Z}X + ^{a}_{z}x \rightarrow \overset{A+a \;\; x \;\; A+a}{_{Z+z}C} \rightarrow ^{A'}_{Z'}Y + ^{a'}_{z'}y$$

বোরের তত্ত্বানুযায়ী যৌগ-কেন্দ্রক C* একাধিক পথে বিঘটিত হতে পারে ঃ

$$C^* \begin{cases} \nearrow Y + y \\ \searrow Y' + y' \end{cases}$$

যথা, $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{18}_{9}F^* \begin{cases} \nearrow ^{17}_{9}F + ^{1}_{0}n \\ \searrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H \end{cases}$

বোর্ এ-ও বললেন যে যৌগ কেন্দ্রক কীভাবে গঠিত হচ্ছে তার উপর তার বিঘটন প্রক্রিয়া মোটেই নির্ভরশীল নয়। যেমন $^{18}_{9}F$ একাধিক পথে উৎপন্ন হতে পারে ঃ

$$\begin{matrix} ^{14}_{7}N + ^{1}_{1}H & \searrow \\ & ^{18}_{9}F^* \\ ^{16}_{8}O + ^{2}_{1}H & \nearrow \end{matrix}$$

ডয়েটেরনের গতিশক্তি নিয়ন্ত্রণ করে অভিন্ন শক্তিসম্পন্ন যৌগ-কেন্দ্রক উৎপন্ন করা সম্ভব। আর ঐ যৌগ কেন্দ্রকের উভয় রকম বিঘটনের সম্ভাব্যতা সেক্ষেত্রে সমান হবে।

চিত্র 8.3

আর যদি প্রাস-এর শক্তি খুব বেশি (> 100 মি-ই-ভো) হয় তবে যৌগ-কেন্দ্রক গঠিতই হয় না। পরিবর্ত কেন্দ্রকটি একাধিক টুকরায় ভেঙ্গে যায়। এই প্রক্রিয়াকে 'স্প্যালেসন' (spelleation) বলা হয়।

কোন কোন ক্ষেত্রে অবশ্য প্রাস সরাসরি লক্ষবস্তুর কেন্দ্রকে প্রবেশ করে, কোন কেন্দ্রকণাকে ধাক্কা দিয়ে তাকে বের করে দেয় এবং নিজেও বের হয়ে যায়। এই প্রক্রিয়াকে বলে প্রত্যক্ষ বিক্রিয়া (Direct reaction)।

ব্ল্যাকেটের পরীক্ষা আরও দেখাল যে কয়েক সেমি. গ্যাসের মধ্য দিয়ে α-কণা গেলে কেন্দ্রকের সঙ্গে এর সংঘাতের সম্ভাব্যতা খুবই কম (50,000 এ VI বা আরও কম)। এই তথ্য রাদারফোর্ডের পর্যবেক্ষণ সমর্থন করে।

1950 সালে ঘোষাল (S. N. Ghosal)-এর কর্তৃক অনুষ্ঠিত পরীক্ষায় এই যৌগ কেন্দ্রক গঠন মতবাদের সত্যতা সর্বপ্রথম প্রতিষ্ঠিত হয়।

8.4. ○ প্রাসের শক্তি (Energy of projectile)

আধানযুক্ত কোন কণা কেন্দ্রকের সমীপবর্তী হলে একটি তীব্র বিকর্ষণ বল সৃষ্টি হয়, এবং এই বলের মান দূরত্ব-হ্রাসের সঙ্গে বাড়তে থাকে; এই ভাবে অগ্রসর হতে হতে যখন অগ্রসরমান কণাটি লক্ষ-কেন্দ্রকের কেন্দ্রকীয় বলের চৌহদ্দির মধ্যে চলে আসে, তখন এটি আকর্ষণ বল অনুভব করবে। অবস্থাটা লক্ষকেন্দ্রক ও অগ্রসরমান আধান যুক্ত কণা (প্রাস)-র অন্তবর্তী দূরত্বের সাপেক্ষে স্থিতিশক্তির পরিবর্তনের লেখচিত্র (চিত্র 8.3) দিয়ে বুঝানো যায়। কেন্দ্রকীয় বলের চৌহদ্দির বাইরে অর্থাৎ r-এর কম দূরত্বে (চিত্র দেখুন) প্রাসের উপর কেবলমাত্র কুলম্বীয় বিকর্ষণ বলই ক্রিয়া করে। কিন্তু r-দূরত্বের মধ্যে আকর্ষণ বলের ভূমিকা গুরুত্বপূর্ণ হয়ে দাঁড়ায়। এখন প্রাস (α, p ইত্যাদি)-এর পক্ষে লক্ষকেন্দ্রকে প্রবেশ করতে গেলে B-এর বেশি পরিমাণ শক্তি প্রয়োজন। এই শক্তির মান পারমাণবিক ভরের উপর নির্ভর করে। A-শক্তি সম্পন্ন অগ্রসরমান কণা এ-দূরত্ব থেকে বিকর্ষিত হবে। কাজেই দেখা যাচ্ছে যে এক্ষেত্রে একটি 'বিভব-প্রতিবন্ধক' (potential – barrier) থাকবে, যা প্রাসের চরিত্রের উপর নির্ভর করে। কোনও নির্দিষ্ট লক্ষকেন্দ্রকের ক্ষেত্রে এর মান P-এর ক্ষেত্রে যা হবে তা α-কণার ক্ষেত্রের মান অপেক্ষা কম। সবচেয়ে ভারি কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে এই বিভব-প্রতিবন্ধক $^{1}_{1}H$ প্রাসের ক্ষেত্রে ~15 মি-ই-ভো এবং $^{4}_{2}He$ এর জন্য ~ 30 মি-ই-ভো। লক্ষ কেন্দ্রকের পারমাণবিক ভরের সঙ্গে পরিবর্তিত হয় (মোটামুটি $Z^{1/3}$ এর সমানুপাতিক অর্থাৎ পারমাণবিক ভর বাড়ার সঙ্গে বাড়ে)। যেহেতু নিউট্রনের উপর কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল নেই, তাই নিউট্রনের ক্ষেত্রে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার জন্য অপেক্ষাকৃত কম শক্তি প্রয়োজন।

এই বিভব প্রতিবন্ধক শুধু যে প্রাসকে প্রভাবিত করে তাই নয়, নিঃসৃত কণার উপরও এর প্রভাব আছে। এই কারণেই কেন্দ্রকের আধানযুক্ত কেন্দ্রকণের ক্ষেত্রেও বিভব-প্রতিবন্ধকতা অতিক্রম করার জন্য তাদের যথেষ্ট উঁচু শক্তিসম্পন্ন করে নিতে হয়; গার্নে (G. W. Gurney) কন্‌ডন (E. U. Condon) এবং গ্যামো (G. Gamow)-র তরঙ্গ বল বিদ্যা' (Wave mechanis) গত আলোচনা থেকে দেখান যে শক্তি প্রতিবন্ধকতা প্রকৃতপক্ষে শীর্ষ না হয়ে সুড়ঙ্গ ধরনের হয়ে থাকে।

আধানসম্পন্ন কণার গতিশক্তি উপযুক্ত পরিমাণে বর্ধিত করতে গেলে সরল ত্বরক (linear accelerntor) সাইক্লোট্রন (cyclotron) সিনক্রোসাইক্লোট্রন (Synchrocyclotron) সিনক্রোট্রন বা বিভাট্রন (bevatron) জাতীয় যন্ত্রের সাহায্য নেওয়া হয়।

যেহেতু পরমাণুসমূহের কেন্দ্রকের আকার ও প্রাসের আকারের হেরফের হয় না, লক্ষবস্তু খুব ছোট হয়; তার ফলে সংঘটের (collison) সম্ভাব্যতা কম হয়। কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় সম্ভাব্যতা প্রস্থচ্ছেদ (cross sutins)-এ প্রকাশিত হয়। এই প্রস্থচ্ছেদের সংজ্ঞা নিম্নরূপ ঃ

$$6 = \frac{N}{Inx}$$

যেখানে ঃ N = লক্ষবস্তুতে প্রক্রিয়া সংঘটনের সংখ্যা,

I = আপতিত কণার সংখ্যা,

n = লক্ষবস্তুর প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে কেন্দ্রকের সংখ্যা,

x = সেন্টিমিটারে লক্ষবস্তুর বেধ।

কেন্দ্রকীয় প্রস্থচ্ছেদের পরিমাপ (magnitude) 10^{-24} সেমি^{2} (= 1 বার্ন) কমের হয়ে থাকে।

8.5. ○ কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় প্রযোজ্য সংরক্ষন ক্ষেত্রসমূহ (Conservation phenomena in nuclear reactions)

কৃত্রিম কেন্দ্রকীয় (স্বাভাবিক ক্ষেত্রেও) বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে দুটি সংরক্ষন সূত্র প্রযোজ্য হয়। এ দুটি নিচে বর্ণিত হল।

8.5.1. ভর-সংখ্যা সংরক্ষণ (Conservation of mass number) ঃ

$${}^{A}_{Z}X + {}^{a}_{z}x \rightarrow {}^{A'}_{Z'}Y + {}^{a'}_{z'}y \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots I$$

বা, ${}^{A}_{Z}X\,(x,y)\,{}^{A'}_{Z'}Y$ .....I(a)

বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $A + a = A' + a'$

উদাহরণ ঃ

(1) ${}^{11}_{5}B + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n$.....(2)

এখানে $11 + 4 = 15 = 14 + 1$

(2) ${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$.....(3)

এখানে $238 = 234 + 4$

8.5.2. পারমাণবিক সংখ্যা সংরক্ষণ (Conservation of atomic number) ঃ

কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ কারী লক্ষকেন্দ্রক ও প্রাস এর মোট প্রোটন সংখ্যা রূপান্তরের আগে ও পরে অপরিবর্তিত থাকে।

অর্থাৎ (1) বা I(a)-র ক্ষেত্রে $Z + z = Z' + z'$।

সমীকরণ (2) এ ঃ $5 + 2 = 7 + 0$

সমীকরণ (3) এ ঃ $92 = 90 + 2$

তাহলে ভরসংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা সংরক্ষণ নীতি থেকে এটা সুস্পষ্ট যে কেন্দ্রক রূপান্তরের সময় মোট নিউট্রন সংখ্যাও অপরিবর্তিত থাকে।

8.5.3. শক্তি-সংরক্ষণ নীতি (Principle of conservtion of Energy) ঃ

Q - মান (Q Value)

কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে আইনস্টাইনের বিখ্যাত ভর শক্তি সমতা নীতি (mass-energy equivalue) প্রয়োগ করতে হয়।

$$^{A}_{Z}X + ^{a}_{z}x \rightarrow ^{A+a}_{Z+z}C \rightarrow ^{A'}_{Z'}Y + ^{a'}_{z'}y$$

বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে লেখা যায় ঃ

$$M_X c^2 + M_x c^2 + E_x = M_Y c^2 + M_y c^2 + E_y \text{ .....(1)}$$

এখানে E_x = প্রাসের গতিশক্তি

E_Y = অবশিষ্ট কেন্দ্রকের গতিশক্তি।

E_y = নির্গত কণার গতিশক্তি।

লক্ষ করুন, (1) সমীকরণে যেখানে কেন্দ্রকীয় ভর ব্যবহার করার কথা, সেখানে আমরা পারমাণবিক ভর ব্যবহার করেছি। এর কারণ হল, দুদিকের ইলেকট্রনের ভর পরস্পরকে প্রশমিত করে।

কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় হয় শক্তি উদ্ভূত হবে, না হয় শক্তির শোষিত হবে। প্রথম ধরনের বিক্রিয়াকে 'শক্তি-মোচী' (exoergic) ও দ্বিতীয় ধরনের বিক্রিয়াকে শক্তি-গ্রাহী (endoergic) বিক্রিয়া বলা হয়। এই উদ্ভূত বা শোষিত শক্তি কে Q মান বলা হয় এবং তা Q অক্ষর দ্বারা নির্দেশিত হয়।

সমীকরণ (1) থেকে পাই ঃ

$Q = EY + Ey - Ex$ .....(2) (যেহেতু ভর-সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা সংরক্ষিত)

(i) Q ধণাত্মক হলে বিক্রিয়াটি শক্তি-মোচী।

(ii) Q ঋণাত্মক হলে বিক্রিয়াটি শক্তি-গ্রাহী।

(1) ও (2) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় ঃ

$Q = M_X c^2 + M_x c^2 - M_Y c^2 - M_y c^2$ ..... (3)

বা, c উহ্য করলে, $Q = M_X + M_x - M_Y - M_y$ ..... (4)

সমীকরণ (4)-এ Q-র মান পাওয়া যাবে পারমাণবিক ভর এককে এবং সমীকরণ (3)-এ মি-ই-ভো এককে।

অর্থাৎ $Q(3) = Q(4) \times 931.502$।

B সংশ্লিষ্ট কেন্দ্রকের বন্ধন-শক্তি (Binding energy) হলে ঃ

$$M_x = ZM_H + NM_n - B_x;\quad M_x = zM_H + nM_n - B_x;$$
$$M_Y = Z'M_H + N'M_n - B_Y;\quad M_y = z'M_H + n'M_n - B_y$$

এখানে M_H = H পরমাণুর ভর

M_N = নিউট্রনের ভর

N, N', n, n' = সংশ্লিষ্ট ক্ষেত্রে নিউট্রনের সংখ্যা।

$\therefore$ (4) থেকে ঃ $Q = ZM_H + NM_n - B_x + zM_H + nM_n - B_x$

$$- Z'M_H - N'M_n + B_Y - z'M_H - n'M_n + B_y \quad .....(5)$$

$Z + z = Z' + z'$ এবং $N + n = N' + n'$ প্রয়োগ করে পাই,

$$Q = B_Y + B_y - B_X - B_x$$

লক্ষকেন্দ্রক খুব হালকা না হলে মৌলের বন্ধন-শক্তি ভরসংখ্যার সমানুপাতিক হয়।

$\therefore\ Q = A'f_B + B_y - A.f_B - B_x \quad [\because f_B$ = বন্ধন ভগ্নাংশ B/A ; $B = A.f_B]$

$= (A' - A).\ f_B + B_y - B_x$ .....(6)

সমীকরণ (4) থেকে স্পষ্ট যে ঃ

$(M_X + M_x) > (M_Y + M_y)$ হলে $Q > 0$ হবে। অর্থাৎ বিক্রিয়া তখন 'শক্তি-যোগী'।

আবার $(M_X + M_x) < (M_Y + M_y)$ হলে $Q < 0$ এবং বিক্রিয়া 'শক্তি-গ্রাহী'। তবে এক্ষেত্রে মনে রাখতে হবে $(M_Y + M_y) - (M_X + M_x)$ এর সমপরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে না পারলে বিক্রিয়াই ঘটবে না। এই শক্তি পাওয়া যাবে প্রায় (x) কণার গতিশক্তি থেকে। এই কণার সম্ভাব্য ন্যূনতম গতি-শক্তি (E_x^{min}) | Q |-এর সমান (প্রকৃতপক্ষে কিছু বেশি) হওয়া দরকার।

আবার প্রাস-এর একটি ভরবেগ (p_x) থাকে, ভরবেগ সম্পন্ন x-কণা শোষিত হওয়ার ফলে যে যৌগ কেন্দ্রক (C') গঠিত হয় তার ভরবেগ (P_C), p_x-এর সমান হবে। কারণ লক্ষ্য কেন্দ্রক (x) স্থানু (অর্থাৎ $p_x = 0$)। কাজেই শক্তি-গ্রাহী কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রাস এর গতিশক্তি (i) বিক্রিয়া সংঘটিত করার জন্য প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি | Q | সরবরাহ করে এবং (ii) যৌগ-কেন্দ্রকের ভরবেগ ও গতিশক্তি সরবরাহ করে। প্রাস-এর এই ন্যূনতম শক্তি কে বলে সূচনাশক্তি (Threshold energy)।

ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র থেকে পাই ঃ

$$M_x V_x = M_c v_c \quad [v = \text{সংশ্লিষ্ট এককের বেগ}] \text{ — (7)}$$

আবার, শক্তি সংরক্ষণ সূত্রানুসারে ঃ

$$\frac{1}{2} M_x v_x^2 = -Q + \tfrac{1}{2} M_c V_c^2 \text{ — (8)}$$

(7) থেকে : $v_c = \dfrac{M_x v_x}{M_c}$ — (9)

(9) ও (8) থেকে পাই ঃ $\frac{1}{2} M_x v_x^2 = -Q + \frac{1}{2} M_c \left(\frac{M_x v_x}{M_c}\right)^2$

$$= -Q + \frac{1}{2} M_x v_x^2 \cdot \frac{M_x}{M_c}$$

বা, $$\frac{1}{2} M_x v_x^2 \left(1 - \frac{M_x}{M_c}\right) = -Q$$

আবার, সূচনা শক্তি $$= E_T = \frac{1}{2} M_x v_x^2 = -\frac{Q}{1 - M_x/M_c} = -Q \cdot \frac{M_c}{M_c - M_x}$$

$$= -Q \frac{M_X + M_x}{M_x} \quad [\because M_c - M_x = M_X]$$

$$= -Q(1 - M_x/M_X) \quad \text{.....(10)}$$

পরীক্ষার মাধ্যমে E_T-র পরিমাপ করা যায়; সেক্ষেত্রে সমীকরণ (10) ব্যবহার করে Q নির্ণয় করা সম্ভব।

8.6. ○ কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার শ্রেণিবিভাগ (Classification of nuclear reactions.)

একাধিক পদ্ধতিতে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার শ্রেণিবিভাজন করা হয়;

(ক) রূপান্তর প্রক্রিয়ার সংযুক্ত মোট (over-all) শক্তির উপর ভিত্তি করে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়াসমূহকে নিম্নলিখিতভাবে শ্রেণিবদ্ধ করা হয়।

(i) প্রাস অধিগ্রহণ (projectile capture) বিক্রিয়া ঃ

প্রায় সমস্ত লক্ষ কেন্দ্রকই শ্লথ নিউট্রন অধিগ্রহণ করতে পারে।

নিউট্রন অধিগ্রহণের ফলে উৎপন্ন মিত স্থায়ী (metastable)

যৌগ কেন্দ্রক γ - নিঃসরণের মাধ্যমে সুস্থিত হয়।

উদাহরণ ঃ $^{85}_{37}Rb + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{86}_{37}Rb \rightarrow ^{86}_{37}Rb + ^{0}_{0}\gamma$

(নিউট্রন সক্রিয়করণ (neutron activition) বিশ্লেষণে এধরনের বিক্রিয়া প্রযুক্ত হয়)

$^{59}_{27}Co + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{27}Co + ^{0}_{0}\gamma$

(ক্যান্সারের চিকিৎসায় এই বিক্রিয়া ব্যবহৃত হয়)

প্রোটিন অধিগ্রহণ ঃ $^{12}_{6}C + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{13}_{7}N \rightarrow ^{0}_{0}\gamma$

(ii) প্রাস অধিগ্রহণ কণা নিঃসরণ (projectile-capture particlemission) বিক্রিয়া ঃ

উপযুক্ত শক্তিসমন্বিত প্রাস লক্ষ-কেন্দ্রক কর্তৃক অধিগৃহীত হয়ে একটি মিতস্থায়ী যৌগ কেন্দ্রক উৎপন্ন করে; এটি এক বা একাধিক কণা নিঃসৃত করে সুস্থিরতা অর্জন করে। এই নিঃসৃত কণাসমূহের প্রকৃতি প্রাস-এর শক্তির উপর নির্ভর করে। অধিকাংশ কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া এই জাতীয় (খ) অংশ দেখুন।

উদাহরণ ঃ $^{11}_{5}B + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{12}_{6}C \rightarrow ^{11}_{6}C + ^{1}_{0}n$

$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{15}_{7}N \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$

$$^{16}_{8}O + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{18}_{9}F \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He$$

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{31}_{15}P \rightarrow ^{30}_{14}Si + ^{1}_{1}H$$

(iii) বিভাজন (fission) বিক্রিয়া।

(iv) সংযোজন (fusion) বিক্রিয়া।

(iii) ও (iv) পরবর্তী এককে বিস্তারিত আলোচিত হবে।

(v) খণ্ডকরণ (Spallation) বিক্রিয়া ঃ

অতি উচ্চশক্তি (~ 400) মি-ই-ভো) সম্পন্ন প্রাস ভারী কেন্দ্রক থেকে অনেকগুলি খণ্ডাংশ বা তার বেশি তুলে নিয়ে আসতে পারে— পড়ে থাকে সনাক্তকরণযোগ্য অবশিষ্ট কেন্দ্রক। এইভাবে উৎপন্ন কেন্দ্রকের পারমাণবিক সংখ্যা মূলের চেয়ে 10 – 20 একক কম হয়। এই বিক্রিয়াকে বলে খণ্ডকরণ বিক্রিয়া। সাধারণ কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার সঙ্গে এর পার্থক্য এই যে, সাধারণক্ষেত্রে পারমাণবিক সংখ্যার হ্রাস 2 এককের বেশি হয় না। আবার বিভাজন (fission)-এর থেকে এর পার্থক্য এই যে খণ্ডকরণ বিক্রিয়া আত্মপুষ্ট (Self sustaining) নয় এবং এর পরিবর্তনও এক্ষেত্রে বিভাজনের অনুরূপ নয়।

উদাহরণ ঃ $^{63}_{29}Cu + ^{4}_{2}He$ (400 মি-ই-ভো) $^{35}_{17}Cl + 14^{1}_{1}H + 16^{1}_{0}n$

$$^{75}_{35}As + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{56}_{25}Mn + 9^{1}_{1}H + 12^{1}_{0}n$$

অনুশীলনী – I

1. নীচের সমীকরণটি সম্পূর্ণ করুন ঃ

$$^{238}_{92}U + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{187}_{74}W + 20^{1}_{1}H + *^{1}_{0}n$$

(খ) অন্য পদ্ধতিতে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া সমূহকে ব্যবহৃত প্রাস-এর উপর ভিত্তি করে শ্রেণিবদ্ধ করা হয়। কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া আধানযুক্ত কণা দ্বারা আবিষ্ট হতে পারে। কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে লক্ষকেন্দ্রকে অতিরিক্ত গতিশক্তি সঞ্চারিত হয় এবং নিউট্রন ও প্রোটন অনুপাত বেড়ে যায়। মিতস্থায়ী যৌগ কেন্দ্রক এভাবে তৈরি হয় (ক) পজিট্রন নিঃসরণের মাধ্যমে, (b) কক্ষকীয় (orbital) ইলেকট্রন অধিগ্রহণ বা (c) সাধারণ ভাঙন (decay) প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

(i) প্রোটন দ্বারা সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

নীচে কয়েকটি এধরনের বিক্রিয়া দেখানো হল ঃ

(p, n) ধরনের $^{23}_{11}Na + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{24}_{12}Mg \rightarrow ^{23}_{12}Mg + ^{1}_{0}n$

(p, α) ধরনের $^{14}_{7}N + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{15}_{8}O \rightarrow ^{11}_{6}C + ^{4}_{2}He$

(p, γ) ধরনের $^{27}_{13}Al + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{28}_{14}Si \rightarrow ^{28}_{14}Si + ^{0}_{0}\gamma$

এদের মধ্যে (p, n) ধরনের বিক্রিয়াই সচরাচর দৃষ্ট হয়। সমীকরণ লক্ষ করলে দেখা যাবে যে মূলতঃ p—n রূপান্তর ঘটে এবং এর জন্য (1·00893 – 1·00813) বা 0·0008 ভর-একক ভর পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করা প্রয়োজন হয়। কাজেই বিভব-ধারা (potential barrier) দূর করার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি ছাড়াও এই 0·0008 একক ভরের সমতুল পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করা প্রয়োজন। এই শক্তি হবে (0·0008 × 931) মি-ই-ভো।

(ii) ডয়েটেরন দ্বারা সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

(d, p) ধরনের $^{59}_{27}Co + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{60}_{27}Co + ^{1}_{1}H$

(d, n) ধরনের $^{209}_{83}Bi + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{211}_{84}Po \rightarrow ^{210}_{84}Po + ^{1}_{0}n$

(d, α) ধরনের $^{12}_{6}C + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{14}_{7}N \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{4}_{2}He$

আধান সম্পন্ন প্রাসসমূহের মধ্যে ডয়েটেরনই সবচেয়ে উপযোগী। এই কণা লক্ষ কেন্দ্রকে ~ 16 মি-ই-ভো শক্তি যোগ করে। এখন ডয়েটেরন (1p, 1n)-এর বন্ধনশক্তি 2 মি-ই-ভো হওয়ায় লক্ষকেন্দ্রক মোট 14 মি-ই-ভো শক্তি সংগ্রহ করে। বিক্রিয়া শৈলীর উপর নিঃসৃত কণা নির্ভর করে। যেমন ঃ

(d, p) ধরনের বিক্রিয়া ঃ ডয়েটেরন লক্ষ কেন্দ্রকের সমীপবর্তী হয়ে দ্বিমেরু আকৃতি ধারণ করে (polarised); বিকর্ষণ বল প্রাসকে ভেঙে ফেলে n ও p উৎপন্ন করে। পরবর্তী ধাপে নিউট্রন অধিগৃহীত হয় আর p বেরিয়ে যায়।

(d, n) ধরনের বিক্রিয়ায় ডয়েটেরন লক্ষ-কেন্দ্রকের বিভব বাধা অতিক্রম করে ঢুকে পড়ে, যৌগ কেন্দ্রক গঠন করে এবং পরবর্তী পর্যায়ে তা থেকে n নিঃসৃত হয়।

অনুরূপ কারণেই (d, α) জাতীয় বিক্রিয়ায় α-কণা নিঃসৃত হবার প্রেক্ষিতরূপে উচ্চ গতিসম্পন্ন d কণা ব্যবহৃত হয়।

(iii) আলফা কণা দ্বারা সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

আপনারা জেনেছেন যে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া রাদারফোর্ড আবিষ্কারই করেছিলেন প্রাস হিসাবে α কণা ব্যবহার করে। তবে পরবর্তী পর্যায়ে দেখা গেছে যে এই α-কণা কম পারমাণবিক ভর সম্পন্ন কেন্দ্রকের ক্ষেত্রেই ভালো ফল দেয়। ভারী কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে উঁচু বিভব বাধা অতিক্রমের জন্য সাইক্লোট্রন ত্বরক দিয়ে শক্তিবৃদ্ধি করা প্রাস ব্যবহৃত হয়। উদাহরণ ঃ

(α, p) ধরনের বিক্রিয়া ঃ $^{19}_{9}F + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{23}_{11}Na \rightarrow ^{22}_{10}Ne + ^{1}_{1}H$

(α, n) ধরনের বিক্রিয়া ঃ $^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{13}_{6}C \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$

$^{238}_{92}U + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{242}_{94}Pu \rightarrow ^{239}_{94}Pu + 3^{1}_{0}n$

$^{239}_{94}Pu + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{243}_{96}Cm \rightarrow ^{242}_{96}Cm + ^{1}_{0}n$

(iv) নিউট্রন দ্বারা সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

নিউট্রন আধান-বিহীন। ফলে এদের লক্ষ-কেন্দ্রকের বাধা বিভব অতিক্রম করতে হয় না। আর হয় না বলেই এর প্রয়োগ যেমন বহুবিধ তেমনি কার্যকরী। আবার নিউট্রন প্রাপ্তব্যও সহজেই। এক তো $^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$ বিক্রিয়া ব্যবহার করে n উৎপন্ন করে ব্যবহার করা যায়, আবার পারমাণবিক চুল্লি থেকে সহজেই শ্লথ n পাওয়া যায়। আসুন, এ-প্রসঙ্গে 'শ্লথ' কথাটার তাৎপর্য একটু বুঝে নিই। পরবর্তী এককে আমরা দেখব ইউরেনিয়াম পরমাণু একটি শ্লথ নিউট্রন দিয়ে আঘাতপ্রাপ্ত হলে এর বিভাজন ঘটে এবং গড়ে তিনটি নিউট্রন উৎপন্ন হয়; আর পাওয়া যায় 200 মি-ই-ভো শক্তি। এই শক্তির কিছুটা (~ 2 মি-ই-ভো) প্রাপ্ত নিউট্রনগুলিতে গতিশক্তি সঞ্চার করে, ফলে নিউট্রন কণাগুলি উচ্চ গতি শক্তি সম্পন্ন হয়। এদের দ্রুত নিউট্রন বলে। গ্র্যাফাইট

বা ভারীজল নিয়ন্ত্রক (moderator) হিসাবে ব্যবহার করে এগুলোর গতিশক্তি কমিয়ে এদের শ্লথ করে দেয়। এদের শক্তি ~ 0·025 ই-ভো। শ্লথ এবং দ্রুত গতি নিউট্রন সমান কক্ষ সহজে লক্ষ-কেন্দ্রকে প্রবেশ করে (কারণ এদের বিভব বাধা অতিক্রম করতে হয় না)। তবে নিউট্রনের গতিশক্তির উপর বিক্রিয়া পথ অর্থাৎ উদ্ভূত অবশিষ্ট কেন্দ্রক ও নিঃসৃত কণার প্রকৃতি নির্ভর করে।

যেমন ঃ $^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n$ (দ্রুত) $\rightarrow ^{239}_{93}Np \rightarrow ^{237}_{92}U + 2\,^{1}_{0}n$

$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n$ (শ্লথ) $\rightarrow ^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{92}U + ^{0}_{0}\gamma$

$^{235}_{92}U$ শ্লথ নিউট্রন দিয়ে বিভাজিত হয়।

নিচে নিউট্রন দিয়ে সংঘটিত কিছু অ-বিভাজন বিক্রিয়া উল্লিখিত হল ঃ

(a) বিকিরণ অধিগ্রহণ (radioative capture) বিক্রিয়া;

(n, r) ধরনের বিক্রিয়া ঃ $^{40}_{18}Ar + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{41}_{18}Ar \rightarrow ^{41}_{18}Ar + ^{0}_{0}\gamma$

(b) নিউট্রন নিঃসরণ বিক্রিয়া অর্থাৎ (n, 2n) বিক্রিয়া ঃ

$^{39}_{19}K + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{40}_{19}K \rightarrow ^{38}_{19}K + 2\,^{1}_{0}n$

$^{85}_{37}Rb + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{86}_{37}Rb \rightarrow ^{84}_{37}Rb + 2\,^{1}_{0}n$

উদ্ভূত 'অবশিষ্ট কেন্দ্রক' তেজস্ক্রিয় হয় (পরে দেখুন)।

(c) আধান সম্পন্ন কণা নিঃসরণ বিক্রিয়া ঃ

অতি দ্রুতগতি নিউট্রন ব্যবহার করে এধরনের বিক্রিয়া সংঘটিত করা যায় ঃ

$^{35}_{17}Cl + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{36}_{17}Cl \rightarrow ^{35}_{16}S + ^{1}_{0}H$

(V) গামা রশ্মি দ্বারা সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

γ - রশ্মিও সীমিত ক্ষেত্রে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঘটাতে সক্ষম।

যেমন ঃ $^{2}_{1}H + ^{0}_{0}\gamma \rightarrow ^{1}_{1}H + ^{1}_{0}n$

$^{9}_{4}Be + ^{0}_{0}\gamma \rightarrow ^{8}_{4}Be + ^{1}_{0}n$

অনুশীলনী — 2

1. নিচের সমীকরণগুলি সম্পূর্ণ করুন ঃ

(i) $^{27}_{13}Al(p,\alpha)^{24}_{12}Mg$, (ii) $^{14}_{7}N(n,p)^{14}_{6}C$, (iii) $^{19}_{9}F(n,\alpha)^{16}_{7}N$, (iv) $^{239}_{94}Pu(\alpha, n)^{242}_{96}Cu$.

2. শূন্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ

(i) $^{85}_{37}Rb + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{86}_{37}Rb + ?$

(ii) $^{16}_{8}O + ? \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He$

(iii) $^{23}_{11}Na + ^{1}_{1}H \rightarrow ? + ^{1}_{0}n$

(iv) $? + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{15}_{8}O + ^{1}_{0}n$

3. 1 নং সম্পাদ্যে উৎপন্ন যৌগ-কেন্দ্রকগুলি কী কী?

8.7. ○ কৃত্রিম (আবিষ্ট) তেজস্ক্রিয়তা (Artificial or Induced Radioactivity)

কৃত্রিম (আবিষ্ট) তেজস্ক্রিয়তার ঘটনা আইরিন জোলিও ক্যুরী ও এফ্ জোলিও-ক্যুরী (I Joliot - curie, F Joliot - Curie) আবিষ্কার করেছিলেন (1933)। বোরন, ম্যাগনেসিয়াম ও অ্যালুমিনিয়ামের উপর α-কণা প্রক্ষেপণের ফল অনুসন্ধান করতে গিয়ে তাঁরা দেখেন যে দুধরনের রশ্মি নির্গত হয় ঃ (i) প্রথম ধরনের রশ্মিতে নিউট্রন বা প্রোটন ছিল। আর (ii) দ্বিতীয় ধরনের রশ্মিতে ছিল পজিট্রন / ইলেকট্রন। α কণার উৎস বন্ধ করে দিলে নিউট্রন / প্রোটন নির্গমন বন্ধ হয়ে যায়, কিন্তু পজিট্রন / ইলেকট্রন বের হতেই থাকে এবং নিঃসরণের প্রাবল্য সূচকীয়ভাবে (exponentially) বা লগারিদ্‌মীয় (logarithmically) ভাবে কমতে থাকে। ঘটনাটি এভাবে ব্যাখ্যাত হল ঃ α কণা প্রক্ষেপণের ফলে যে 'অবশিষ্ট কেন্দ্রক' উৎপন্ন হল তা তেজস্ক্রিয়। এটির বিঘটনে ইলেকট্রন পজিট্রন নিঃসৃত হয়। আর মূল বিক্রিয়ায় নিঃসৃত কণারূপে বের হল নিউট্রন / প্রোটন। ব্যাপারটা এরকম ঃ

$$\left.\begin{array}{l} {}^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n \\ {}^{30}_{15}P \xrightarrow{T_{1/2} = 3.25\ \text{মি.}} {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{1}e \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots(X)$$

এধরনের তেজস্ক্রিয়তা কৃত্রিম পদ্ধতিতে ঘটানো হয় বলে একে কৃত্রিম বা আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা বলা হয়। পরবর্তী পর্যায়ের গবেষণায় প্রায় 500টি বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় সমঘর আবিষ্কৃত হয়। পরবর্তী পরীক্ষাসমূহের ফলে এ-ও দেখা গেল যে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তায় ইলেকট্রন/পজিট্রন ছাড়া α-কণাও নির্গত হতে পারে। প্রাথমিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন কেন্দ্রকটির n : p অনুপাতের উপর নির্ভর করে বোঝা যায় এটি ইলেকট্রন না পজিট্রন--সক্রিয়। পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধি পাবার হলে β^- ও হ্রাস পেতে হলে β^+ নিঃসৃত হবে। এই গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কারের জন্য জোলিও-ক্যুরী দম্পতি নোবেল পুরস্কারে ভূষিত হন (1935)। লক্ষণীয় ঃ কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা সৃষ্ট হয় কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায়; কিন্তু কৃত্রিম কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া মাত্রই কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা সৃষ্টি করে না।

কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় সমঘর উৎপন্নকারী বিক্রিয়াকে প্রক্ষিপ্ত কণা বা প্রাসের উপর নির্ভর করে নিচের মত কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়।

(1) α রশ্মি প্রক্ষেপণে আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা ঃ

(α, p) বিক্রিয়ায় সাধারণতঃ স্থায়ী কেন্দ্রকই সৃষ্ট হয়, তবে কিছু কিছু ক্ষেত্রে অনুস্থির কেন্দ্রেককও সৃষ্ট হয়, যারা β-নিঃসারী।

উদাহরণ ঃ

$$\begin{array}{l} {}^{25}_{12}Mg + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{28}_{13}Al + {}^{1}_{1}H \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\quad \xrightarrow{-e^-} {}^{28}_{14}Si \end{array}$$

(α, n) বিক্রিয়ায় সাধারণতঃ β^+ নিঃসারী তেজস্ক্রিয় পরমাণু পাওয়া যায়। পূর্বোল্লিখিত (X) বিক্রিয়া এর উদাহরণ। আলাদা কিছু ব্যত্যয় বাদ দিলে সাধারণতঃ হাল্কা পরমাণুই α-কণা সংঘর্ষে সাড়া দেয়; তবে Ti, Cr, Cu, Br প্রভৃতি ত্বরিত (accelerated) α-কণার সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটায়।

(2) প্রোটন প্রক্ষেপণে আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা

এক্ষেত্রে সাধারণতঃ (p, n) বিক্রিয়া ঘটে।

$$^{19}_{9}F + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{19}_{10}Ne + ^{1}_{0}n$$

$$\xrightarrow{-e^+} ^{19}_{9}F$$

(3) ডয়েটেরন প্রক্ষেপণে আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা ঃ

(d, p), (d, α) ধরনের বিক্রিয়ায় তেজস্ক্রিয় পদার্থ উৎপন্ন হয়। প্রথম ধরনের বিক্রিয়ায় β^- ও দ্বিতীয় ধরনের বিক্রিয়ায় β^+ নিঃসৃত হয়।

$$^{23}_{11}Na + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{24}_{11}Na + ^{1}_{1}H$$

$$\xrightarrow{} ^{24}_{12}Mg + e^-$$

$^{209}_{83}Bi$ লক্ষে $^{2}_{1}H$ নিক্ষেপণ বিক্রিয়া বেশ কৌতুহলোদ্দীপক। উদ্ভূত পদার্থ (অর্ধায়ুষ্কাল 5·0 দিন) প্রথমে β^- কণা নিঃসৃত করে, তার পরে উৎপন্ন কেন্দ্রেককটি আবার α-কণা নিঃসৃত করে।

$$^{209}_{83}Bi + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{210}_{83}Bi + ^{1}_{1}H$$

$$\xrightarrow{-\beta^-} ^{210}_{84}Po \xrightarrow{-\alpha} ^{206}_{82}Pb$$

(d, n) ধরনের বিক্রিয়া ঃ $^{16}_{8}O + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{17}_{9}F + ^{1}_{0}n$

$$\xrightarrow{} ^{17}_{8}O + e^+ \text{.....(Y)}$$

(4) নিউট্রন প্রক্ষেপণে আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা ঃ

আগেই আপনারা জেনেছেন যে প্রাস হিসাবে নিউট্রনই সবচেয়ে কার্যকরী।

(n, α) ধরনের বিক্রিয়া ঃ $^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{24}_{11}Na + ^{4}_{2}He$

$$\xrightarrow{-e^-} ^{24}_{12}Mg$$

(n, p) ধরনের বিক্রিয়া ঃ $^{23}_{11}Na + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{23}_{10}Ne + ^{1}_{1}H$

$$\xrightarrow{-e^-} ^{23}_{11}Na$$

(n, γ) ধরনের বিক্রিয়া ঃ $^{40}_{18}Ar + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{41}_{18}Ar + ^{0}_{0}\gamma$

$$\xrightarrow{-e^-} ^{41}_{19}K$$

(n, 2n) ধরনের বিক্রিয়া ঃ $^{85}_{37}Rb + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{84}_{37}Rb + 2\,^{1}_{0}n$

$$\xrightarrow{-e^-} ^{84}_{38}Sn$$

(5) γ রশ্মি দ্বারা আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা

17×10^6 ই-ভো শক্তিসম্পন্ন γ রশ্মি কখনো কখনো তেজস্ক্রিয় কেন্দ্রেকক উৎপন্ন করতে পারে।

$$^{31}_{15}P + ^{0}_{0}\gamma \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$$

$$\xrightarrow{-e^+} ^{30}_{14}Si$$

8.7.1. তেজস্ক্রিয় কেন্দ্রেকক সনাক্তকরণের পদ্ধতি ঃ

এই উদ্দেশ্যে রাসায়নিক ও ভৌত উভয় পদ্ধতিই প্রযুক্ত হয়। ভৌত পদ্ধতির মধ্যে পড়ে তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয় পরিমাপন এবং তজ্জন্য গাইগার মুলার গণক ও তড়িদ্‌বীক্ষণ (electroscope) যন্ত্রের ব্যবহার।

রাসায়নিক পদ্ধতিতে উদ্ভূত তেজস্ক্রিয় পদার্থ রাসায়নিক বৈশ্লেষণিক প্রক্রিয়ায় পৃথক করা হয়, যেমন (X) বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সংঘর্ষের পর লক্ষবস্তুকে Hcl–এ দ্রবীভূত করা হয়। ফস্‌ফিন (Alp থেকে) নির্গত হয় — এটি সক্রিয়। অনুরূপ (Y) বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে O-কে H_2O রূপে ডয়েটেরিয়ামের স্রোত (flux)-এ উন্মুক্ত রাখা হয়। বিক্রিয়ার পরে ঐ জলে ফুটন্ত KF দ্রবণ ঢালা হয়; তা থেকে $CaCl_2$ সহযোগে CaF_2 অধঃক্ষেপ ফেলা হয়। এই অধঃক্ষেপ β^+ সক্রিয়।

অনুশীলনী — 3

1. কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তার ক্ষেত্রে কখন β^+ ও কখন β^- বের হবে কী করে বুঝবেন?
2. তেজস্ক্রিয় $^{14}_{6}C$ ———— নির্গমনের ও $^{11}_{6}C$ ———— নির্গমনের মাধ্যমে বিঘটিত হয়। শূন্যস্থান পূর্ণ করুন।
3. ঠিক উত্তরটি বাছুন ঃ

   $^{27}_{13}Al$ সুস্থির। $^{29}_{13}Al$ বিঘটিত হবে ঃ

   (A) নিউট্রন (B) পজিট্রন (C) α (D) β-নির্গমনের মাধ্যমে।

8.8. ○ সারাংশ

1919 সালে রাদারফোর্ড প্রথম কৃত্রিম কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া আবিষ্কার করেন। প্রথম আবিষ্কৃত বিক্রিয়া ঃ

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

সাধারণ ভাবে এ ধরনের বিক্রিয়াকে নিচের যে কোনও উপায়ে প্রকাশ করা যায় ঃ

(i) $^{A}_{Z}X + ^{a}_{z}x \rightarrow ^{A'}_{Z'}Y + ^{a'}_{z'}y$

(ii) $^{A}_{Z}X\ (x, y)\ ^{A'}_{Z'}Y$

$^{A}_{Z}X$ কে বলা হয় লক্ষ-কেন্দ্রক, x-কে প্রাস, Y-কে অবশিষ্ট কেন্দ্রক ও y-কে বলা হয় নিঃসৃত কণা। কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া সম্পন্ন হতে হলে নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে প্রাসকে গতিশক্তি সঞ্চিত হতে হবে।

এই বিক্রিয়া ত্রিবিধ সংরক্ষণ সূত্র প্রযুক্ত হয় ঃ (i) ভরসংখ্যা সংরক্ষণ (ii) পারমাণবিক সংখ্যা সংরক্ষণ ও (iii) শক্তি সংরক্ষণ নীতি। প্রতি বিক্রিয়ার নির্দিষ্ট Q-মান আছে। এই Q-এর মান ধনাত্মক হলে বিক্রিয়াকে শক্তিমোচী ও ঋনাত্মক হলে তাকে শক্তিগ্রাহী বলা হয়।

রূপান্তর প্রক্রিয়ায় সংযুক্ত মোট শক্তির পরিমাণ বা ব্যবহৃত প্রাস-এর উপর ভিত্তি করে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া সমূহকে শ্রেণিবিভক্ত করা হয়।

বিশেষ ধরনের কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় অবশিষ্ট কেন্দ্রক তেজস্ক্রিয় হয়। একে আবিষ্ট বা কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলা হয়।

8.9. ○ প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তার উপর টীকা লিখুন।
2. Q-মান বলতে কী বোঝেন? কীভাবে এর পরিমাপন সম্ভব? এ থেকে সংশ্লিষ্ট কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার স্বরূপ কীভাবে বোঝা যায়?
3. কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রযুক্ত সংরক্ষণ নীতিগুলি আলোচনা করুন।
4. প্রাস হিসাবে নিউট্রনের কার্যকারিতা সর্বাধিক কেন?
5. Al (α, n)P বিক্রিয়ায় অবশিষ্ট যৌগ যে P – তা কী করে বুঝবেন?

8.10. ○ উত্তরমালা

অনুশীলনী — 1

1. 35

অনুশীলনী — 2

(i) $^{27}_{13}Al + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{24}_{12}Mg + ^{4}_{2}He$ (ii) $^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$

অন্যগুলি নিজে চেষ্টা করুন।

2. (i) $^{0}_{0}\gamma$ (ii) $^{2}_{1}H$ (iii) $^{23}_{12}Mg$ (iv) $^{12}_{6}C$
3. (i) $^{28}_{14}Si$ (ii) $^{15}_{7}N$ (iii) $^{20}_{9}F$ (iv) $^{243}_{96}Cm$

অনুশীলনী — 3

1. n : p বা N/Z অনুপাত থেকে। এই অনুপাত > 1 হলে কেন্দ্রকক সুস্থিত হবে। যুগ্ম-অযুগ্ম কেন্দ্রকণ থেকেও বোঝা যায়।

2. β^-, β^+, (3) $_{-1}C^0$

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. 8.7. অংশ দেখুন।
2. 8.5.3. অংশ দেখুন।
3. 8.5. অংশ দেখুন।
4. 8.6. (w) (iv) অংশ দেখুন।
5. 8.7.1 অংশ দেখুন।

একক 9 □ বিভাজন (Fission) ও সংযোজন (Fusion)

গঠন

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

9.2 কেন্দ্রকীয় বিভাজন

9.2.1 সংজ্ঞা

9.2.2 আবিষ্কার

9.2.3 প্রক্রিয়া

9.2.4 নিউট্রন নিঃসরণের সম্ভাব্যতা

9.2.5 বিভাজন উৎপাদন

9.2.6 বিভাজন শক্তি

9.2.7 বিভাজন নিউট্রন

9.2.8 কেন্দ্রীয় বিভাজনের তত্ত্ব

9.2.9 বিভাজন শৃঙ্খল বিক্রিয়া

9.2.10 পারমাণবিক বোমা

9.3 কেন্দ্রকীয় সংযোজন

9.3.1 সংজ্ঞা

9.3.2 বিক্রিয়া-শৈলী

9.3.3 সংযোজন বিক্রিয়ায় উৎপাদিত শক্তি

9.3.4 নক্ষত্র সমূহের জ্যোতির উৎস

9.4 ভারতের পারমাণবিক সম্পদ

9.5 সারাংশ

9.6 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

9.7 উত্তরমালা

9.1. ○ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনাঃ

8 নং এককে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়াসমূহের শ্রেণিবিভাগ করতে গিয়ে আপনারা নিশ্চয় লক্ষ করেছেন যে কেন্দ্রকীয়

রূপান্তর প্রক্রিয়ায় সংযুক্ত মোট শক্তির উপর ভিত্তি করে শ্রেণিবিভাগের সময় দুটো বিশেষ ধরনের বিক্রিয়ার নাম উল্লিখিত হয়েছে (8·6 (ক) iii, iv) — বিভাজন ও সংযোজন বিক্রিয়া। বর্তমান শতাব্দীতে জীবাশ্ম জ্বালানীর পরিবর্ত সন্ধানের যে প্রবণতা দেখা দিয়েছে তার পরিপ্রেক্ষিতে এই দুই ধরনের কেন্দ্রকীয় রূপান্তর বিশেষ গুরুত্ব আরোপের দাবি রাখে। আবার শান্তির জন্য পরমাণু-শক্তি ব্যবহারের ক্ষেত্রেও এদের বিশেষ করে এই মুহূর্তে প্রথমটির গুরুত্ব সমধিক। দ্বিতীয়টির আগামী দিনের শক্তির একটি বিরাট ও সম্ভাব্য উৎসরূপে আত্মপ্রকাশের সম্ভাবনা। বর্তমান এককে এই দুই বিশেষ ধরনের কেন্দ্রকীয় রূপান্তরের সঙ্গে আমরা পাঠকের পরিচয় ঘটাব।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনারা—

- কেন্দ্রকীয় রূপান্তরের বিশেষ দুটি শ্রেণি বিভাজন ও সংযোজন সম্বন্ধে সম্যক অবহিত হবেন।
- শক্তির উৎস হিসাবে এদের গুরুত্ব ও ভবিষ্যৎ সম্ভাবনা সম্বন্ধে জানতে পারবেন।
- বিভাজন বিক্রিয়ার শৈলী সম্বন্ধে জানতে পারবেন।
- এদের তুলনামূলক সুবিধা ও অসুবিধা সম্বন্ধে সম্যক অবহিত হতে পারবেন।

9.2. ○ কেন্দ্রকীয় বিভাজন

9.2.1. সংজ্ঞা ঃ

কেন্দ্রকীয় বিভাজন হচ্ছে এমন এক বিশেষ ধরনের কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া যাতে একটি ভারি কেন্দ্রক যথেষ্ট শক্তি সম্পন্ন নিউট্রন বা অন্য কোন প্রাস (নিক্ষিপ্ত কণা) দ্বারা আঘাত প্রাপ্ত হয়ে এমন এক উত্তেজনা স্তরে স্থিত যৌগিক কেন্দ্র গঠিত হয় যে সুস্থিতি অর্জনের প্রয়াসে এটি ভেঙে গিয়ে মোটামুটি সমান ভরের দুটি অবশিষ্ট কেন্দ্রক উৎপন্ন হয় এবং তার সঙ্গে 2–3টি নিউট্রন নিঃসৃত হয়, আর উৎপন্ন হয় প্রভূত পরিমাণ শক্তি।

9.2.2. আবিষ্কার ঃ

কেন্দ্রকীয় বিভাজন আবিষ্কার করেন মাইট্‌নার (L Meitner) ও ফ্রিশ (O R Frisch) 1934-এ ফের্মি (E Fermi) শ্লথ নিউট্রন দিয়ে U-কে আঘাত করে, β-সক্রিয় মৌলের সন্ধান পান। তিনি ধরে নেন যে এভাবে তিনি ঈপ্সিত ইউরেনিয়ামোত্তর (transuranium) মৌল উদ্ভাবনে সমর্থ হয়েছেন। অর্থাৎ এমন একটা অবস্থা দাঁড়াচ্ছে; $^{A}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{A+1}_{92}U \rightarrow ^{A+1}_{93}U + ^{0}_{-1}e$। কিন্তু অটো হান্ (O. Hahn) এবং স্ট্রাস্‌ম্যান (F. Strassman) দেখালেন যে এ ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার ফলে নিশ্চিত ভাবেই ল্যান্থানাম (La) ও ব্যারিয়াম (Ba) উৎপন্ন হয়। 1939-এ মাইটনার ও ফ্রিশ্ প্রথম উপযুক্ত নিরীক্ষাগুলিকে একত্রে গ্রথিত করে একটি সঠিক ব্যাখ্যা উপস্থাপিত করেন। তাদের মতানুসারে সুস্থির U পরমাণুর কেন্দ্রক একটি নিউট্রন অধিগ্রহণের ফলে এটি এতই অসুস্থির হয়ে পড়ে যে এটি ভেঙে গিয়ে প্রায় সমান পারমাণবিক ভরের দুটি কেন্দ্রক উৎপন্ন করে। মাইট্‌নার ও ফ্রিশ দেখান যে এই বিভাজন খণ্ডগুলি উচ্চ n : p অনুপাতের দরুণ তেজস্ক্রিয় হবে এবং পরপর β-কণা নিঃসরণের মাধ্যমে সুস্থিতি অর্জনের প্রয়াস পাবে। এই β-নিঃসরণের কারণেই ফের্মি উদ্ভূত কেন্দ্রককে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল বলে ভুল করেছিলেন।

9.2.3. প্রক্রিয়া (Process) ঃ

এটি এখন প্রতিষ্ঠিত সত্য যে ^{235}U শ্লথ নিউট্রনের অভিঘাতে বিভাজিত হয় (I) আর ^{238}U উৎপন্ন করে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল (II) অন্যদিকে, ^{238}U দ্রুতগতি নিউট্রনের অভিঘাতে বিভাজিত হয়।

$$\text{I.}\quad {}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n\,(\text{শ্লথ}) \rightarrow {}^{236}_{92}U^{*} \begin{cases} \rightarrow {}^{103}_{42}M_{0} + {}^{131}_{50}Sn + 2\,{}^{1}_{0}n \\ \rightarrow {}^{92}_{36}K_{r} + {}^{141}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n \\ \rightarrow {}^{97}_{39}Y + {}^{135}_{53}I + 4\,{}^{1}_{0}n \end{cases}$$

$$\text{II.}\quad {}^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n\,(\text{দ্রুত}) \rightarrow {}^{239}_{92}U^{*} \xrightarrow[23\cdot5\,\text{মি}]{-\beta^{-}} {}^{239}_{93}Np \xrightarrow[2\cdot33\,\text{দিন}]{-\beta} {}^{239}_{94}Pu \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$^{233}_{92}U$, $^{239}_{94}Pu$ — এরাও শ্লথ নিউট্রন দিয়ে বিভাজিত হয়। দ্রুতগতি নিউট্রন দিয়ে বিভাজিত হয় $^{232}_{90}Th$, $^{231}_{91}Pa$, $^{238}_{92}Pu$। পরবর্তী কালে দেখা গিয়েছে যে $_{73}Ta$-এর মত হাল্কা কেন্দ্রেককও খুব বেশি ত্বরিত কণা দ্বারা বিভাজিত হয়।

9.2.4. নিউট্রন নিঃসরণের সম্ভাব্যতা (Probability of neutron emission) ঃ

(I) থেকে দেখতে পাচ্ছেন যে নিঃসৃত নিউট্রন সংখ্যা 2 – 4 হতে পারে। অর্থাৎ একটি বিভাজন বিক্রিয়া উপস্থাপিত হতে পারে এভাবে ঃ

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{236}_{92}U^{*} \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}P_1 + {}^{A_2}_{Z_2}P_2 + \nu\,{}^{1}_{0}n$$

ν একটি পূর্ণ সংখ্যা। এর বিভিন্ন মানের সম্ভাব্যতা সারণি (9.1)-এ দেওয়া হল।

সারণি 9.1

ν	0	1	2	3	4	5
প্রতি 1000 বিভাজনে সম্ভাব্যতা (n_ν)	27	158	339	302	130	34

9.2.5. বিভাজন - উৎপাদন (Fission - yield) ঃ

(I) বিক্রিয়ায় তিনটি রূপান্তর দেখানো হয়েছে। এরা কিন্তু 30 বা ততোধিক রূপান্তরের মধ্যে কয়টি মাত্র।

প্রকৃতপক্ষে ^{235}U-এর বিভাজনের ফলে 40টি বিভিন্ন মৌলের ~ 160 টি সমঘর উৎপন্ন হয়। এই মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যার পাল্লা 30 (Z_n) থেকে 63 (E_u); আর পারমাণবিক ভারের পাল্লা 72 – 162 উৎপন্ন হাল্কা (100 পর্যন্ত ভর সংখ্যা) পরমাণুর সংখ্যা ও ভারি (100-র উপর ভরসংখ্যা) পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত 5 : 7 হয়ে থাকে (চিত্র 9.1)। সবচেয়ে সম্ভাব্য বিভাজন ঘটনা (fission event 6.4%) ঘটে পারমাণবিক ভর 95 ও 139 সম্পন্ন মৌলের ক্ষেত্রে আর ন্যূনতম ঘটে 117-র ক্ষেত্রে।

বিভাজনের ফলে উৎপন্ন মৌলগুলির অধিকাংশই তেজস্ক্রিয়; তারা β ও γ রশ্মি নির্গত করে আর সুস্থিতি অর্জন পর্যন্ত এ ঘটনা অব্যাহত থাকে। এই β-নির্গমনই ফের্মিকে ভুল বুঝিয়েছিল।

(চিত্র 9.1)

$$^{141}_{56}Ba \xrightarrow{-\beta} {}^{141}_{57}La \xrightarrow{-\beta} {}^{141}_{58}Ce \xrightarrow{-\beta} {}^{141}_{59}Pr$$

$$^{92}_{36}Kr \xrightarrow{-\beta} {}^{92}_{37}Rb \xrightarrow{-\beta} {}^{92}_{38}Sr \xrightarrow{-\beta} {}^{92}_{39}Y \xrightarrow{-\beta} {}^{92}_{40}Zr$$

$$^{133}_{51}Sb \xrightarrow{-\beta} {}^{133}_{52}Te \xrightarrow{-\beta} {}^{133}_{53}I \xrightarrow{-\beta} {}^{133}_{59} \times e \xrightarrow{-\beta} {}^{133}_{55}Cs$$

উৎপন্ন অংশগুলির ভর বিভাজন করা হয়—

পুঞ্জীভূত শৃঙ্খল বিভাজন উৎপাদন (Cumulative chain fission yield) দ্বারা। এর সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

$$Y(A) = \frac{\text{A-ভর সংখ্যার উদ্ভূত কেন্দ্রকের সংখ্যা}}{\text{মোট বিভাজিত কেন্দ্রকের সংখ্যা}} \times 100$$

9.2.6. বিভাজন শক্তি (Fission energy) :

কেন্দ্রকীয় বিভাজনের ফলে প্রভূত পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয়। প্রতিটি পরমাণু U-এর বিভাজনে উৎপন্ন শক্তির পরিমাণ ~ 200 মি-ই-ভো ভোল্ট। এই উদ্ভূত শক্তির মূলে আছে বিক্রিয়ার ফলে 0.1% ভরের অবলুপ্তি। উদ্ভূত শক্তির বিরাট অংশই তাপশক্তি রূপে প্রকাশিত হয়, এবং সামান্য অংশ উৎপন্ন নিউট্রনসমূহের গতিশক্তি সঞ্চারণে ব্যয়িত হয়।

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 2 - 3^{1}_{0}n + 200 \text{ মি-ই-ভো}$$

এই (বা অনুরূপ) বিক্রিয়ায় মোট ভরের কিয়দংশের অবলুপ্তি ঘটে অর্থাৎ বিভাজন খণ্ডাংশসমূহ এবং নিঃসৃত নিউট্রনের মোট ভর U-পরমাণু ও নিঃক্ষিপ্ত নিউট্রনের মোট ভরের চেয়ে কম হয়। ভারি U কেন্দ্রকের বন্ধন-শক্তি মাঝামাঝি ধরনের (যেমনটা নাকি বিভাজনের ফলে উৎপন্ন হয়) কেন্দ্রকের বন্ধন শক্তির থেকে কম হয়। সেই কারণেই বিভাজন ঘটে। বিভাজনের ফলে ভরের অবলুপ্তির পরিমাণ = 0.215 পা-ভ-একক/প্রতি U-পরমাণু। ∴ উদ্ভূত শক্তির পরিমাণ = 0.215 × 931 = 200 মি-ই-ভো। গড় মান 198 মি-ই-ভো। এর মধ্যে ~ 184 মি-ই-ভো ব্যবহারযোগ্য শক্তি হিসাবে পাওয়া যায়।

নিচে বিভিন্ন দিক থেকে এই উদ্ভূত শক্তির পরিচয় দেওয়া হল ঃ

(1) 1 কেজি ^{235}U থেকে কত শক্তি নির্গত হবে?

1 গ্রা পরমাণু ^{235}U-এ 6.02×10^{23} সংখ্যক ^{235}U পরমাণু আছে।

$\therefore$ 1 কে জি বা 1000 গ্রা ^{235}U-এ $\frac{6\cdot02\times10^{26}}{235}$ সংখ্যক ^{235}U পরমাণু আছে।

$\therefore$ নির্গত শক্তির পরিমাণ $= \frac{6\cdot02\times10^{26}}{235}\times184 = 4\cdot75\times10^{26}$ মি-ই-ভো

$= \frac{4\cdot75\times23\times10^{35}}{6\cdot02\times10^{23}}$ ক্যালোরি [$\because$ 1ই-ভো ঃ 23 কি-ক্যালোরি / মোল]

$= 8\cdot15\times10^{12}$ ক্যালোরি $= \frac{18\cdot15\times10^{12}}{8\cdot75\times10^{5}}$ ক্যালোরি

[1 কি-ওয়াট ঘন্টা $= 10^3\times60\times60$ জুল $= \frac{36\times10^5}{4\cdot2} = 8\cdot57\times10^5$ ক্যালোরি]

$= 2.1\times10^7$ কিলো ওয়াট ঘন্টা (KWH)

(2) U ও কয়লার জ্বালানি মূলের তুলনা ঃ

1গ্রা. U-এর বিভাজনে 0·1% ভর-হ্রাস ঘটে অর্থাৎ 0·01 গ্রা. ভর হ্রাসপ্রাপ্ত হয়।

$\therefore$ উদ্ভূত শক্তি $= 0\cdot001\times9\times10^{20} = 9\times10^{17}$ আর্গ

$= \frac{9\times10^{17}}{4\cdot2\times10^{7}} = 2\cdot14\times10^{10}$ ক্যালোরি।

এখন 1গ্রা কার্বন প্রায় 8000 ক্যালোরি তাপশক্তি দেয়।

[$C + O_2 = Co_2 + 97000$ কিক্যা।]

খুব ভালো ধরনের (যেমন অ্যানথ্রাসাইট) কয়লায় 94% কার্বন থাকে, বাকীরা দাহ্য কিছু পদার্থ ধরেই নিই আমরা যে কয়লায় পুরো শত শতাংশ কার্বন আছে।

$\therefore$ 8000 ক্যালোরি পাওয়া যায় 1 গ্রা. C থেকে

$\therefore$ 2.14×10^{10} ক্যালোরি পাওয়া যায় $= \frac{2\cdot14\times10^{6}}{8000} = \frac{21\cdot4}{8}\times10^{6}$

$= 2\cdot625$ গ্রা.

$= \frac{2\cdot625\times10^{6}}{453} = \frac{2\cdot625}{453}\times10^{3}$ পাউন্ড

$= 5\cdot79\times10^{3}$ পাউন্ড $= \frac{5790}{2240}$ বা $2\cdot58$ টন।

অনুশীলনী — 1

1. পরমাণু ^{235}U-এর বিভাজনে 200 মি-ই-ভো শক্তি উৎপন্ন হয়। সেকেন্ড ওয়াট ক্ষমতা উৎপন্ন করতে কটি বিভাজন দরকার হবে? 1 গ্রা. ইউরেনিয়াম থেকে বিভাজনের ফলে কত জুল শক্তি পাওয়া যাবে?

2. ^{235}U নিউট্রন দিয়ে বিভাজিত হয়ে 96 ও 138 ভর সমন্বিত দুটি ভগ্নাংশ এবং দুটি নিউট্রন উৎপন্ন করে।

এদের ভর যথাক্রমে 235·1175, 95·9358 ও 137·9487 ভর একক এবং নিউট্রনের ভর 1·00898 ভর একক। উদ্ভূত শক্তির পরিমাণ বের করুন।

3. একটি পারমাণবিক চুল্লির ক্ষমতা 60,000 কিলো ওয়াট ঘণ্টা। 20% তাপীয় শক্তি তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং প্রতিটি বিভাজনের 200 মি-ই-ভোল্ট শক্তি উৎপন্ন হয়। বছরে ব্যয়িত U-এর পরিমাণ বের করুন। যদি প্রাকৃতিক U জ্বালানী হিসাবে ব্যবহৃত হয়, তবেই বা কতটা U লাগবে? প্রাকৃতিক U-এ 0·7% বিভাজনযোগ্য U থাকে।

9.2.7. বিভাজন নিউট্রন ঃ

আগেই আপনারা দেখেছেন যে প্রতিটি পরমাণু U-এর বিভাজন 2-3টি নিউট্রন উৎপন্ন হয়। পারমাণবিক শক্তি উৎপাদনে বিভাজন প্রতি উৎপন্ন নিউট্রনের সংখ্যা ν খুবই গুরুত্বপূর্ণ। তার সঙ্গে আরেকটি প্রয়োজনীয় তথ্য বিভাজন প্রতি শোষিত নিউট্রনের সংখ্যা (η)। η-র মান অবশ্যই ν-থেকে কম। তবে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ ν/η-র মান (ব্যবহার প্রতিটি নিউট্রণ পিছু নিঃসৃত নিউট্রন সংখ্যা)। নিচের সারণিটি লক্ষ করুন ঃ

সারণি 9.2

বিভাজিতব্য মৌল	ν	η	ν/η
^{233}U	2.50	2.27	1.101
^{235}U	2.43	2.07	1.179
প্রাকৃতিক U	2.47	1.34	1.85
^{239}Pu	2.89	2.08	1.38

বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই (>99%) বিভাজন নিউট্রনগুলি তৎক্ষণাৎ (10^{-14} সেকেণ্ডের মধ্যে) বেরিয়ে পড়ে। এদের বলা হয় তাৎক্ষণিক (prompt) নিউট্রন। এদের সংযুক্ত শক্তির পরিমাণ 0·05 – 17 মি-ই-ভো।

খুব কম সংখ্যক (< 1%) নিউট্রন কয়েক সেকেণ্ড থেকে এক মিনিটের কিছু বেশি সময়ে বিলম্বিত হয়। এদের বলে বিলম্বিত (delay) নিউট্রন। ^{235}U-এর ক্ষেত্রে এরকম নিউট্রনের সংখ্যা মোট বিভাজন নিউট্রনের 0·64%।

বিভিন্ন সমান্তরে এই বিলম্বিত নিউট্রন গুচ্ছাকারে বেরিয়ে আসে। এরকম ছয়টি গুচ্ছ নির্দিষ্ট করা হয়েছে। এদের অর্ধায়ুষ্কাল 0·2 সে. – 2 মি.।

9.2.8. কেন্দ্রকীয় বিভাজনের তত্ত্ব ঃ

কেন্দ্রকীয় বিভাজন ব্যাখ্যা করার জন্য বোর্ (N. Bohr) ও হুইলার (J A Wheela) তরল (প্রবাহী) ফোঁটা কেন্দ্রক কাঠামো [liquid (Fluid) drop nucluar model EPH 14 Block I পাঠাক্রম দেখুন] প্রস্তাবিত করেন।

এই মত অনুযায়ী সাম্যবস্থায় পরমাণুর কেন্দ্রক তীব্র কেন্দ্রকীয় বলের প্রভাবে গোলকাকৃতি প্রতিসমতায় অবস্থান করে। যখন কোনও ^{235}U কেন্দ্রক নিউট্রন শোষণ করে যৌগিক কেন্দ্রক উৎপন্ন করে, তখন এটি কিছু পরিমাণ উত্তেজনা (excitation) শক্তি পায় — এই শক্তির পরিমাণ হয় যৌগিক কেন্দ্রে নিউট্রন-এর বন্ধন-শক্তি

ও নিঃসৃত নিউট্রনের গতিশক্তির যোগফল। এই শক্তির প্রভাবে কেন্দ্রক গোলকের আকৃতির পরিবর্তন হয়ে উপবৃত্তকাকার হয়; শক্তির পরিমাণ বেশি হলে উপবৃত্তকটি (ellipsoid)-র মধ্যিখান আরও সরু হয়ে একটা ডাম্বেল আকৃতি ধারন করে। ক্রমাগত এভাবে আকৃতির পরিবর্তন হতে থাকে। কেন্দ্রকটির স্পন্দন (vibration) দ্রুততর হয়। শক্তির পরিমাণ খুব বেশি হলে এই স্পন্দনের বিস্তার (amplitude) এত বেড়ে যায় যে কেন্দ্রক ভেঙে দু টুকরো হয়ে যায় এবং কয়েকটি কণার নিঃসরণ ঘটে (চিত্র 9.2)

চিত্র 9.2

কেন্দ্রক বিভাজন করতে ন্যূনতম যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় তাকে 'অবম শক্তি' (Threshold energy) বলে (E_s)। $E_c > E_f$ হলে বিভাজন ঘটে।

নিচের সারণিতে বিভিন্ন কেন্দ্রকের E_c (যৌগিক কেন্দ্রের বন্ধন-শক্তি) এবং তার Σ_n-এর মান দেওয়া হল।

সারণি 9.3

মূল কেন্দ্রক	যৌগিক কেন্দ্রক	মি-ই-ভো	মি-ই-ভো
^{232}Th	^{233}Th	5.2	6.9
^{238}U	^{239}U	5.2	5.9
^{235}U	^{236}U	6.4	5.3
^{239}Pu	^{340}Pu	6.6	5.0

এ থেকে স্পষ্ট যে ^{235}U ও ^{239}Pu-এর ক্ষেত্রে বিভাজন ঘটবে শ্লথ নিউট্রন দিয়ে। ^{238}U-এর ক্ষেত্রে প্রাস নিউট্রনের গতিশক্তি হতে হবে $E_k = E_f - E_p = 5.9 - 5.2 = 0.7$ মি-ই-ভো।

বোর্ ও হুইলার গাণিতিক উপায়ে দেখিয়েছেন যে কেন্দ্রকের একই সংকট আকার' (critical size) থাকে, যার উপরে গেলে বিকটণ বল কেন্দ্রককে একত্রে ধরে রাখার জন্য প্রয়োজনীয় বলের চেয়ে বেশি হয়। তাঁরা আরও দেখিয়েছেন যে বিভাজনের প্রবণতা $\frac{Z^2}{A}$ (Z = পারমাণবিক সংখ্যা, A = ভর সংখ্যা)-র উপর নির্ভর করে। $\frac{Z^2}{A}$র সংকট মান 50-এ থেকে প্রতীয়মান যে সুস্থিতির জন্য পারমাণবিক সংখ্যা ও ভর সংখ্যায় গরিষ্ঠ মান হবে যথাক্রমে 15 ও 265। এরকম একটি কেন্দ্রেকক অসুস্থির এবং এর স্থায়িত্বকাল 10^{-12} সে. বা তারও কম।

অবশ্য এই ধরনের গণনা আনুমানিক আর এই সীমা মানও একেবারে সঠিক নয়। তবে এ-ও ঠিক যে এই হিসাবের গুরুত্ব আছে, কারণ $\frac{Z^2}{A}$র মান 40 এর বেশি হলে স্বতঃস্ফূর্ত বিভাজন-এর অর্ধায়ুষ্কাল খুবই কম। $\frac{Z^2}{A} < 40$ হলে বিভাজন সম্ভব হয় না — যদি না কেন্দ্রকে যথেষ্ট শক্তি সরবরাহ করা হয়। এটিই হচ্ছে বিভাজনের 'সংকট শক্তি'। $^{239}_{94}Pu$ ক্ষেত্রে $\frac{Z^2}{A} = 37$, $^{238}_{92}U$ এর ক্ষেত্রে 36.4 আর $^{235}_{92}U$ ক্ষেত্রে 36.0। এই মানগুলি বেশ

বেশি, কিন্তু বিভাজনের জন্য সরবরাহ করতে হবে— এমন প্রয়োজনীয় শক্তির সীমা মানের হিসাবে যথেষ্ট কমও বটে। ^{236}U-র জন্য সংকট শক্তি 5.5 মি-ই-ভো; হালকা ধাতুর ক্ষেত্রে (যেমন Bi, Pb, Ta) $\frac{Z^2}{A}$-র মান 30 বা কম ও সংকট শক্তি খুবই বেশি। আর সে জন্যই এদের বিভাজন সম্ভব নয়।

9.2.9. বিভাজন শৃঙ্খল বিক্রিয়া (Fission chain reaction) ঃ

আপনারা জেনে গেছেন যে প্রতিটি U-পরমাণুর বিভাজন 2-3টি নিউট্রন বের হয়। এই নিউট্রনগুলি শক্তি সঞ্চয় করে দ্রুত গতি সম্পন্ন হয়। এরা নিয়ন্ত্রক (moderator) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত শক্তি সম্পন্ন হয় অর্থাৎ এরা শ্লথ নিউট্রনের পরিণত হয়ে আবার বিভাজন ঘটাবে। এইভাবে বিভাজনের জন্য প্রয়োজনীয় নিউট্রনের সংখ্যার চেয়ে বেশি সংখ্যক নিউট্রন উৎপন্ন হয়। বিভাজন প্রক্রিয়া তাই আত্ম-পুষ্ট (Sub sustaining) এবং শৃঙ্খল প্রক্রিয়া (Chain reaction) (চিত্র 9.3) অনুযায়ী চলতে থাকে।

(চিত্র 9.3)

এভাবে বিভাজন সংখ্যা বাড়তে বাড়তে বৃদ্ধি যদি খুব বেশি হয়ে পড়ে তবে বিক্রিয়া তীব্র হয়ে পড়ে, শক্তি উৎপাদন খুবই বেশী হয় যেমনটি ঘটে পারমাণবিক বোমার বিস্ফোরণের ক্ষেত্রে।

যদি বিভাজিতব্য পদার্থ পরিমাণে খুব কম হয়, তবে উৎপন্ন নিউট্রনের বেশিরভাগই বাইরে বেরিয়ে যায়, অর্থাৎ অন্য U-পরমাণুর সঙ্গে সংঘর্ষে লিপ্ত হতে পারে না, শৃঙ্খল বিক্রিয়াও ঘটে না। শৃঙ্খল বিক্রিয়া ঘটার জন্য বিভাজিতব্য জ্বালানীর একটি ন্যূনতম ভর হওয়া প্রয়োজন। একে বলে সংকট ভর। এই ভরের নিচে Z বিভাজিতব্য পদার্থের ভরকে বলে 'অব-সংকট ভর' (Sub-critical mass)। সংকট ভরের বেশি বা সমান ভরের লক্ষ বস্তু থাকলেই শৃঙ্খল বিভাজন বিক্রিয়া চলতে থাকবে। সংকট ভরের চেয়ে খুব বেশি পরিমাণ বিভাজিতব্য

জ্বালানী থাকলে বিভাজন খুব দ্রুতহারে হতে থাকে, ফলে তীব্র বিস্ফোরণ ঘটার সম্ভাবনা থাকে। পারমাণবিক বোমা বিস্ফোরণ ঠিক এই নীতির উপর ভিত্তি করেই পরিকল্পিত।

9.2.10. পারমাণবিক বোমা ঃ

পারমাণবিক বোমা (চিত্র 9.4)-য় বিভাজিতব্য পদার্থের (^{233}U, ^{235}U, ^{230}Pu) দুটি অংশ থাকে। দুটিরই ভর অব-সংকটীয়। প্রথমটি থাকে B অবস্থানে একটি কীলকের মধ্যে এর। ঠিক পিছনেই A অবস্থানে একটি বাক্সে ঠাসা থাকে সাধারণ ধরনের রাসায়নিক বিস্ফোরক। এর বিস্ফোরণ ঘটলে তার চাপে কীলকটি ছুটে এসে c-অবস্থানে রাখা লক্ষ বস্তুর অপর অংশে এসে মিশে যায়, ফলে বিভাজিতব্য জ্বালানীর পরিমাণ সংকট ভর বেরিয়ে যায়। এরপরে এক কোণায় সঞ্চিত ভাণ্ডার থেকে বিচ্ছিন্ন তাপীয় নিউট্রন এসে শৃঙ্খল বিক্রিয়া শুরু করে। পারমাণবিক বোমার ধ্বংসকার্য সাধিত হয় ঃ

(চিত্র 9.4)

(i) কেন্দ্রকীয় প্রভাবে অর্থাৎ γ-রশ্মি, নিউট্রন ও বিভাজন খণ্ডাংশ (fission fragments) থেকে; প্রকৃত পক্ষে নিউট্রনই জীবজগতের উপর সবচেয়ে ক্ষতিকর প্রভাব ফেলে, কারণ নিউট্রন বস্তুর মধ্যে প্রবেশ করে গৌণ (secondary) বিক্রিয়া সম্পন্ন করে নতুনতর তেজস্ক্রিয় রশ্মি উৎপন্ন করে।

(ii) উচ্চ তাপ মাত্রা থেকে; প্রায় 10^7 ডিগ্রি তাপমাত্রা উঠে যায়। হিরোসিমায় দেখা গিয়েছিল যে কয়েক কিলোমিটার ব্যাসার্ধের স্থানে সব কিছু পুড়ে নিঃশেষ হয়ে গিয়েছিল। বায়ুপ্রবাহের বেগ ভীষণভাবে বেড়ে গিয়ে ছিল, দূরবর্তী স্থানেও চৌবাচ্চায় জল ফুটছিল।

(iii) অভিঘাত ক্ষেত্রে ঃ প্রচণ্ড ধাক্কা (shock)-র তরঙ্গায়িত অভিঘাতে বায়ুচাপ বেড়ে গিয়ে টোর্নেডোর মত প্রচণ্ড বাত্যাপ্রবাহ সৃষ্টি হয়ে বাড়িঘর ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়।

অনিয়ন্ত্রিত কেন্দ্রকীয় বিভাজন সম্মুখভাগের বিস্ফোরক প্রজ্জ্বালনের মাধ্যমে পারমাণবিক তোপ দাগতে এবং দিক নিয়ন্ত্রিত মিসাইল নিক্ষেপে প্রযুক্ত হয়। নিয়ন্ত্রিত কেন্দ্রকীয় বিভাজন পারমাণবিক ডুবোজাহাজ, রকেট ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়।

হিরোসিমা (6 আগষ্ট, 1942) ও নাগাসাকিতে (9 ই আগষ্ট, 1942) যে দুটি পারমাণবিক বোমা নিক্ষিপ্ত হয় তাদের বিধ্বংসী ক্ষমতা 20,000 টন ট্রাইনাইট্রো টলুইনের সমান।

9.3. ○ কেন্দ্রকীয় সংযোজন (Nuclear Fusion)

উপযুক্ত কেন্দ্রক বিভাজনের 26 উৎপন্ন শক্তি (কেন্দ্রকীয় শক্তি) নিয়ন্ত্রিত করে পৃথিবীর অনেক দেশেই

(ভারতবর্ষ ও তার মধ্যে আছে) শক্তির উৎসরূপে ব্যবহৃত হচ্ছে। এ ছাড়া আরও এক ধরনের কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া আছে যার সম্ভাবনা অতুল। একেও মানব কল্যাণে প্রয়োগের জন্য ভূপৃষ্ঠস্থ বীক্ষণাগারে সংঘটিত করার প্রয়াস চলছে। এই বিক্রিয়ার নাম কেন্দ্রকীয় সংযোজন (nuclear fusion)। এটি মূলতঃ বিভাজন বিক্রিয়ার বিপরীত। এ ধরনের বিক্রিয়ায় বিভাজন বিক্রিয়ায় উদ্ভূত শক্তির প্রায় সাতগুণ শক্তি উৎপন্ন হওয়ার সম্ভাবনা।

9.3.1. সংজ্ঞা ঃ

কেন্দ্রকীয় সংযোজন বলতে বোঝায় এমন এক প্রক্রিয়া যাতে লঘু কেন্দ্রকগুলির সংযোজনে বেশি ভারি কেন্দ্রক উৎপন্ন হয়।

খুব লঘু মৌলসমূহের সমঘরগুলি (যেমন $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$, $^{6}_{3}Li$) পরস্পরের সঙ্গে বিশেষ অবস্থায় সংযোজিত হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ ঃ ডয়েটেরিয়াম ও ট্রাইটিয়াম সংযোজিত হয়ে হিলিয়ামের মত সুস্থিত কেন্দ্রক উৎপন্ন করে,

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + 17{\cdot}60 \text{ মি-ই-ভো}$$

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{1}H + ^{1}_{1}H + 4{\cdot}01 \text{ মি-ই-ভো}$$

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n + 3{\cdot}26 \text{ মি-ই-ভো}$$

$$^{3}_{2}He + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{1}H + 18{\cdot}30 \text{ মি-ই-ভো}$$

9.3.2. বিক্রিয়া - শৈলী ঃ

সংযোজনে বিক্রিয়ায় লক্ষ কেন্দ্রক ও প্রাস-কণা উভয়ই হাল্কা হওয়ায় এদের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটে। এই বিকর্ষণ অতিক্রম করাবার জন্যে প্রাস-কণার সুউচ্চ পরিমাণ শক্তি সঞ্চারিত করা হয়। এই কাজের জন্য সাধারণতঃ কণিকা ত্বরক (particle accelerator) ব্যবহার করা হয়। তবে আধান কম হওয়ায় $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$ জাতীয় কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে বিকর্ষণ বল অতিক্রম করতে পারার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির পরিমাণ কমই, যেমন দুটি ডয়েটেরিয়াম পরমাণুর পক্ষে সংযোজন ঘটাবার জন্য পরস্পরের 3×10^{-13} সে.মি. দূরত্বে আসা প্রয়োজন। এই অবস্থায় দুয়ের মধ্যে

কুলম্বীয় স্থিতি শক্তির পরিমাণ, $V = \frac{e^2}{R} = \frac{(4\cdot8\times10^{-10})^2}{3\times10^{-13}} = \frac{7\cdot68\times10^{-7}}{1\cdot6\times10^{-12}}$

$$= 4.8 \times 10^5 \text{ ই.ভি} \quad = 0.48 \text{ ইভি।}$$

এই পরিমাণ শক্তি সমন্বিত ডয়েটেরিয়াম সংযোজনে অংশ গ্রহণ করে। আধুনিক কোয়াটাম বাকবিদ্যা অনুযায়ী সুড়ঙ্গ ক্রিয়ার ফলে এর থেকে কিছু কম শক্তি সমন্বিত হলেও তারা সংযোজন বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করতে পারে। ত্বরক ব্যবহার না করে উত্তাপ প্রয়োগের মাধ্যমেও কণাসমূহকে শক্তি সমন্বিত করা সম্ভব। এর জন্য কয়েক মিলিয়ন ডিগ্রী তাপমাত্রার প্রয়োজন হয়। গতি তত্ত্ব অনুযায়ী $E = \frac{3}{2}RT = 1\cdot3\times10^{-4}T$ ই-ভি (K = বোলৎজম্যান ধ্রুবক $= 1\cdot35 \times 10^{-16}$ erg/^{0}c]

কাজেই 1 কি-ই-ভো তাপীয় শক্তির জন্য 10^7k ক্রমের তাপমাত্রা প্রয়োজন হবে।

কোন বাস্তব গ্যাসকে এই উঁচু তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে তারা প্লাজমা অবস্থা প্রাপ্ত হয় (10^4 ক্রমের তাপমাত্রায়

গ্যাসীয় অণু বিযোজিত হয়; 10^4 ক্রমের তাপমাত্রায় পরমাণু থেকে কক্ষকে ভ্রাম্যমান ইলেকট্রন বিচ্যুত হতে আরম্ভ করে; উচ্চতর তাপমাত্রায় ইলেকট্রন বিচ্যুত হয়ে, মুক্তাবস্থায় থাকে কিন্তু অবশিষ্ট ধনাত্মক অংশের আকর্ষণ সীমার বাইরে যেতে পারে না— এরকম অবস্থাকে প্লাজমা অবস্থা বলা হয়। অবশ্য এটা ঠিক যে ম্যাক্সওয়েলীয় শক্তি বণ্টন (Maxwellian Energy Distribution) সূত্রানুযায়ী গড় তাপীয় শক্তির উপরে কিছু কেন্দ্রক অবশ্যই প্লাজমা অবস্থায় থাকে। কুলম্বীয় বিকর্ষণ সূত্রানুযায়ী এসব কেন্দ্রকের সংযোজন বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করার একটি নির্দিষ্ট সম্ভাবনা থাকে।

প্রশ্ন যেটা উঠতে পারে তা হল ঃ অত বেশি তাপমাত্রা সৃষ্ট হবে কীভাবে? প্রকৃত পক্ষে একটি বিভাজন বিক্রিয়া দ্বারা সংযোজন বিক্রিয়া উদ্দীপিত করা হয়।

9.3.3. সংযোজন বিক্রিয়ায় উৎপাদিত শক্তি ঃ

সংযোজন বিক্রিয়ায় প্রভূত শক্তি উৎপন্ন হয়— বিভাজন বিক্রিয়ার প্রায় চারগুণ। শক্তি উৎপন্ন ব্যাখ্যা করা যায় এভাবে ঃ ${}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H = 2\,{}^{4}_{2}He$ বিক্রিয়ায় 0.231% ভর অন্তর্হিত হয় (U-এর বিভাজনে 0·1% ভর অবলুপ্ত হয়। এই অবলুপ্ত ভর আইনস্টাইনের ভর-শক্তি সমীকরণ অনুসারে ($E = \Delta mc^2$) শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এত তাপ উৎপন্ন হয় বলে এই বিক্রিয়াকে তাপ-কেন্দ্রকীয় সংযোজন বিক্রিয়া (Thermonuclear fusion) বলা হয়।

হাইড্রোজেন বোমায় এই সংযোজন বিক্রিয়ার প্রয়োগ হয়। সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি ঃ ${}^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$ মেগাটন ক্রমের H বোমা তৈরি হয়েছে। আমেরিকা, ইউ-এস্-এস্ আর, ইউ-নাই-টেড কিংডম, ফ্রান্স, চীন ও ভারতবর্ষের কারুকৃতি জানা আছে।

9.3.4. নক্ষত্রসমূহের জ্যোতির উৎস ঃ

সূর্য ও অন্যান্য নক্ষত্রসমূহের শক্তি ও জ্যোতির উৎস রূপে এই তাপ-কেন্দ্রকীয় সংযোজন বিক্রিয়া নির্দেশিত হয়েছে। বলা হয়ে থাকে এক্ষেত্রে তার পরমাণু ${}^{1}_{1}H$ সংযোজিত হয়ে এক পরমাণু ${}^{4}_{2}He$ উৎপন্ন করে। 1939 সালে বেথে (Hans Bethe) এবং ভাইজ্যাকার (C. F. Weizcher) সৌরশক্তির মূল হিসাবে নিম্নে বর্ণিত জটিল শৃঙ্খল বিক্রিয়ার সমষ্টিকে চিহ্নিত করেছেন।

$${}^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{13}_{7}N + \gamma$$

$${}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + \beta^{+} + \gamma \; (t_{1/2} = 10{\cdot}1 \text{ মি.})$$

$${}^{13}_{6}C \rightarrow {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{14}_{7}N + \gamma$$

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{15}_{8}O + \gamma$$

$${}^{15}_{8}O \rightarrow {}^{15}_{7}N + \beta^{+} + \gamma \; (t_{1/2} = 125\,\gamma)$$

$${}^{15}_{7}N + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}+He + \gamma$$

(যোগকরে) $4\,{}^{1}_{1}H = {}^{4}_{2}He + 2\beta^{+} + 6\gamma$

বিক্রিয়ায় 0·7% ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে 26·8 মি-ই-ভো শক্তি (প্রতি চক্রে) উৎপন্ন করে। প্রতিটি চক্র সম্পূর্ণ হতে 6×10^6 বছর লাগে। এই চক্রকে কার্বন - নাইট্রোজেন চক্র বলা হয়। সূর্যের ভর $\sim 2 \times 10^{30}$ কি. গ্রা; এর মধ্যে প্রোটনের সংখ্যা 2×10^{57} গ্রা। এই প্রোটনগুলির উপযুক্ত বিক্রিয়া শৃঙ্খলে সম্পূর্ণরূপে α -কণায় পরিবর্তিত হতে 4×10^{44} জুল শক্তি উদ্ভূত হবে। ফলে সূর্য বর্তমান (4610^{23} কি-ওয়াট) হারে 3000 কোটি বছর ধরে বিকিরণ নিঃসৃত করে চলবে।

আধুনিক তত্ত্ব অনুযায়ী সূর্যের থেকে অনেক বেশি উজ্জ্বল নক্ষত্রের ক্ষেত্রে C - N চক্রের মাধ্যমে শক্তি উৎপন্ন ও নিঃসৃত হয়। সূর্যে যা ঘটে তা হল প্রোটন-প্রোটন চক্র ঃ

$${}^1_1H + {}^1_1H \rightarrow {}^2_1H + \beta^+ + \gamma$$

$${}^2_1H + {}^1_1H \rightarrow {}^3_2He + \gamma$$

$${}^3_2He + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + {}^1_1H + {}^1_1H$$

এই চক্র-অনুযায়ী সূর্যের আয়ুষ্কাল 100 কোটি বছর।

ডয়েটেরিয়ামের উৎস জল। তাই নিয়ন্ত্রিত সংযোজন বিক্রিয়ার মাধ্যমে পৃথিবীর শক্তি উৎপাদনের সমস্যার চিরদিনের মত সমাধান হবে।

9.4. ○ ভারতের পারমাণবিক (কেন্দ্রকীয়) সম্পদ (Nuclear resource of India)

ভারতবর্ষে পারমাণবিক শক্তি উৎপাদন শুরু হয় 1956 সালে। ড. হোমী জাহাঙ্গীর ভাবা এ বিষয়ে পথিকৃৎ। প্রথম চুল্লি স্থাপিত হয় মুম্বাইয়ের কাছে ট্রম্বেতে। সেখানকার চুল্লিগুলি হল ঃ

(i) অপ্সরা (APSARA) ঃ 14. 8. 1956-তে সম্পূর্ণ হয়। এটি এখন প্রায় বন্ধ।

(ii) দি সাইরাস (CIRUS) ঃ 10. 7. 1960-এ সম্পূর্ণ হয়।

(iii) দি জারলিনা (ZERLINA; ZeroEnergy Reactor for LATTICE INVESTIGATION and Nuclear ASSEMBLIES) : 14. 1. 1961 এটি গবেষণা চুল্লি।

(iv) পূর্ণিমা (PURNIMA) : প্লুটোনিয়াম জ্বালানি ব্যবহার করে, 22. 5. 1972

(v) ধ্রুব (DHRUVA) : 15. 8. 1984, গবেষণা চুল্লি।

1. 4. 1969 তারিখে কলাক্কমের Indira Gandhi Centre fro Atomic Research-এ কামিনী (KAMINI) নামের চুল্লি স্থাপিত হয়।

অপর চুল্লিগুলি হল ঃ

	চুল্লি	অবস্থিতি	উৎপাদন (মেগাওয়াট)	সূচনা দিবস
(i)	TAPS – 1	তারাপুর, মহারাষ্ট্র	160	28. 10. 1969
(ii)	TAPS – 2	তারাপুর, মহারাষ্ট্র	160	28. 10. 1969
(iiii)	RAPS – 1	রাওয়াতভাতা, রাজস্থান	100	16. 12. 1973

	চুল্লি	অবস্থিতি	উৎপাদন (মেগাওয়াট)	সূচনা দিবস
(iv)	RAPS – 2	রাওয়াভাতা, রাজস্থান	200	01. 04. 1981
(v)	MAPS – 1	কলপক্কম, তামিলনাড়ু	170	27. 01. 1984
(vi)	MAPS – 2	কলপক্কম, তামিলনাড়ু	220	21. 03. 1986
(vii)	NAPS – 1	নারোরা, উত্তরপ্রদেশ	220	01. 01. 1990
(viii)	NAPS – 2	নারোরা, উত্তরপ্রদেশ	220	01. 07. 1992
(ix)	KAPS – 1	কাকড়াপার, গুজরাত	220	06. 05. 1993
(x)	KAPS – 2	কাকড়াপার, গুজরাত	220	01. 09. 1995
(xi)	কাইগা – 1	কাইগা, কর্ণাটক	220	16. 11. 2000
(xii)	কাইগা – 2	কাইগা, কর্ণাটক	220	16. 03. 2000
(xiii)	RAPS – 3	রাওয়াতভাতা, রাজস্থান	220	01. 06. 2005
(xiv)	RAPS – 4	রাওয়াতভাতা, রাজস্থান	220	23. 12. 2000
(xv)	TAPS – 4	তারাপুর	540	12. 09. 2005

9.5. ○ সারাংশ

কেন্দ্রকীয় বিভাজন ও সংযোজন দুটি বিশেষ ধরনের কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া।

বিশেষ পরিমাণ শক্তিসম্পন্ন নিউট্রন দিয়ে ভারি কেন্দ্রককে আঘাত করলে সেটি প্রায় সমান ভরের দুটি খণ্ডে বিভক্ত হয়, 2-4টি নিউট্রন উৎপন্ন হয় আর উদ্ভূত হয় প্রচুর পরিমাণ (~ 200 মি-ই-ভো) শক্তি। বিক্রিয়ায় 0·1% ভর অবলুপ্ত হয়, তা শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই ধরনের বিক্রিয়া শৃঙ্খল-শৈলীতে ঘটে এবং তা আত্মপুষ্ট। পারমাণবিক বোমা ও পারমাণবিক চুল্লিতে শক্তি উৎপাদনে এই বিক্রিয়ার প্রয়োগ হয়।

9.6. ○ প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. টীকা লিখুন ঃ (i) কেন্দ্রকীয় বিভাজন, (ii) কেন্দ্রকীয় সংযোজন।
2. কেন্দ্রকীয় বিভাজনের তত্ত্ব আলোচনা করুন।
3. "কেন্দ্রকীয় বিভাজন আত্মপুষ্ট" ব্যাখ্যা করুন।
4. পারমাণবিক শক্তি বলতে কী বোঝায়? এর উৎস আলোচনা করুন।
5. পারমাণবিক বোমা ও হাইড্রোজেন বোমার মূলতত্ত্ব আলোচনা করুন।
6. সৌরশক্তির উৎস সম্বন্ধে আলোচনা করুন।
7. পারমাণবিক শক্তির ক্ষেত্রে ভারতের অবস্থান আলোচনা করুন।
8. কেন্দ্রকীয় বিভাজনে নিউট্রন নিঃসরণের ক্ষমতা আলোচনা করুন।

9.7. ○ উত্তরমালা

1. প্রতি পরমাণু U-এর বিভাজনে উৎপন্ন শক্তি $= \frac{200\times23000\times10^6}{6\cdot02\times10^{23}}$ ক্যালোরি

$= \frac{46}{6\cdot02}\times10^{-12}$ ক্যালোরি $= 7\cdot64\times10^{-12}$ ক্যালোরি

আবার, 1 ওয়াট = 1 জুল সে$^{-1}$ $= \frac{1}{4\cdot2}$ ক্যালোরি (4.2 জুল = 1 ক্যালোরি)

∴ 1 ওয়াট ক্ষমতার জন্য প্রয়োজনীয় বিভাজন সংখ্যা $\frac{1}{4\cdot2\times7\cdot64\times10^{-12}} = 3\cdot12\times10^{10}$

1 গ্রা. U-এ পরমাণু সংখ্যা $\frac{6\cdot02\times10^{23}}{235}$

∴ 1 গ্রা. U-থেকে প্রাপ্ত জুল সংখ্যা $\frac{6\cdot02\times10^{23}}{235}\times7\cdot64\times10^{-12} = 8\cdot2\times10^{-10}$

2.

বিক্রিয়ক ঃ	উদ্ভূত পদার্থ ঃ
235.1175	95.9385
1.00898	137.9487
236.12648	1.00898
− 235.90516	1.00898
0.22132	235.90516 পাঃ ভঃ একক

∴ ভর হ্রাস = 0.22132 × 931

= 20 মি-ই-ভো.

3. 60,000 কি. ওয়াট ঘণ্টা = 6×10^7 ওয়াট × 3600 ওয়াট

$= 216\times10^9$ জুল সে$^{-1}$ $= \frac{216\times10^7}{4\cdot2}$ ক্যালোরি সে$^{-1}$

$= 5.14\times10^8$ ক্যালোরি সে$^{-1}$

$= 5.14\times10^8\times86400\times365 = 5.14\times8.64\times3.65\times10^{14}$

$= 1.62\times10^{16}$ ক্যালোরি বছর$^{-1}$

200 মি-ই-ভো $= \frac{200\times23000\times19^6}{6\cdot02\times10^{23}} = 7\cdot64\times10^{-12}$ ক্যালোরি

∴ প্রয়োজনীয় বিভাজন সংখ্যা $= \frac{1\cdot62\times10^{16}}{7\cdot64\times10^{-12}} = 0\cdot21\times10^{28} = 2\cdot1\times10^7$

U-এর ওজন $= \frac{2\cdot1\times10^{27}\times235}{6\cdot02\times10^{-23}} = 82\times10^4$ গ্রা = 820 কিগ্রা.

U-এর প্রকৃত ওজন $= 820\times\frac{100}{20} = 4100$ কিগ্রা.

প্রাকৃতিক U-এর ওজন $= \frac{4100 \times 100}{0 \cdot 7}$

$= \frac{41}{0 \cdot 7} \times 10^4 \quad = 5 \cdot 8 \times 10^5$ কিগ্রা.

$= 5 \cdot 8 \times 10^2 \quad = 580$ মে.টা.

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. 9.2 ও 9.3 অংশ থেকে উত্তর সংগ্রহ করুন।
2. 9.2.7 অংশ দেখুন।
3. 9.2.8 অংশ দেখুন।
4. 9.2.5 অংশ দেখুন।
5. 9.2.5 ও 9.3.3 অংশ দেখুন।
6. 9.3.4 অংশ দেখুন।
7. 9.4 অংশ দেখুন।
8. 9.2.6 অংশ দেখুন।

একক 10 □ নিউক্লীয় (কেন্দ্রকীয়) বিকিরণের উপস্থিতি নির্ণয় ও পরিমাপন (Detection and measurement of nuclear radiations)

গঠন

10.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

10.2 নিউক্লীয় বিকিরণ নির্দেশ ও পরিমাপণের যন্ত্র সমূহ

10.2.1 আয়নন প্রকোষ্ঠ

10.2.2 গাইগার মূলার গণক

10.2.3 আনুপাতিক গণক

10.2.4 প্রবাহ গণক

10.2.5 প্রান্ত গবাক্ষ গণক

10.2.6 চমক গণক

10.2.7 অর্ধপরিবাহী গণক

10.2.8 কয়েকটি বিশেষ ধরনের গণক

10.3 তেজস্ক্রিয়তার একক ও মাত্রা

10.4 সারাংশ

10.5 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

10.6 উত্তরমালা

10.1. ○ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনাঃ

কোনও পদার্থের তেজস্ক্রিয়তা বা বিভিন্ন কেন্দ্রকীয় বিকিরণ নির্দেশ ও পরিমাপন অনেকক্ষেত্রেই প্রয়োজন হয়ে পড়ে। পদার্থের তেজস্ক্রিয়তা মাপা হয় $\alpha - \beta$ ও γ বিকিরণের হার থেকে। কেন্দ্রকীয় বিকিরণ পদার্থের মধ্যদিয়ে যাওয়ার সময় আয়নীভবন ঘটায়, ফলে আবদ্ধ গ্যাস পরিবাহী হয়ে পড়ে। এই পরিবাহিতা নির্ভর করে রশ্মির

গতিপথে প্রতি সেন্টিমিটারে উদ্ভূত আয়ন জোট (ion pais) সংখ্যার সাহায্যে; একে বলে আয়নীভবনের তীব্রতা (intensity of ionisation); একে প্রকাশ করা হয় আপেক্ষিক (specific) আয়নীভবন দ্বারা। নিচে আমরা একে একে এই যন্ত্রসমূহের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা ও ক্রিয়াকৌশল বর্ণনা করব।

তাই এই এককটি পাঠ ও পর্যালোচনা করে আপনারা জানবেন কীভাবে কেন্দ্রকীয় বিকিরণ নির্দেশিত ও পরিমাপিত হয়ে থাকে। আপনারা জানবেন ঃ

- আয়নন প্রকোষ্ঠের বর্ণনা ও ক্রিয়া কৌশল,
- গাইগার মুলার গণকের বর্ণনা ও ক্রিয়া-কৌশল,
- উইলসনের মেঘ কক্ষের বর্ণনা ও ক্রিয়া কৌশল,
- আনুপাতিক গণকের বর্ণনা ও ক্রিয়া কৌশল,
- প্রবাহ গণকের কথা,
- প্রাপ্ত গবাক্ষ গণকের কথা,
- চমক গণকের বর্ণনা ও ক্রিয়া কৌশল,
- অর্ধপরিবাহী নির্দেশকের বর্ণনা ও ক্রিয়াকৌশল,
- প্লেজারের বুদবুদ কক্ষের কথা,
- ইলেক্ট্রোস্কোপের কথা,
- অন্যান্য পদ্ধতি যেমন অবদ্রব ও ফিল্‌ম্ ব্যাজের কথা।

10.2. ○ নিউক্লীয় বিকিরণ নির্দেশ ও পরিমাপনের যন্ত্র সমূহ

কোনও পদার্থের তেজস্ক্রিয়তা বা বিভিন্ন কেন্দ্রকীয় বিকিরণ নির্দেশ ও পরিমাপন অনেক ক্ষেত্রেই প্রয়োজন হয়ে পড়ে। পদার্থের তেজস্ক্রিয়তা মাপা হয় $\alpha - \beta -$ ও γ বিকিরণের হার থেকে। কেন্দ্রকীয় বিকিরণ পদার্থের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় আয়নীভবন ঘটায়, ফলে আবদ্ধ গ্যাস পরিবাহী হয়ে পড়ে। এই পরিবাহিতা নির্ভর করে রশ্মির গতিপথে প্রতি সেন্টিমিটারে উদ্ভূত আয়ন জোট (ion pairs) সংখ্যার সাহায্যে; একে বলে আয়নীভবনের তীব্রতা (intensity of ionisation); একে প্রকাশ করা হয় আপেক্ষিক (specific) আয়নীভবন দ্বারা। নিচে আমরা একে একে এই যন্ত্রসমূহের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা ও ক্রিয়াকৌশল বর্ণনা করব।

10.2.1. আয়নন প্রকোষ্ঠ (Ionisation chamber) ঃ

এই ধরনের যন্ত্র গ্যাসের ক্ষেত্রে খুব উপযোগী, তবে কঠিনের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হতে পারে (চিত্র 10.1)।

নীতি ঃ প্রকোষ্ঠে আবদ্ধ গ্যাসের মধ্য দিয়ে আহিত কণা বা ফোটন গেলে আয়নীভবন ঘটে। এই আয়ন সংগ্রহ করে বিকিরণের তীব্রতা মাপা হয়— এটিই তেজস্ক্রিয়তার পরিমাপ।

বিবরণ ও পদ্ধতি ঃ যন্ত্রটি একটি ধাতব চোঙ— একে ক্যাথোড হিসাবে ব্যবহার করা হয়। মধ্যস্থলে স্থাপিত একটি ধাতব দণ্ড অ্যানোডের কাজ করে। চোঙটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস (বা বায়ু, H_2, N, ইত্যাদি) দ্বারা পূর্ণ এবং একটি পাতলা অভ্র (mica) নির্মিত পাতলা জানালা দিয়ে বন্ধ। আহত কণা বা ফোটন প্রবেশ করে তখন প্রকোষ্ঠের এই গ্যাসে আয়নীভবন ঘটে। ইলেকট্রণগুলি মধ্যবর্তী দণ্ডটির দিকে প্রবাহিত হয় আর ক্যাটায়ন যায় দেয়ালের দিকে। ফলে দুয়ের মধ্যে বিভবপার্থক্য সৃষ্ট হয়।

গণনা ঃ মনে করা যাক প্রকোষ্ঠে উৎপন্ন মোট আয়ন জোট সংখ্যা 'n'।

∴ ইলেক্ট্রোডে সঞ্চিত আধানের পরিমাণ = q = 2ne। ইলেক্ট্রোডের ধারকত্ব 'c' হলে আহিত কণা দ্বারা উৎপন্ন তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ E হবে $\frac{q}{c} = \frac{2ne}{c}$

∴ তড়িৎপ্রবাহ = = $I = \frac{E}{R}$ (R = রোধ) $= \frac{2ne}{cR}$

(চিত্র 10.1)

এই পরিমাণ শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন ধরনের কণা অভিন্ন শর্তে বিভিন্ন পরিমাণ আয়নীভবন ঘটাবে। কম আয়নীভবন ঘটায় যে সব কণা তাদের ক্ষেত্রে কিন্তু এই যন্ত্র উপযোগী নয়। α-কণা ক্ষেত্রে পাতলা অ্যালুমিনিয়াম পাতের জানালা ব্যবহৃত হয়; β-র ক্ষেত্রে পুরু জানালা (যাতে α-কণা প্রতিহত হয়) দরকার। বিকিরণের ক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ বেশ বেশি হওয়া দরকার যাতে যথেষ্ট আয়ন জোট উৎপন্ন হতে পারে। এই যন্ত্রে কণাগুলিকে পৃথক করা যায়।

10.2.2. গাইগার মুলার গণক (Geiger Muller Counter) ঃ

নীতি ঃ এই ধরনের গণকে কঠিন পদার্থ দ্বারা বিকিরিত রশ্মি গণকে আবদ্ধ গ্যাসকে আয়নিত করে। (চিত্র 10.2)

বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ঃ মূল যন্ত্রটি একটি কপার নির্মিত বন্ধ চোঙ, এর একপ্রান্তে একটি মাইকার জানালা থাকে। চোঙটি আয়নিত হতে পারে এমন কোন গ্যাস (যেমন আর্গন, কোহল-বাষ্প, 10 মিমি পারদ চাপে) দিয়ে ভর্তি থাকে। কপার চোঙের মাঝামাঝি অবস্থানে এর থেকে অন্তরিত (insulated) প্রায় 1500 ভোল্ট বিভবে একটি টাংস্টোনের তার থাকে। একটি খুব ছোট টিউবে তেজস্ক্রিয় পদার্থটি তবে মাইকা জানালার খুব কাছে রাখা হয়। বিকিরণ অর্থাৎ α – β, (বা γ রশ্মি) তেজস্ক্রিয় পদার্থ কর্তৃক বিকীর্ণ হয়ে জানালা দিয়ে চোঙে ঢুকে গ্যাসকে আয়নিত করে। তাৎক্ষণিকভাবে একটি তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়, একে সহজেই বিবর্ধিত করা সম্ভব। এই তড়িৎপ্রবাহ অপর একটি চোঙে রক্ষিত নিয়ন গ্যাসে আলোর চমক (flash) সৃষ্টি করে এবং যান্ত্রিক নিবন্ধকে (medanical register) গিয়ে ধরা পড়ে।

গাইগার গণকে অপেক্ষাকৃত বেশি বিভব (1000 – 2000 ভোল্ট) লাগে; কিন্তু দীপন (Pulse) এত বেশি যে অতিরিক্ত বিবর্ধন প্রয়োজন হয় না। এখানে কেন্দ্রকীয় কণা বা ফোটন ক্যাটায়ন ও ইলেকট্রনের রীতিমত প্রপাত

(চিত্র 10.2)

সৃষ্টি করে আর তাই সৃষ্ট তড়িৎপ্রবাহ এত বেশি হয় যে তেজস্ক্রিয়তার সন্ধান ও পরিমাপ সহজ। তবে এর অসুবিধা এই যে দীপনগুলিসব সমান হওয়ায় আয়নিত করলে কণাগুলির সম্বন্ধে কোন ধারণা পাওয়া যায় না। অর্থাৎ কণাগুলিকে পৃথক করা যায় না। আর তড়িৎ প্রবাহ অবিচ্ছিন্ন না হওয়ায় দুটি দীপনের মাঝে নিষ্ক্রিয় বিন্দু (dead point) থাকে। এই বিন্দু (50 – 200 μ সেকেন্ড) যন্ত্রের উদ্দীপনের (response) সামর্থের উচ্চসীমা সূচিত কর।

10.2.3. আনুপাতিক গণক (Proportional Counter) ঃ

আনুপাতিক গণকে একটি কঠিন পদার্থ থেকে নিঃসৃত রশ্মি সমূহ অভ্যন্তরস্থ গ্যাসকে আয়নিত করে। উৎপন্ন আয়নগুলিকে কয়েক হাজার গুণ বিবর্ধিত করার উদ্দেশ্যে তড়িদ্বারে খুব উঁচু বিভব প্রয়োগ করা হয়; আর বিভব ক্ষরিত (discharged) হলে তা যান্ত্রিক পদ্ধতিতে নিবন্ধীকৃত (registered) হয়। এই ক্ষরণের পরিমাণ প্রবিষ্ট বিকিরণের শক্তির সমানুপাতিক। (চিত্র 10.3(a))

আনুপাতিক গণক 1000 – 2000 ভোল্ট বিভবে চালিত হয়, ঝলক (pulse)-এর আকার (size) মুখ্য কণার দ্বারা উৎপন্ন আয়ন সংখ্যার সমানুপাতিক (ঠিক আয়নন প্রকোষ্ঠের মত), কিন্তু আয়ন পরিবর্ধন (multiplication) পদ্ধতি অভ্যন্তরীন পরিবর্ধন ঘটায়। কোনও কেন্দ্রকীয় কণা বা ফোটন দ্বারা উৎপন্ন ঝলক 500 – 10,000 গুণ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু ধনাত্মক আয়নের সংখ্যা কম হওয়ায় নিষ্ক্রিয় বিন্দু মাত্র এক মাইক্রোসেকেন্ডের মতো হয়। কাজেই গণনার আগে আনুপাতিক গণকের ঝলকগুলি বিবর্ধিত করার প্রয়োজন হয়।

(চিত্র 10.3)
আনুপাতিক গণক ঃ মূল বর্তনী

আর ঝলক পিছু ইলেকট্রনের সংখ্যা (অর্থাৎ ঝলকের উচ্চতা) প্রবিষ্ট বিকিরণের যুক্তির সমানুপাতিক।

ঝলক-উচ্চতা বিশ্লেষক (বিস্তার নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকলেই যা নির্দেশিত হবে) ব্যবহার করে আনুপাতিক গণক নির্দিষ্ট পাল্লার β রশ্মি ও নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের x রশ্মির জন্য প্রযুক্ত হতে পারে। ঝলক উচ্চতা বিশ্লেষক

(চিত্র 10.4)

একক চ্যানেলের বা বহুচ্যানেলের হতে পারে। একক চ্যানেল বিশ্লেষকের ভোল্টেজ পাল্লা ~ 100 V বা তার বেশি হয়ে থাকে এবং উইন্ডো (window) হয় 5 – 10V-এর। এরকম বিশ্লেষকের নক্শা চিত্র 10.4-এ দেখানো হয়েছে।

উইন্ডো নিয়ন্ত্রণ করে (হাতে বা যান্ত্রিক পদ্ধতিতে) পুরো ভোল্টেজ পাল্লাই বিশ্লেষণ করা সম্ভব। বহু চ্যানেল বিশ্লেষকে দুটি থেকে কয়েক শ' পর্যন্ত একক চ্যানেল বিশ্লেষক থাকে। প্রত্যেকের বিভিন্ন নিজস্ব ভোল্টেজ পাল্লা থাকে। পুরো বর্ণালীই এভাবে একইসাথে নির্ণীত ও নথিভুক্ত হতে পারে।

10.2.4. প্রবাহগণক (Flow counter) ঃ

এটি আনুপাতিক গণকেরই রকম ফের। এর সাহায্যে খুব কম ভেদ্যতার বিকিরণ বিশ্লেষণ করা যায়। চালু থাকাকালীন এক্ষেত্রে নলের মধ্য দিয়ে আর্গন – 10% মিথেন মিশ্রণ প্রবাহিত করা হয়। এই যন্ত্রে আগত কণাগুলি পৃথক করা যায়।

10.2.5. প্রান্ত গবাক্ষ গণক (End window counters) ঃ

এ ধরনের গণকে কলঙ্কবিহীন ইস্পাত নির্মিত একটি চাকতির উপর পরীক্ষাধীন নমুনা রক্ষিত থাকে। চাকতিটিকে 'প্ল্যান্‌চেন' (planchet) বলে। চাকতিটি গণক-নলের সম্মুখভাগের নিচে একটি প্লাস্টিকের শেল্‌ফে রাখা থাকে। বিভিন্ন শক্তি-মাত্রার নমুনার জন্য শেলফটি গণক থেকে বিভিন্ন দূরত্বে স্থাপিত হয়।

10.2.6. চমক গণক (Scintillation counter) ঃ

কোনও রশ্মি বা কণিকা উপযুক্ত প্রতিপ্রভ (fluorescenl) পদার্থের উপর আপতিত হলে দৃশ্যমান আলোকের অতিক্ষুদ্র ঝলক দেখা যায়। এই ঝলকগুলি গুণে আপতিত কণা বা ফোটনের সংখ্যার পরিমাপ সম্ভব হয়। প্রথম দিকে ZnS পর্দার উপরে আপতিত α কণার দ্বারা উৎপন্ন ঝলকসংখ্যা চোখে দেখে গুণে নেওয়া হত। এই কঠিন কাজটা সহজ করার জন্যই গাইগার গ্যাস আয়নন নিরীক্ষক যন্ত্র উদ্ভাবন করেন, এগুলি β ও γ রশ্মির ক্ষেত্রেও কাজ করল।

(চিত্র 10.5)

এই তত্ত্বের উপর ক্রিয়াশীল বহুলপ্রচলিত আধুনিকতম চমক গণকে 1% থ্যালিয়াম দিয়ে সক্রিয়কৃত NaI কেলাস থাকে। এটিকে একটি বেলনের আকার দেওয়া হয়, ব্যাস ও দৈর্ঘ 8 – 10 সেমি. এর একটি সমতল পৃষ্ঠ আলোক বিবর্ধক (bhotomultiphor)-এর দিকে মুখ করে থাকে। এর ফলে যন্ত্রের বিকিরণ সংগ্রহের দক্ষতা বাড়ে। চমক উৎপাদক (Scintillator; কঠিন বা তরল হতে পারে) এবং আলোক বিবর্ধকের মধ্যে ভালো আলোক-সংযোগ দরকার আর দরকার আলোক বিবর্ধকের চারপাশের দেয়াল উৎকৃষ্টরূপে প্রতিফলনকারী হওয়া যাতে আলোক হ্রাসের পরিমাণ কম হয়। প্রবেশকারী রশ্মি কেলাসকে অতিক্রম করলে চমক উৎপাদক প্রথমে তার একাংশ আহরণ করে এবং পরবর্তী পর্যায়ে শক্তি বিকিরণ ফোটন নির্গত হয়। প্রতিটি কণা বা ফোটন 0.25 μ সেকেণ্ডে (ক্ষয় সময় কাল, decay time) কয়েক হাজার 400 thm ফোটন উৎপন্ন করে। উদ্ভূত আলোক ঝলক প্রতিফলিত হয়ে বিবর্ধকের আলোক-ক্যাথোডে যায় এবং তড়িৎ ঝলকে রূপান্তরিত হয়। এদের বিবর্ধিত করে গণনা করা সম্ভব। সমগ্র যন্ত্র-সমবায় ভারী ধাতব (সাধারণত পিতল বা সীসার) প্রকোষ্ঠে আবদ্ধ রাখা হয় (চিত্র 10.5) ফলে পশ্চাৎপটের ব্যতিচার (interference) আর এক ধরনের বেশি ক্ষমতা সম্পন্ন যন্ত্র নির্মিত হয়েছে। এতে এক জোড়া চমক উৎপাদকের মধ্যে অপেক্ষাকৃত অল্প পরিমাণ নমুনা স্যান্ডউইচের মত রক্ষিত থাকে। একে বলে 4π নিরীক্ষক (4π detectors)। এতে সমস্ত বিকিরক রশ্মিই নিরীক্ষকের মধ্যে প্রবেশ করতে পারে।

কম শক্তির β কণা নিঃসরক কেন্দ্রেককের (যেমন ^{14}C, ^{35}S, ^{3}H) পরিমাপনের ক্ষেত্রে তরল চমক গণক সুবিধাজনক। চমক গণকের একটি প্রধান বৈশিষ্ট্য এই যে, প্রতিটি ঝলকে উৎপন্ন ফোটনসমূহের সংখ্যা আপতিত বিকিরণের শক্তির প্রায় সমানুপাতিক। কাজেই ঝলক উচ্চতা বিশ্লেষক (pulse height analyser) সংযোজিত করে চমক গণকের নিঃসরণ পর্যবেক্ষণ (monitoning)-এর তত্ত্ব β ও γ রশ্মি বর্ণালীবীক্ষণের মূল তত্ত্ব হিসাবে ব্যবহৃত হয়েছে।

আদর্শ চমক গণকের লক্ষণ ঃ

(i) চমক দক্ষতা (Scintiallation efficiency) আপাতত আক্ষিকণা পিছু নিঃসৃত ফোটনের সংখ্যা যথাসম্ভব উঁচু হওয়া উচিত।

(ii) মুখ্য আয়ননকারী কণার শক্তি ও নির্গত ইলেকট্রন সংকেত (output signal) ঝলকের মধ্যে একটা সরল সম্পর্ক থাকবে।

(iii) প্রত্যাবর্তন সময়কাল (renvery time) যথাসম্ভব কম হতে হবে। বেশিরভাগ গণকের ক্ষেত্রে এই সময়

$\leq 0.3\ \mu$ সে. (10.6 চিত্রে আমরা একটি তরল চমক গণনার যন্ত্রসমবায় দেখালাম)

(iv) প্রতিটি আলোক ক্যাথোড একটি নির্দিষ্ট পাল্লার তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের মধ্যে আলোকিত করার ক্ষমতা ধরে বলে চমককেও একটি নির্দিষ্ট পাল্লার মধ্যে প্রতিপ্রভা (fluoresence) সৃষ্টি করবে যাতে আবার সর্বোচ্চ বা সর্বাধিক অনুকূল (optimum) অনুপ্রভা (phosphorescull) সৃষ্ট হতে পারে।

(1) চমক উৎপাদক (এর মধ্যে নমুনা রক্ষিত; (2) আবরক; (3) আলোকবিবর্ধক; (4) আলোকবিবর্ধক 2; (5) প্রাক্ বিবর্ধক 1; (6) প্রাক্-বিবর্ধক 2; (7) প্লাস্টিকের আলোক নল (Light pipes); (8) AND-GATE বর্তনী; (9) গণক।

(চিত্র 10.6)

সোডিয়াম আয়োডাইডের কেলাসের সঙ্গে কয়েক ধরনের জৈব চমকউৎপাদক (যেমন স্টিকবিন, অ্যানথ্রাসিন ও টারফিনাইল) ব্যবহৃত হয়েছে। কেলাসাকারে এসব যৌগের ক্ষয় সময় 0.01 — 0.1 μ সেকেণ্ড। আবার উপযুক্ত দ্রাবকে 2, 5 ডাইফিনাইল অক্সাজোন (ppo), α-ন্যাফ্থাইলফিনাক অক্সাজোল (NPO) ও ফিনাইল বাইফিনাইল অক্সাডাইজোল (PBD)-র দ্রবণও ব্যবহৃত হয়েছে। এদের মধ্যে আবার PPO সবচেয়ে উপযোগী বলে প্রমাণিত হয়েছে। বেশি উপযোগী করার জন্য PPO-র সঙ্গে গৌণ চমক উৎপাদক মিশিয়ে নেওয়া হয়; এই মিশ্রণ আইবে.... চমককে দৃশ্যমান চমকে পরিবর্তিত করে।

সবচেয়ে পরিণত গৌণ চমক উৎপাদক 1, 4 বিস্ (5 ফিনাইল অক্সাজোলাইল) বেঞ্জিন (POPOP) বা এর ডাইমিথাইল ডেরিভেটিভ্।

গণনার সুবিধার জন্য দুর্বল ধরনের β নিঃসরক (যেমন ^{3}H ও ^{14}C সমন্বিত তরল চমক উৎপাদক ব্যবহৃত হয়; এরা কঠিনের তুলনায় কম স্বতঃ-শোষণ (Self absorption) দর্শায়। p-টারফিনাইলের টলুইন দ্রবণ তরল চমক উৎপাদক।

এখন, আলোক বিবর্ধক থেকে ইপ্সিত ঝলকের সঙ্গে কিছু অবাঞ্ছিত ঝলকও উৎপন্ন হয়ে থাকে। বিচ্ছিন্ন রশ্মি বা মহাজাগতিক (cosmic) রশ্মি বা নির্দিষ্ট ধরনের শব্দ তরঙ্গ থেকে এই অবাঞ্ছিত বিকিরণগুলি আসে। এগুলিতে দূর করা যায় দুটি অভিন্ন ধরনের আলোক বিবর্ধক ব্যবহার করে। এ দুটি চমক উৎপাদকের দিকে মুখ করে থাকে এবং একটি উপর্যুপাত (coinciduce) বর্তনীতে যুক্ত রাখা হয়। এই বর্তনী একটি বিশেষ ধরনের বৈদ্যুতিন বর্তনী— এর নাম ANDGATE। দুটি বিবর্ধকের থেকে নিঃসৃত ঝলক একসঙ্গে এর উদরে পড়লেই এটি গণকের জন্য সঙ্কেত প্রেরণ করবে।

10.2.7. অর্ধপরিবাহী নির্দেশক (Semiconductor Detector) ঃ

এগুলি গ্যাস ভর্তি আয়নন প্রকোষ্ঠের অনুরূপ। বিকিরণ একটি অর্ধপরিবাহী (যেমন Si, Ge) পদার্থের উপরে মুক্ত ইলেকট্রন নিক্ষেপ করে। এই ইলেকট্রনগুলি কেলাস জাফরি (Crystal lattice)-র মধ্য দিয়ে যায়। ইলেকট্রন মুক্ত হবার সময় গহ্বর সৃষ্ট হয়; অন্য ইলেকট্রন যখন এই গহ্বর পূর্ণ করতে চায়, তখন আবার নতুন গহ্বর সৃষ্ট হয়। এখন কেলাসে বিভব প্রযুক্ত হলে কেলাস-জাফরির মধ্য দিয়ে ইলেকট্রনও গহ্বরের প্রবাহ সৃষ্ট হয়; নির্দিষ্ট তড়িৎদ্বারে এদের সঞ্চালনের ফলে তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয়। এই তড়িৎ প্রবাহ আবার আয়ননকারী কণা বা ফোটনের শক্তির সমানুপাতিক। এই ধরনের গণক সাধারণতঃ α-কণার নির্দেশ ও পরিমাপনের জন্য ব্যবহৃত হয়।

অধুনা একটি নতুন ধরনের নির্দেশক উদ্ভাবিত হয়েছে, এতে জার্মেনিয়াম কেলাসের মধ্য দিয়ে Li^+ আয়ন ব্যাপিত হয়। এরা γ রশ্মির বর্ণালী মাপক (Spectrometer) রূপে ব্যবহৃত হচ্ছে। NaI কেলাস সমন্বিত যন্ত্রের চেয়ে এই ধরনের যন্ত্রের বিশ্লেষণ (resolving) ক্ষমতা বেশি। তবে এই জার্মেনিয়াম লিথিয়াম নির্দেশকের উপযোগীতা অপেক্ষাকৃত কম এই কারণে যে এদের তরল নাইট্রোজেনের তাপমাত্রায় (77k) সঞ্চালিত করতে হয়। কারণ সাধারণ তাপমাত্রায় Li^+ আয়ন যথেষ্ট সঞ্চরণশীল (mobile) হওয়ায় নিঃসরণ (depletion) স্তরের জ্যামিতিক আকার ক্ষুন্ন হয়। কম পুরু Li^+ স্তর বিশিষ্ট যন্ত্র α ও β রশ্মির ক্ষেত্রে প্রযুক্ত হতে পারে— কারণ এরা কম ভেদনক্ষমতা যুক্ত। γ-রশ্মির ক্ষেত্রে অতি পুরু Li-স্তর বিশিষ্ট যন্ত্র প্রয়োজন।

10.2.8. কয়েকটি বিশেষ ধরনের গনক ঃ

A. উইলসনের মেঘ কক্ষ (Wilson Cloud Chamber)

যখন কোন আয়নিতকারক কণা অতিপৃক্ত (supersaturated) জলীয় বাষ্পের মধ্য দিয়ে যায়, তখন এর গতিপথে জলবিন্দু জমা হয়। মেঘকক্ষে এই ঘটনাটিই প্রযুক্ত হয়। এটি একটি ধূলিমুক্ত জলীয় বাষ্প দিয়ে যথাক্ত বায়ুতে ভর্তি এবং চলনসীল পিস্টন সমন্বিত চোঙ নিয়ে গঠিত (চিত্র 10.7)। কণা যখন জানালা দিয়ে ঢুকবে, বায়ু প্রসারিত হবে, তাপমাত্রা কমবে তার জলীয় বাষ্প অতিপৃক্ত হয়ে পড়বে, ফলে কণার গতিপথে কুয়াশা সৃষ্ট হবে— আর তাকে সহজেই ফোটোগ্রাফে ধরা যাবে। এর সাহায্যে কণাসমূহের গতিবেগ, শক্তি সম্বন্ধে সহজেই ধারণা পাওয়া যায়।

তবে অসুবিধা এই যে এটি অপেক্ষাকৃত কম সুবেদী আর খুব বেশি শক্তিসম্পন্ন কণার ক্ষেত্রে একে ব্যবহার করা যায়।

B. ফিল্ম-ব্যাজ (Film Badges)

এ ধরনের ব্যাজ পরমাণু চুল্লিকেন্দ্র বা পরমাণু গবেষণাকেন্দ্রের কর্মীরা ব্যবহার করে থাকেন। এগুলি তৈরি হয় কেন্দ্রকীয় অবদ্রব পদ্ধতিতে (nuclear emulsion technique) এগুলোতে থাকে প্লাস্টিকের ধারকের মধ্যে রক্ষিত ফোটোগ্রাফিক প্লেট। এগুলো তেজস্ক্রিয় রশ্মি পথে উন্মুক্ত থাকলেই ফিল্মের সিলভার লবণ বিযোজিত হয়ে ধাতব সিলভার উৎপন্ন করে। আর সেসব সিলভার সঞ্চিত হওয়ার দরুণ কালো হয়ে যাবে। এগুলোকে 'ডেভেলাপ' করে শক্তিশালী দূরবীক্ষণের সাহায্যে এদের নিরীক্ষা সম্ভব। নির্দিষ্ট সময় পরে পরে এভাবে পরীক্ষা করে বোঝা যায় ব্যাজ ব্যবহারকারী কতটা বিকিরণ শোষণ করেছে।

C. বুদবুদ প্রকোষ্ঠ (Bubble chamber)

1952 সালে গ্লেসার (D A Glaser) এটি আবিষ্কার করেন। এতে আয়ননকারী কণাগুলি তরল হাইড্রোজেনের

মত অতিতপ্ত (super hented) পদার্থের মত দিয়ে চলার সময় গতিপথে বুদবুদের সৃষ্টি করে। ফলে এই গতিপথ দৃশ্যমান হয়ে ওঠে। তখন ক্যামেরায় সহজেই এগুলোর ছবি তোলা যায়। মেঘকক্ষের অনুরূপ পদ্ধতিতে এগুলি বিশ্লেষিত হয়।

(চিত্র 10.7)

এই যন্ত্রে সুবিধা এই যে ঃ (i) উচ্চ চাপে তরলের ঘনত্ব বেশি হওয়ায় সহজেই গতিপথ লক্ষিত হয়।

(ii) বুদবুদ খুব তাড়াতাড়ি গঠিত হওয়ার ফলে গতিপথ তরলের পরিচলন স্রোতের দ্বারা সহজে বিনষ্ট হয় না।

D. তড়িৎবীক্ষণ (electroscope)

এই যন্ত্রটি প্রকৃতপক্ষে একটি অন্তরিত (insulated) ধাতব পাত দ্বারা দুইটি কক্ষে বিভাজিত একটি ভূ-সংযুক্ত (earthed) বাক্স। নিচের কক্ষটিতে আয়নন কক্ষ বলা হয়; এটি সীসার পাতে তৈরি। এর মধ্যে থাকে একটি সীসার পাত - এর মধ্যে তেজস্ক্রিয় পদার্থটি রাখা হয়। উপরের কক্ষে থাকে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ (gold leaf cleatroscope) এটি আবার প্রাগুক্ত অন্তরিত ধাতব পাতের সঙ্গে সংযুক্ত।

এখন তড়িৎবীক্ষণ ও ধাতব পাত উভয়ই ধনাত্মক তড়িতে আহিত, স্বর্ণপত্রের বিস্ফোরণ স্কেলে লক্ষিত। প্রবিষ্ট বিকিরণ অভ্যন্তরস্থ গ্যাসকে আয়নিত করবে; আধান বেরিয়ে গিয়ে ধাতব পাতের উপর আপতিত হবে— ফলে স্বর্ণপত্রের বিস্ফোরণ ধীরে ধীরে কমবে। এই হ্রাসের হার লক্ষ করা হয়। এর পর একই পরীক্ষা করা হয় একটি জ্ঞাত মাত্রার নমুনা দিয়ে। দুটির তুলনায় পরীক্ষাধীন নমুনার তেজস্ক্রিয়তা জানা যায়। (চিত্র 10.8)

(1) তড়িৎবীক্ষণ বাক্স; (2) অন্তরক সালফার খণ্ড; (3) নমুনা; (4) সীসার পাত্র; (5) ভূ-পৃষ্ঠ; (6) স্বর্ণ পত্র।

(1) তড়িৎ বীক্ষণ বাক্স; (2) অন্তরক সালফার খণ্ড; (3) নমুনা; (4) সীসার পাত্র; (5) ভূ-পৃষ্ঠ; (6) স্বর্ণ পত্র;

(চিত্র 10.8)

10.3. ○ তেজস্ক্রিয় বিকিরণের একক ও মাত্রা (Unit and dosage of radioactivity) পারমাণবিক বিকিরণের বিপদ (Nuclear/ Radiation hazard)

পারমাণবিক শক্তি বিস্তীর্ণ ব্যবহারের পথে সবচেয়ে বড় বাধা হল বর্জ্য পদার্থের অপসারণ সমস্যা। তা ছাড়া পারমাণবিক চুল্লি থেকেও কিছু রশ্মি বিকীর্ণ হয়, এগুলো থেকে মানুষ ও মনুষ্যেতর প্রাণী, তথা সমগ্র জীবকুল ও পরিবেশের উপর সমূহ ক্ষতির সম্ভাবনা। এ ক্ষতি যে কতটা ভয়ানক হতে পারে তা আমাদের চোখে আঙুল দিয়ে দেখিয়ে দিয়েছে গত মহাযুদ্ধের অবসানের লগ্নে জাপানের হিরোশিমা (6 আগস্ট, 1945) ও নাগাসাকি (9 আগস্ট, 1945)-তে পরমাণু বোমা বিস্ফোরণজনিত ভয়ানক অভিজ্ঞতা।

পরমাণুর বিভাজনের ফলে কিছু সংখ্যক বিভাজন খণ্ডাংশ Fission fragments ও নিউট্রন সৃষ্টি হয়। খণ্ডাংশগুলি তেজস্ক্রিয় এবং তারা β ও γ-রশ্মি বিকিরণ করে। এগুলিও নিউট্রন জীবজগতের পক্ষে খুবই ক্ষতিকর। x রশ্মি ও ত্বরক যন্ত্র থেকে নির্গত উচ্চ অধানসম্পন্ন অপর কণাসমূহকেও এদের শ্রেণিভুক্ত করতে হবে।

উচ্চশক্তিসম্পন্ন রশ্মিগুলি জীবিত কোষের জটিল অণুগুলিকে ভেঙে ফেলে, ফলে এগুলো নষ্ট হয়ে যায়। এই ক্ষতিকর প্রভাব রশ্মির আয়ন সৃষ্টির ক্ষমতার উপর নির্ভর করে। α-কণার এই ক্ষমতা অন্য তেজস্ক্রিয় রশ্মির চেয়ে বেশি। যেমন U, Th প্রভৃতি নিয়ে গবেষণা করার সময় তেজস্ক্রিয় Rn গ্যাস নিশ্বাসের সঙ্গে শরীরে ঢুকে গবেষকদের যথেষ্ট ক্ষতি করেছে একসময়। ইউরেনিয়াম খনিতে কর্মরত শ্রমিকদের (যদুগোড়ায় যেমন) উপরও এর ক্ষতিকর প্রভাব দেখা গেছে। দশ বছর ধরে এই খনিতে কাজ করলে ফুসফুসের ক্যান্সারের প্রভূত সম্ভাবনা। তবে বর্তমানে নিবর্তনমূলক ব্যবস্থা নেওয়া হচ্ছে। কেরলের কোচিন অঞ্চলে মোনাজাইটের উপস্থিতির দরুণ লিউকেমিয়ার প্রকোপ বেশ বেশি।

তবে α-র ভেদন ক্ষমতা বেশ কম। তাই দেহাভ্যন্তরে না ঢুকলে ক্ষতির সম্ভাবনা কম। অপরদিকে β-রশ্মি আঁকাবাঁকা পথে চলে বলে চামড়া ভেদ করে বেশিদূর যেতে পারে না, আবার এর আয়ননের ক্ষমতাও α থেকে কম; তাই α-থেকে বেশি ভেদনক্ষমতা থাকা সত্ত্বেও β–র ক্ষতিকর প্রভাব কম।

নিউট্রনের আয়ননের ক্ষমতা নেই সত্য, কিন্তু (n, r), (n, γ) প্রভৃতি বিক্রিয়া ঘটে বলে নিউট্রন জীবদেহের ক্ষতি করে। এই p ও γ-ই যত ক্ষতির মূল।

কম পরিমাণ কেন্দ্রকীয় বিকিরণ শরীরের বিশেষ ক্ষতি করে না। সত্যি বলতে কী, মহাজাগতিক রশ্মি ও ভূপৃষ্ঠের প্রাকৃতিক ঘটনাবলীর প্রভাবে উৎপন্ন পারমাণবিক রশ্মি সবসময়ই আমাদের উপর পড়ছে, কিন্তু তাতে বিশেষ ক্ষতি হচ্ছে না। তীব্র শক্তিসম্পন্ন রশ্মির দীর্ঘ প্রভাব রক্তাল্পতা, লিউকোমিয়া, মারণ টিউমার প্রভৃতি রোগ ঘটায়। তা ছাড়া জীবিত কোষের দ্রুত পরিবর্তন ঘটে। মৃদু রশ্মির দীর্ঘ প্রভাবে বমিবমিভাব, ক্ষুধামান্দ্য দেখা যেতে পারে। এছাড়া বিভিন্ন পরিমাণ বিকিরণের ফলে বন্ধ্যাত্ব, পুরুষত্বহীনতা, বিভিন্ন চর্মরোগ, বিভিন্ন ধরনের ক্যান্সার, চুল ওঠা, নাক দিয়ে রক্ত পড়া, ফুসফুস্-যকৃৎ-বৃক্কের অসুখ, বিভিন্ন ধরনের বাত এবং নানা এখনও-অজানা (যেমনটি মাদাম ক্যুরীর বেশি বয়সে হয়েছিল) নানা উপসর্গ দেখা যায়। ভয়ের কথা এই যে নিউট্রন-বিকিরণে কোন বেদনা অনুভূত হয় না। কাজেই তেজস্ক্রিয় পদার্থ নিয়ে যাঁরা কাজ করেন তাঁদের স্বাস্থ্যের ধারাবাহিক পরীক্ষা (monitoring)-র ব্যবস্থা রাখা দরকার।

পরমাণু চুল্লিতে কাজ করলে যাঁরা— তাদের প্রত্যেকের নিজস্ব 'ব্যাজ' থাকে— তা পরীক্ষা করে শোষিত বিকিরণের পরিমাণ নির্ণীত হয়।

তেজস্ক্রিয় দূষণ প্রতিরোধের জন্য পরমাণুচুল্লি মোটা কংক্রীটের দেওয়ালে মোড়া থাকে। মাঝে মাঝে বিভাজন অংশ (fission fragments) পৃথক করে নিতে হয়—নতুবা চুল্লি ভাল কাজ করবে না। এই পৃথকীকরণের সময় বিশেষ সতর্কতা নিতে হয়। দূর-নিয়ন্ত্রণ কৌশলে এই ব্যবস্থা করা হয়। সত্যি বলতে কী, এই তেজস্ক্রিয় বর্জ্য পদার্থ বিষয়ক সমস্যাই পারমাণবিক শক্তি উৎপাদনের সবচেয়ে সমস্যাসঙ্কুল দিক।

বিকিরণ মাত্রা :

তেজস্ক্রিয় বিকিরণ শোষণের পরিমাণ বা এর নিয়ন্ত্রণ করার জন্য সবচেয়ে আগে দরকার এর মাত্রা (dosage) নির্ধারণ। γ-রশ্মি, x-রশ্মি প্রভৃতি তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ মাপার স্বীকৃত একক হল রঞ্জেন (Rontgen)। যে পরিমাণ রশ্মি থেকে উৎপন্ন ইলেকট্রন 0.001293 গ্রা. বায়ুতে 1 ই-এস্-ইউ ঋণাত্মক বা ধনাত্মক আধান উৎপন্ন করতে পারে, তাকে এক রঞ্জেন (1R) বলা হয়। 1R প্রতি গ্রাম বায়ুতে 83.8 আর্গ শক্তি সঞ্চারের সমান।

এ থেকে এসেছে Rep (রেপ) (Rontgen equivalent physical বা রঞ্জেনের ভৌত সমতুল্যতা) একক। প্রতিগ্রাম বাতাস বা মানবকলাতন্ত্রে (tissue) 1R তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ যে পরিমাণ শক্তি ব্যয় করে তাকে বলা হয় 1 Rep।

রঞ্জেন R একক ব্যবহার করা হয় আপতিত বিকিরণের মাত্রা পরিমাপে কোনো বস্তুতে বিকিরণের শোষণের মাত্রা পরিমাপ করা হয় র‍্যাড (rad) এককে।

1 র‍্যাড (rad) = 100 erg/g বা 10^{-2} J/kg

অর্থাৎ প্রতিগ্রাম 100 erg বা প্রতি কিলোগ্রামে 10^{-2} J শক্তি শোষিত বা ব্যয়িত হলে এর মাত্রাকে বলা হয় র‍্যাড (rad)।

[এর একটি পুরোনো একক Rep (Rontgen equivalent physical)। 1R তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ প্রতি গ্রাম বায়ুতে বা প্রাণী কলাতন্ত্রে যে শক্তি ব্যয় করে কোনো বিকিরণের সেই শক্তি ব্যয় করলে তাকে Rep বলা হয়।]

শোষিত বিকিরণের মাত্রা পরিমাপের এস-আই একক হল গ্রে (gray বা Gy)।

1 গ্রে (Gy) = 1 gray = 1 J/kg

অর্থাৎ শোষিত বিকিরণের যে মাত্রার ফলে প্রাণী কলাতন্ত্রের প্রতি কিলোগ্রামে 1J শক্তি শোষিত হয় তাকে বলে 1 গ্রে। পুরোনো একক rad-এর সঙ্গে এর সম্পর্ক হল —

1 rad = 0·01 Gy = 0·01 J/kg

বা, 1 গ্রে = 100 র‍্যাড

প্রাণী কলাতন্ত্রে কী পরিমাণ ক্ষতি হয় তা নির্ভর করে বিকিরণের প্রকৃতি ও শক্তির উপর। উদাহরণ স্বরূপ কোনো নির্দিষ্ট শক্তির x-ray শোষিত হলে যে ক্ষতি হয়, একই শক্তির নিউট্রনে ক্ষতি হয় প্রায় 10 গুণ। কোনো বিকিরণে ক্ষতির পরিমাপ, আপেক্ষিক জৈবিক কার্যকারিতা' (Relative biological effectiveness বা সংক্ষেপে

RBE) সংখ্যা দিয়ে প্রকাশ করা হয়। 200 kev x-রশ্মির দ্বারা ক্ষতির তুলনায় কোনো রশ্মি যতগুণ ক্ষতি করে তাকে ঐ রশ্মির RBE বলে। যেমন α-কণার RBE প্রায় 20। এর অর্থ হল কোনো মাত্রার 200 kev X-রশ্মি যা ক্ষতি করে, একই মাত্রার α-কণা তার 20 গুণ ক্ষতি করে। RBE-এর মোটামুটি মানের একটি তালিকা নীচের সারণিতে দেওয়া হল।

কয়েকটি বিকিরণের RBE :

বিকিরণের প্রকৃতি	RBE
200 kev X-রশ্মি ফোটন	1
4 Mev γ-রশ্মি ফোটন	0·6
ইলেকট্রন	প্রায় 1
প্রোটন	প্রায় 10
নিউট্রন	2 থেকে 10
α-কনা	প্রায় 20

জীব শরীরে কোনো বিকিরণে ক্ষতির পরিমাণ মাপা হয় কার্যকরী মাত্রা (effective dose) দিয়ে।

কার্যকরীমাত্রা = শোষিত মাত্রা X RBE

কার্যকরী মাত্রার এস. আই একক হল সিভার্ট (sivert বা Sv) অর্থাৎ সিভার্ট এককে (Sv) কার্যকরী মাত্রা = (গ্রে এককে (Gy) শোষিত মাত্রা) X RBE সিভার্টের সমতুল পুরোনো একক হল রেম (rem) বা rad equivalent in man)। সেক্ষেত্রে রেম (rem) এককে কার্যকরী মাত্রা = র‍্যাড (rad) একক শোষিত মাত্রা X RBE।

চিকিৎসক ও তেজস্ক্রিয়বিদ্‌রা বলেন যে 10,000 রেম-এ 50% ক্ষেত্রে মৃত্যু ঘটে। 100-300 রেম জীবজগতের উপর যথেষ্ট ক্ষতিকর প্রভাব ফেলে।

এসব ক্ষেত্রে ICRP (International Commission for Radiological Protection) মানুষে সহনীয় তেজস্ক্রিয়তা শোষণের সর্বোচ্চ সীমা ধরেছেন বছরে 0·2 রেম। হাসপাতালে ও চিকিৎসাকেন্দ্রের X-রশ্মি বিভাগ, পরমাণু চুল্লিতে, ইউরেনিয়াম খনিতে এবং পরমাণু চুল্লির জ্বালানী প্রস্তুতির কারখানায় কর্মরত লোকজন বছরে 2 রেম বিকিরণ শোষণ করেন।

আমাদের শরীরে সেকেন্ডে 15000 তেজস্ক্রিয় কণা এসে পড়ছে। এদের উৎস নিম্নরূপ ঃ

কাঠ/কংক্রীটের বাড়ি, দুধ, বীয়ার, রেডিয়াম-ডায়াল ঘড়ি, রঙিন টিভি (রঙিন টি-ভি থেকে বছরে 3 মাইক্রোসিয়েভার্ট বিকিরণ আসে)

মহাজাগতিক রশ্মি ঃ এ থেকে আবার বেশি ক্ষতি হয় (i) আন্তর্মহাদেশীয় উড়ানে (ভূপৃষ্ঠের 12000 মি. উপর দিয়ে চলে যখন 5 মাইক্রো-সিয়েভার্ট ঘণ্টায়)

সুপারসনিক (শব্দের চেয়ে দ্রুত) বিমানে (ভূ-পৃষ্ঠের 12000 – 20000 মি. উপরে চলে, ঘণ্টায় 13 মাইক্রোসিয়েভার্ট)

পরীক্ষায় দেখা গেছে লন্ডন / নিউইয়র্কে ভূপৃষ্ঠে তেজস্ক্রিয়তা যেখানে বছরে 0.2 রেম, ভারতবর্ষের কেরলে 0.4 – 3.25 রেম।

দুর্ঘটনা ঃ

পরমাণু-শক্তি উৎপাদনে সবচেয়ে ভীতিকর দিক হচ্ছে যে এই চুল্লিতে শক্তি-উৎপাদন নিয়ন্ত্রণের বাইরে চলে গেলে দুর্ঘটনা ঘটতে পারে। ছোটখাটো দুর্ঘটনা প্রতিটি পরমাণু-শক্তি উৎপাদক দেশেই ঘটেছে। তবে এখন পর্যন্ত দুটি মারাত্মক দুর্ঘটনা নথিবদ্ধ হয়েছে।

(i) মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের থ্রি মাইল দ্বীপ-এর দুর্ঘটনা (28 মার্চ, 1979)। চুল্লির প্রাথমিক শীতকনলের কাজ বিঘ্নিত হওয়ায় এই দুর্ঘটনা ঘটে। পরিবেশ দূষণমুক্ত করতে দীর্ঘ সময় লেগেছিল।

(ii) ভূতপূর্ব সোভিয়েট রাশিয়ার ইউক্রেন-এর চেনোবিল-এ ভি-আই-লেনিন পরমাণু শক্তি কেন্দ্রের দুর্ঘটনা (26 এপ্রিল, 1986)। এতে চারটি চুল্লির একটি অংশত গলে যায় ও অপরাংশ উড়ে যায়। 203 জন কর্মচারী বিকিরণ জনিত অসুখে পড়ে আর সরকারী হিসাবে 31 জন মারা যায়।

10.4. ○ সারাংশ

বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্ন প্রয়োজনে কেন্দ্রকীয় বিকিরণের নির্দেশ ও পরিমাপনের প্রয়োজন হয়। এজন্যে বিভিন্ন সূক্ষ্মতা ও সুবেদিতার বিভিন্ন যন্ত্র উদ্ভাবিত হয়েছে। বিকিরণ বিশেষের ক্ষেত্রে এসব বিভিন্ন যন্ত্রের ব্যবহার দেখা যায়।

সব যন্ত্রের ক্রিয়াকৌশল মোটামুটি একই। বিকিরণ কোনও গ্যাসকে আয়নিত করে। ফলে সৃষ্ট আয়ন থেকে উৎপন্ন আধান প্রবাহই পরিমাপন সম্ভব করে। এই প্রবাহকে বিভিন্ন পরিমাপনীয় প্রকাশে (ঝলক, আধান, চমক ইত্যাদি) পরিণত করা হয়। প্রধান প্রধান পরিমাপক যন্ত্র হল ঃ

(1) আয়নন প্রকোষ্ঠ, (2) গাইগার মূলার গণক, (3) আনুপাতিক গণক, (4) প্রবাহগণক, (5) প্রাচ গবাক্ষ গণক, (6) চমক গণক, (7) অর্ধপরিবাহী নির্দেশক, (8) বুদবুদ প্রকোষ্ঠ ও মেঘ কক্ষ, (9) তড়িৎ বীক্ষণ। কোন মানুষ কী পরিমাণ বিকিরণ শোষণ করেছে তা জানার জন্য ফিল্ম্ ব্যাজ ব্যবহৃত হয়।

বিকিরণের পরিমাপনের একক হল ঃ রঞ্জেন, রেপ, রূপ, RBE, রেম, সিয়েভার্ট, গ্রে।

ICRP কর্তৃক নির্দেশিত মানুষের সহনীয় বিকিরণ শোষণের সর্বোচ্চ সীমা বছরে 0.2 রেম।

10.5. ○ প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. কেন্দ্রকীয় বিকিরণ পরিমাপনের মূল তত্ত্ব বিবৃত করুন।
2. গাইগার মূলার গণকের গঠন ও ক্রিয়াশৈলী বর্ণনা করুন। এই যন্ত্রের সুবিধা ও অসুবিধাগুলি কী কী?
3. পারমাণবিক চুল্লিতে কর্মরত লোকজনের দেহে শোষিত বিকিরণের পরিমাণ কী ভাবে লক্ষ ও পরিমাপ করা হয়?
4. আদর্শ চমক গণকের লক্ষণ কী কী হওয়া উচিত?
5. তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে কী করে কেন্দ্রকীয় বিকিরণের পরিমাপ সম্ভব?
6. মেঘ কক্ষের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করুন। এর সঙ্গে বুদবুদ প্রকোষ্ঠের কার্যপ্রণালির পার্থক্য কোথায়?
7. টীকা লিখুন ঃ র‍্যাড, গ্রে, সিভার্ট, RBE, রেম।
8. ICRP-র পুরো কথাটি কী?

10.6. ❍ উত্তরমালা

1. 10.2 অংশ দেখুন।
2. 10.2.2. অংশ দেখুন।
3. 10.2.8(B) অংশ দেখুন।
4. 10.2.6 অংশ দেখুন।
5. 10.2.8(O) অংশ দেখুন।
6. 10.2.8.(A) ও (C) অংশ দেখুন।
7. 38.10.3 অংশ দেখুন।

একক 11 □ কণা-ত্বরক (Particle accelerator)

গঠন

11.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

11.2 কণা-ত্বরকের শ্রেণিবিভাগ

11.3 কণাত্বরক

11.3.1 ককক্ফট-ওয়াল্টন কণা-ত্বরক

11.3.2 ভ্যান-দ্য - গ্রাফ্ (কণা ত্বরণ) উৎপাদক

11.3.3 রৈখিক কণাত্বরক

11.3.4 সাইক্লোট্রন

11.3.5 সিংক্রো সাইক্লোট্রন

11.3.6 বিটাট্রন

11.3.7 বিভাট্রন

11.4 উচ্চ শক্তিতে বিক্রিয়া ঘটানোর জন্য প্রাত শক্তির পরিমাণ

11.5 ভারতবর্ষের ত্বরক যন্ত্রসমূহ

11.6 সারাংশ

11.7 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

11.8 উত্তরমালা

11.1. ○ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ

আপনারা জেনে গেছেন যে কেন্দ্রকীয় আকর্ষণ বল খুব অল্প দূরত্ব পর্যন্ত ক্রিয়া করে। তার পরেই এই বল বিকর্ষণী বল-এ পরিণত হয়। তাই প্রাস কণিকার সাহায্যে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঘটাতে গেলে কণিকাগুলির গতিশক্তি যথেষ্ট বাড়াতে হয়, নতুবা তারা কেন্দ্রকের মধ্যে ঢুকতে পারবে না। এই শক্তিবৃদ্ধির জন্য একাধিক যন্ত্র উদ্ভাবিত হয়েছে। এদের বলা যায় 'কণা ত্বরক' (Particle accelerator)। প্রচলিত প্রাস কণার মধ্যে পড়ে ইলেকট্রন, প্রোটন, ডয়েটেরন, α-কণা ইত্যাদি। বর্তমানে, বিশেষ করে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের প্রস্তুতির ক্ষেত্রে বিভিন্ন পরমাণুর কেন্দ্রকও এই উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত হচ্ছে। এদের সবগুলিকেই উচ্চশক্তিসম্পন্ন করে নেবার প্রয়োজন আছে।

উদ্দেশ্য ঃ

বর্তমান এককে আপনাদের তাই জানানো হবে ঃ

- কণা-ত্বরকের শ্রেণিবিভাগ।
- বিভিন্ন কণা-ত্বরকের গঠন ও কার্যপ্রণালী।
- উচ্চশক্তিতে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঘটানোর জন্য সংশ্লিষ্ট শক্তির পরিমাণ।

11.2. ○ কণা-ত্বরকের শ্রেণিবিভাগ

কণা-ত্বরকের যন্ত্রসমূহ প্রধানত তিন শ্রেণির ঃ

(i) স্থির তাড়িতিক কণা-ত্বরক ঃ এই সব যন্ত্রে কণা সরলরৈখিক পথে পরিভ্রমণ করে শক্তি অর্জন করে। এক্ষেত্রে একই ধাপে শক্তি অর্জিত হয়। কক্রফ্‌ট্ ওয়াল্‌টনের বিভব পরিবর্ধক এবং ভ্যান-দ্য-গ্রাফের জেনারেটর এই ধরনের যন্ত্র।

(ii) যে সব যন্ত্রে কণাগুলি সরলরৈখিক পথেই পরিভ্রমণ করে, কিন্তু শক্তি অর্জন করে ধাপে ধাপে। রৈখিক ত্বরক এই ধরনের।

(iii) তৃতীয় যে ধরনের ত্বরক ব্যবহৃত হয়, সেগুলি হচ্ছে চক্রীয় অনুনাদী ত্বরক। এগুলির মধ্যে কণাগুলি আঁকাবাঁকা পথে বা চক্রীয় পথে পরিভ্রমণ করে ধাপে ধাপে শক্তি সংগ্রহ করে। সাইক্লোট্রন, বীটাট্রন, সিংক্রোটন এই শ্রেণির মধ্যে পড়ে।

11.3. ○ স্থিরতড়িতকণা ত্বরক (Electrostatic particleace accelerators)

এই ধরনের যন্ত্রে খুব উচ্চ বিভব উৎপন্ন করতে হয়। যদি উৎপন্ন বিভব v ভোল্ট হয় তবে নলের মধ্য দিয়ে পরিভ্রমণরত q আধান সম্পন্ন কণার গতিশক্তি হবে qv।

এসব যন্ত্রের দুটি প্রধান অংশ থাকে-- উচ্চবিভব উৎপাদক ও ত্বরক নল। এরকম প্রধান দুটি ত্বরক নিচে বর্ণিত হল।

11.3.1. কক্রফ্‌ট-ওয়াল্‌টন কণা-ত্বরক ঃ

উদ্ভাবক JD Cockroft ও ETS walton নামানুসারে যন্ত্রের নাম।

এই যন্ত্রে একটি আরোহী (Step-up) ট্রান্সফর্মার (y) থেকে পাওয়া পরিবর্তিত (alternate) বিভবকে কতকগুলি একমুখী কারক ডায়োড (rectifier diodes) R_1, R_2, ... এবং ধারক (ton denser) C_1, C_2, ... C_1', C_2'..... সাহায্যে পরিবর্ধিত করে উচ্চ বিভব উৎপন্ন করা হয়।

একমুখী কারকগুলি প্রকৃতপক্ষে সুইচের কাজ করে। চিত্র (11.1)-এ যন্ত্রের কার্যপ্রণালীর তত্ত্ব দেখানো হয়েছে।

C_1, C_2..... সমান ধারকত্ব (capacity) সম্পন্ন ধারক (candenser); C_1', C_2', ... অনুরূপ এক সারি ধারক। এগুলির ধারকত্ব সমান। T থেকে – 10^5 ভোল্ট বিভব পাওয়া যায়। ধরা যাক ট্রান্সফর্মারের কোন নির্দিষ্ট

অর্ধকম্পনের ফলে (half cycle) কালে প্রাপ্ত ধনাত্মক হয়েছে, তখন R_1 পরিবাহী হয় এবং তার ফলে C_1 ধারক আহিত হয়। পরবর্তী অর্ধ কম্পনের ট্রান্সফর্মারের Q প্রাক ধনাত্মক হয়ে পড়ে এবং ফলে R_2 পরিবাহিতা পায় (R_1 অপরিবাহী হয়)। এই অবস্থায় C_1' ধারক C_1 ধারকের সমান্তরালে সংযুক্ত থেকে আহিত হয়। আবার পরের

চিত্র 11.1 ঃ কক্রফ্‌ট-ওয়ালটনের বিভব বিবর্ধক

অর্ধকম্পন কালে R_1 ও R_3 একমুখীকারক দুটির মাধ্যমে C_1 ও C_3 পরস্পরের সঙ্গে সমান্তরাল ভাবে সংযুক্ত থেকে C_2-কে আহিত করে। আধান বন্টনের ফলে সমান্তরাল সমবায়ে থাকা ধারকগুলি পর পর সমবিভব আহিত হতে থাকে। আবার আগের অবস্থা ও পরের অবস্থা এভাবে চলতে চলতে ধারকগুলির বিভব বাড়তে থাকে। ট্রানস্‌ফর্মারের পরিবর্তী (AC) বিভব (V) পরিবর্তনের কম্পাঙ্ক খুব বেশী হওয়ায় অল্প সময় পরে ধারকগুলি সমবিভবে আহিত হয়। n সংখ্যক ধারক শ্রেণিতে থাকলে প্রথম ও শেষ ধারকের মধ্যে বিভব প্রভেজ পরিবর্তী বিভব v এর x গুন অর্থাৎ xv হয়। এভাবে ধারক ও একমুখী কারক ডায়োডের সাহায্যে উচ্চমাত্রার সমদিষ্ট (D.C.) বিভব প্রভেদ উৎপন্ন করা হয়।

আলোচ্য যন্ত্রে প্রথমাবস্থায় 3×10^5 ভোল্ট বিভব পাওয়া গিয়েছিল। পরবর্তী কালে 7×10^5 ভোল্ট, এমনকী 30×10^5 ভোল্টও পাওয়া গেছে। এর ফলে উৎপন্ন আয়ন প্রবাহ হয় কয়েক মাইক্রো অ্যাম্পীয়র।

আয়নগুলি একটি ত্বরক-নলের (accelerntor) মধ্য দিয়ে যায়। ত্বরক নলের এক প্রান্তে অবস্থিত আয়ন উৎসের উপর উপযুক্ত বিভব প্রযুক্ত হয়। অপর প্রান্ত যুক্ত থাকে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার লক্ষবস্তুর সঙ্গে, আর সেটি রক্ষিত থাকে ভৌম বিভবে (ground potential)। এভাবে পরিভ্রমণরত আয়নাগুলি উচ্চ শক্তিসম্পন্ন হয়ে লক্ষবস্তুকে গিয়ে আঘাত করে। এখন অবশ্য এই যন্ত্রের ব্যবহার অনেক কম।

11.3.2. ভ্যান-দ্য গ্রাফ্‌-এর কণাত্বরণ উৎপাদক ঃ

এটি প্রকৃতপক্ষে একটি স্থির তাড়িতিক (electrostatic) যন্ত্র। রেশম, রাবার প্রভৃতি কোনও ভাল অন্তরক পদার্থের তৈরি একটি বেল্টকে (4) দুটি কপিকল (1) ও (2) এবং একটি মোটরের সাহায্যে আবর্তিত করা হয়। (1) কপিকলটি ভূমি সংযুক্ত (শূন্য বিভব) এবং (2) কপিকলটি বৃহৎ ফাঁপা ধাতব গোলাকার গম্বুজাকৃতি আধার (6)-এর মধ্যে রাখা। এটি উচ্চবিভব প্রাপ্ত। একটি সমবর্তী বিভব উৎপাদক (3) থেকে উৎপন্ন 50 – 100

কিলোভোল্ট বিভব কতগুলি ছুঁচলো কাঁটা যুক্ত পরিবাহী C_1-এর উপর প্রযুক্ত হয়। কাঁটাগুলি থেকে করোনা-মোক্ষন (Corona discharge) ঘটে। এর ফলে বেল্ট (4)-এর উপর আধান বর্ষিত হতে থাকে। গতিশীল বেল্ট এই আধানকে অল্পক্ষণের মধ্যেই C_1-এর অনুরূপ C_2 পরিবাহীতে পৌঁছে দেয়। এর কাঁটাগুলিতে আবার অনুরূপ করোনা-মোক্ষণ ঘটে। এদের মাধ্যমে বেল্টের আধান ধাতব গম্বুজ (6)-এর উপরতলে জমা হয়। আধান যত বাড়ে বিভবও তত বাড়ে। একটা নির্দিষ্ট মান পর্যন্ত এই বিভব বৃদ্ধি পায় এবং তার পরে বিভবের মান স্থির হয়ে পড়ে। এই প্রস্ত উচ্চতম মান নির্ভর করে অন্তরক পদার্থ নির্মিত বিভিন্ন যন্ত্রাংশের উপর। উচ্চ বিভবে এদের আন্তরণক্ষমতা (Insulating power) নষ্ট হয় এবং স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হয়। তাই যন্ত্রটিকে ফ্রিয়ন বা কার্বন ডাই-অক্সাইড মিশ্রিত উচ্চচাপে (20 বায়ুমণ্ডল) রক্ষিত সম্পূর্ণ শুষ্ক নাইট্রোজেন গ্যাস পূর্ণ আধারে আবদ্ধ রাখা হয়। এতে অন্তরকতাবিনাশী (Insulation breakdown) বিভবের মান বৃদ্ধি পায়।

চিত্র 11.2

এইসব ব্যবস্থা নেওয়ার ফলে আলোচ্য যন্ত্র থেকে প্রাপ্ত উচ্চতম বিভব হয় 10^7 ভোল্ট। প্রথমে (1931) পাওয়া গিয়েছিল 1.5×10^6 ভোল্ট।

পরবর্তী সময়ে উন্নততর ট্যানডেম ভ্যান-দ্যা গ্রাফ উৎপাদকে দ্বিগুণ বা ততোধিক শক্তির কণা পাওয়া গেছে। এই পদ্ধতিতে H^+, D^+, O^+, O^{2+}, O^{3+}, O^{5+}, ইত্যাদি কণা ত্বরান্বিত করা হয়। নিম্ন শক্তি কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঘটানোর জন্য এই যন্ত্র দুটোই উপযোগী।

স্থির তাড়িতিক কণা-ত্বরকের সবচেয়ে অসুবিধা যা, তা হল উচ্চ বিভবের প্রভাবে পরিপার্শ্বের গ্যাস ও যন্ত্রের বিভিন্ন অংশের অন্তরক পদার্থ তাদের আন্তরণ ক্ষমতা হারায়। তা-ই এ ধরনের যন্ত্রে কয়েক মি-ই-ভো অপেক্ষা উচ্চতর শক্তির কণা উৎপন্ন করা সম্ভব হয় না।

11.3.3. রৈখিক কণা-ত্বরক (Linear accelerator) ঃ

উইডেরো (R. Wideroe) 1928 সালে প্রথম এই যন্ত্র উদ্ভাবন করেন। স্লোন (D. H. Sloan) এবং লরেন্স (E. O. Lowrence) 1931 প্রথম এর প্রয়োগ দেখান। তাঁরা একগুচ্ছ পারদ আয়নকে এই যন্ত্রের সাহায্যে 1.26 মি-ই-ভো শক্তিসম্পন্ন করেন। চিত্র (11.3)-এ একটি রেখাচিত্রে যন্ত্রটির কৌশল বোঝানো হয়েছে। এতে কতগুলি সমক্ষ বেলনাকৃতি প্রবাহ-নল (drifr-tube) অল্প ব্যবধানে রক্ষিত থাকে। প্রথম, তৃতীয় ইত্যাদি বিজোড় সংখ্যক নলগুলি সংযুক্ত করে একটি বেতার-কম্পাঙ্ক পরিবর্তী বিভব সংকেত উৎপাদকের এক প্রান্তে সংলগ্ন করা হয়; দ্বিতীয় চতুর্থ, ষষ্ঠ ইত্যাদি জোড়সংখ্যক নলগুলিকে অপর প্রান্তে সংলগ্ন করা হয়। পরপর নলগুলির দৈর্ঘ্য ক্রমবর্ধমান রাখা হয়। এগুলিকে 1 মিটার ব্যাস ও 13 – 14 মি. দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি বায়ুশূন্য কক্ষে রক্ষিত থাকে।

আয়নগুলি প্রথম প্রবাহনল থেকে দ্বিতীয় প্রবাহ নলে প্রবেশ করার সময়ে দ্বিতীয় নল প্রথমটির সাপেক্ষে উচ্চতর ঋণাত্মক বিভব প্রাপ্ত হয় এবং এর ফলে দুটি নলের অন্তবর্তী স্থান পার হবার সময় আয়নগুলি qv শক্তি

চিত্র 11.3 ঃ রৈখিক কণা-ত্বরক

অর্জন করে (q = আধান, v = পরিবর্তী বিভবের বিস্তার বা amplitude)। দ্বিতীয় নল বরাবর পরিভ্রমণ কালে আয়নের শক্তিবৃদ্ধি ঘটে না। পরিবর্তী বিভবের কম্পাঙ্ক এমন থাকে যে আয়ন দ্বিতীয় নল থেকে নির্গত হবার সময় তৃতীয় নল দ্বিতীয় নলের সাপেক্ষে উচ্চতম ধনাত্মক বিভব পায়। তাই দ্বিতীয় থেকে তৃতীয় নলে যাবার সময় আয়নগুলি আবার qv শক্তি অর্জন করে অর্থাৎ মোট শক্তি দাঁড়ায় $2\frac{q}{v}$। এভাবে অগ্রসর হলে n-তম নল থেকে নির্গমন কালে মোট অর্জিত শক্তি হয় nqv এবং আয়নের গতিবেগ দাঁড়ায় $v_n = (2nqv/M)^{1/2}$। আয়নগুলি ক্রমবর্ধমান গতিবেগ নিয়ে নলের মধ্যে পরিভ্রমণ করে বলে নলগুলির দৈর্ঘ্যও ক্রমবর্ধমান রাখতে হয়।

এই যন্ত্রের একটা বিশেষ সুবিধা এই যে এই যন্ত্রে বিকিরণ-ক্ষয় (radiation loss) এনেক কম। এই ধরনের বৃহত্তম যন্ত্র আছে আমেরিকার স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ে - নাম SLAC-এর সাহায্যে 10^4 সি-ই-ভো বা 10 জি-ই-ভো শক্তির ইলেকট্রনগুচ্ছ পাওয়া যায়।

11.3.4. সাইক্লোট্রন (Cyclotron) ঃ

1930 সালে কালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক ই-ও লরেন্স (E. O. Lowrance) সাইক্লোট্রন উদ্ভাবন করেন। এখানেও কণাগুলি ধাপে ধাপে শক্তি অর্জন করে। তবে আয়নগুলি এক্ষেত্রে সরলরেখায় না চলে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে প্যাঁচানো (Spiral) পথে চলে। চিত্র 11.4 এ এর কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যাও হল।

একটি বৈদ্যুতিক চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে দুটি পরস্পর অন্তরিত অর্ধবৃত্তাকার ফাঁপা ধাতব তড়িৎদ্বার (D_1, D_2) রাখা থাকে। এরা আসলে চ্যাপ্টা ও ফাঁপা অর্ধবৃত্তাকার পাত্র। এদের প্রত্যেকটির ব্যাসার্ধ চৌম্বক মেরুদ্বয়ের ব্যাসার্ধের সমান। D-দুটির মধ্যে বেতার কম্পাঙ্ক সম্পন্ন পরিবর্তী বিভব প্রযুক্ত হয়। এদের মধ্যে ঠিক কেন্দ্রস্থলে থাকে আয়ন উৎস। D-দুটি আর এই আয়ন উৎস কমচাপযুক্ত আধারের মধ্যে থাকে। চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে আয়নগুলি অর্ধবৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করে এবং $D_1 - D_2$, $D_2 - D_1$ অতিক্রমকালে প্রত্যেক বার তার qv শক্তি অর্জন করে। এখানে q = আধান, v = পরিবর্তী বিভবের বিস্তার (amplitude) ক্রমেই বর্ধমান ব্যাসার্ধযুক্ত অর্ধবৃত্তাকায় পরিভ্রমণ করতে হয় এদের।

D-এর মধ্যে থাকার সময় আধানের শক্তি অর্জিত হয় না। চৌম্বক ক্ষেত্র থাকার ফলে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করে।

রেডিও কম্পাঙ্ক কম্পক (Radio freguency scillator)

(1) চৌম্বক মেরু, (2) আয়ন উৎস, (3) D-আকৃতি বায়ুশূন্যপ্রকোষ্ঠ

চিত্র 11.4

B = চৌম্বক ক্ষেত্র, q = আধান, v = বেগ, M = আধানের ভর, r = পথের ব্যাসার্ধ হলে,

$$Bqv = \frac{Mv^2}{r}$$

বা, $r = \frac{Mv}{Bq}$ এবং $v = \frac{BqR}{M}$

কোনো একটা D-তে ভ্রমণকাল, $t = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi m}{Bq} = T/2$

T = একবার পূর্ণ ঘূর্ণনের সময়,

$$\text{কম্পাঙ্ক } f = \frac{1}{T} = \frac{Bq}{2\pi M}$$

কম্পাঙ্ক বা পূর্ণ ঘূর্ণন কাল বৃত্তপথের ব্যাসার্ধের উপর নির্ভর করে না।

ঐ বৃত্তপথে থাকার সময় আধানের শক্তি

$$E = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2q^2R^2}{M} = 2\pi^2 f^2 MR^2$$

এভাবে চলতে চলতে অবশেষে বৃহত্তম ব্যাসার্ধ খুব উচ্চ শক্তি অর্জন করে। সেসময় কণাকে বাইরে নিয়ে আসার ব্যবস্থা করা হয়। উপযুক্ত কেন্দ্রকের উপর ফেলে নিউক্লীয় বিক্রিয়া ঘটানো হয়।

লরেন্সের প্রথম যন্ত্রে মেরুর ব্যাস ছিল ~94 সেন্টিমিটার। পরবর্তীকালে তিনি 152 সেমি ব্যাসযুক্ত মেরুর যন্ত্র নির্মান করেন। এর সাহায্যে v 20 মি-ই-ভো শক্তির ডয়েটেরন ও 40 মি-ই-ভো শক্তির α কণা পাওয়া সম্ভব হয়েছে।

এই উদ্ভাবন 1939-এ নোবেল পুরস্কারে নন্দিত হয়।

11.3.5. সিংক্রো-সাইক্লোট্রন (Syncho cyclotron) ঃ

সাইক্লোট্রনের কার্যপদ্ধতিতে একটি শর্ত আছে, তা হল অনুনাদের শর্ত অর্থাৎ পরিবর্তী বিভব ও আয়নগুলির আবর্তনের মধ্যে অনুনাদ হলেই আয়নগুলি প্রতিবার D – D ব্যবধান অতিক্রম করতে গিয়ে qv শক্তি অর্জন করবে। আবর্তন কম্পাঙ্ক পাওয়া যায় নিচের সমীকরণে ঃ

আবর্তন কম্পাঙ্ক $\vartheta_r = \frac{B_q}{2\pi M_0}\sqrt{1-\beta^2}$ – (x)

β = চৌম্বক ক্ষেত্র

q = আধান

M_0 = স্থিরভর

$\beta = \frac{v}{c}$, v = গতিবেগ, c = শূন্যমাধ্যমে আলোর গতিবেগ।

উচ্চতর শক্তিতে আপেক্ষিকতাবাদ জনিত ভর-বৃদ্ধি সত্ত্বেও এই অনুনাদ শর্ত রক্ষিত হয় যদি

(i) β বাড়িয়ে $\sqrt{1-\beta_2}$ উৎপাদকটি নাকচ করা যায়, অর্থাৎ β এমন ভাবে বাড়ানো যায় যে $\beta = \beta_0\sqrt{1-\beta_2}$ হয়।

(ii) β কে স্থির রেখে ϑ_r-কে সময়ের সঙ্গে এমন ভাবে কমানো হয় যে (x) সমীকরণ সঠিকভাবে থেকে চলা হয়।

প্রথম পদ্ধতি অনুসরণ করে সিংক্রোট্রন যন্ত্র উদ্ভাবিত হয়েছে। দ্বিতীয় পদ্ধতি অনুসরণ করে কম্পাঙ্ক নিয়ন্ত্রিত সাইক্লোট্রন (frequency modulated cyclotron) উদ্ভাবিত হয়েছে।

উভয় শ্রেণির যন্ত্রের কার্যপ্রণালি থেকে আমেরিকান বিজ্ঞানী ম্যাকমিলান (E. M. Mac Millan) ও রুশ বিজ্ঞানী ভেক্স্লার (V. Veksler) কর্তৃক উদ্ভাবিত 1945 সালে আয়নের পরিভ্রমণ কক্ষদ্বয়ের দশা স্থায়িত্ব (phase stability) সূত্রের উপরে।

এই সূত্রকে এভাবে বলা যায় ঃ দশা স্থায়ী ত্বরক যন্ত্রে কণাগুলিকে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহের সাহায্যে শ্রেণিবদ্ধ ফাঁক (gap)-এর সাহায্যে ত্বরিত করা হয়। যদি এই ফাঁক অতিক্রমের সংখ্যা খুব বেশি হয়, তবে আয়নগুলিকে ত্বরিত ক্ষেত্রের সঙ্গে সাযুজ্যপূর্ণ রাখা কঠিন হয়ে দাঁড়ায়। তবে উপযুক্ত ব্যবস্থাযুক্ত চৌম্বকক্ষেত্র ব্যবহার করলে, কণাগুলি অনুনাদী আবর্তনের অধিকারী হবার মত শক্তি অর্জন করলেই সহজে ফাঁক অতিক্রম করে যেতে পারবে। ফাঁকে উপস্থিত সঠিক শক্তির কণার দশা যদি সাম্য দশার কাছাকাছি অথচ বেঠিক হয় তবে সেটি স্বতঃই ঠিক দশা সম্পন্ন হয়ে পরবর্তী ফাঁকে যাবে। এর ফলে আয়নগুলি ঝলকে ঝলকে আসবে। যেমন শিকাগো সিংক্রো সাইক্লোট্রনে সেকেণ্ডে 60 বার ত্বরিত আয়নগুচ্ছের ঝলকের পুনরাবৃত্তি ঘটে। এথেকে 450 মি-ই-ভো প্রোটন পাওয়া যায়।

চৌম্বক ক্ষেত্রের নতিমাত্রা (gradient) দিগংশের (azimuth) সঙ্গে পরিবর্তিত করে এক বিশেষ ধরনের সাইক্লোট্রন উদ্ভাবিত হয়েছে। এতে চৌম্বক মেরুতল দুটিকে দিগংশীয় কয়েকটি ভাগে ভাগ করা হয়— এদের উপরে আবার পর্যায়ক্রমে কয়েকটি অরীয় (radial) বা প্যাঁচানো (spiral) আকৃতির ইস্পাতে গিয়া (ridge) সংযুক্ত করা হয়। এর ফলে দিগংশীয় দিকে চৌম্বকক্ষেত্র যথাক্রমে বেশি-কম হতে থাকে। এই ধরনের সাইক্লোট্রনকে দিগংশীয় পরিবর্তনশীল ক্ষেত্রবিশিষ্ট সাইক্লোট্রন (Azimuthally varying field বা AVF cyclotron) বলে। এতে ত্বরিত আয়নের উর্ধশক্তি প্রায় 750 মি-ই-ভো করা যায়। তাছাড়া এতে আয়নের শক্তিসীমা ইচ্ছানুযায়ী

পরিবর্তিতও করা যায়। একে তাই পরিবর্তনশীল শক্তি সম্পন্ন সাইক্লোট্রন (variable energy cyclotron বা VEC) ও বলা হয়ে থাকে। ভাবা পারমাণবিক গবেষণা কেন্দ্র (Bhaba Atomic Research Centre BARC)-এর সহযোগিতায় কলকাতার উপকণ্ঠে সল্ট লেক অঞ্চলে এরকম একটি সাইক্লোট্রন স্থাপিত হয়েছে। এতে 6 থেকে ~ 60 মি-ই-ভো শক্তির প্রোটনগুচ্ছ, 12 – 65 মি-ই-ভো ডয়েটেরন B 24 – 130 মি-ই-ভো α কণা পাওয়া যায়।

11.3.6. বিটাট্রন (Betatron) ঃ

উপযুক্ত ত্বরকযন্ত্রে (যেমন সাইক্লোট্রন, সিংক্রোসাইক্লোট্রন) ইলেকট্রন (β কণা) এর ত্বরণ সম্ভব নয়। এর কারণ এ যে আপেক্ষিকতাজনিত ভরবৃদ্ধি প্রোটন প্রভৃতি ভারি কণার তুলনায় ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে অনেক বেশি। উচ্চশক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রন পাওয়া যায় বিটাট্রন ত্বরণযন্ত্রে। আমেরিকা পদার্থবিজ্ঞানী কার্স্ট (D W Kerst, 1940) এই যন্ত্র উদ্ভাবন করেন।

এক মি-ই-ভো বা তার কাছাকাছি শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রনের গতিবেগ আলোকের গতিবেগের প্রায় সমান হওয়ায় শক্তিবৃদ্ধির সঙ্গে ইলেকট্রনের ভরেরই বৃদ্ধি ঘটে, গতিবেগ খুব একটা পরিবর্তিত হয় না। বিটাট্রন যন্ত্রের ক্রিয়াকৌশল নিম্নরূপ (চিত্র 11.5)।

চিত্র 11.5 ঃ বিটাট্রন

ইলেকট্রনগুলি চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে ঘুরতে থাকে। এই চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতা যত বাড়ানো যায় কক্ষপথের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী ফ্লাক্স তত বাড়ে তড়িৎচুম্বকীয় আবেশ (electro-magnetic induction) এর সূত্র অনুযায়ী এই ফ্লাক্স পরিবর্তনের ফলে কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎচালকবল (emf) আবিষ্ট হয় বা একটি তড়িৎক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এই তড়িৎ ক্ষেত্রের উৎপত্তি কুণ্ডলীর উপস্থিতি নির্ভর নয় (ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎচুম্বকীয় ক্ষেত্র সমীকরণ)। এর অর্থ এই যে কুণ্ডলী থাক বা না থাক একটি তড়িৎক্ষেত্র এমতাবস্থায় সৃষ্ট হবেই, এবং এর মধ্যে কোন আহিত কণা উপস্থিত থাকলে সেটি এই ক্ষেত্রের প্রভাবে গতিশীল হয়। বিটাট্রনের ক্ষেত্রে এভাবেই ইলেকট্রন শক্তি অর্জন করে, যতক্ষণ চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বৃদ্ধি পায় ততক্ষণ এই শক্তি অর্জন অব্যাহত থাকে।

একটি ডৌ-নাট (dough nut) নলের মধ্যে এই ইলেকট্রনগুলি আবর্তিত হয়। নলটি খুব নিম্নচাপে রক্ষিত। উত্তপ্ত একটি ধাতব বস্তু থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত করা হয়, এগুলিকে 50,000 ভোল্ট বিভবপ্রভেদে উপযুক্ত ডৌ-নাট নলে প্রবিষ্ট হয়। ডৌ-নাটটি একটি বিশেষ আকৃতির চৌম্বক মেরুর মধ্যে স্থাপিত। বিশেষ আকৃতি বলতে বোঝায় এমন ধরন যে মেরুদ্বয়ের মধ্যবর্তী কেন্দ্রীয় অঞ্চলে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ইলেকট্রনের আবর্তন কক্ষপথের উপরকার চৌম্বক ক্ষেত্রের চেয়ে উচ্চতর থাকে। সোজা কথায়, কেন্দ্রীয় অঞ্চলে মেরুদ্বয়ের ব্যবধান বহিরঞ্চলের চেয়ে কম থাকতে হবে।

কর্সেটের যন্ত্রের প্রথম নমুনার 2.3 মি-ই-ভো শক্তির ইলেকট্রন পাওয়া গিয়েছিল। পরবর্তীকালে সর্বোচ্চ 340 মি-ই-ভো শক্তির ইলেকট্রন উৎপন্ন হয়েছে। এরকম যন্ত্রের ব্যাস ছিল ~ 2.75 মিটার। বিটাট্রনের সাহায্যে ত্বরিত ইলেকট্রন থেকে উৎপন্ন X-রশ্মি জীববিদ্যা বিষয়ক গবেষণায় ক্যান্সার প্রভৃতি রোগের চিকিৎসায় প্রযুক্ত হয়। হাসপাতালে এই যন্ত্রের বহুল ব্যবহার দেখা যায়। ভারতবর্ষেও ভেলোরের খৃষ্টান মিশন হাসপাতালে একটি এই যন্ত্র আছে।

বিটাট্রন যন্ত্রে ব্যবহৃত বিদ্যুৎ-চুম্বকের ওজন বেশ বেশি একটি 350 মি-ই-ভো বিটাট্রনের চুম্বকের ওজন ~350 টন। এই অসুবিধা দূর করার প্রয়োজনীয় উদ্ভাবিত হয় ইলেকট্রন সিন্‌ক্রেটন (electron-synchrotm)। এই যন্ত্রে বীটাট্রন ও সিনক্রোটন উভয় যন্ত্রের তত্ত্ব ও কৌশল সম্মিলিত হয়েছে। এখানে বিটাট্রনের মত ইলেকট্রনগুলিকে পরিবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের কক্ষপথে আবর্তিত করানো হয়। এর ফলে চৌম্বক ফ্লাক্স পরিবর্তিত হয়— যার ফলে ইলেকট্রন ~ 2 মি-ই-ভো শক্তি অর্জন করে। এরপরে সাইক্লোট্রনের মত বেতার কম্পাঙ্ক সম্পন্ন একটি পরিবর্তী বিভবের প্রভাবে ইলেকট্রনগুলি উচ্চতর শক্তি অর্জন করে।

এই যন্ত্রে কয়েক শত মি-ই-ভো শক্তির ইলেকট্রন উৎপন্ন করা সম্ভব হয়েছে। প্রাপ্ত সর্বোচ্চ শক্তির পরিমাণ 6 মি-ই-ভো।

11.3.7. বিভট্রন (Bevatron) ঃ

নূতনতর কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঘটানোর উদ্দেশ্যে বিজ্ঞানীরা ক্রমাগত উচ্চতর শক্তির কণা উদ্ভাবনে সচেষ্ট। এই চেষ্টার ফলে 400 – 800 জি-ই-ভি যন্ত্র তৈরি হয়েছে। যে যন্ত্রে এই মি-ই-ভো শক্তিমানের কণা পাওয়া যায় তা হল বিভট্রন বা প্রোটন-সিংক্রটন।

এই যন্ত্রে ভ্যান্-দ্য-গ্রাফ্ উৎপাদক বা রৈখিক ত্বরণ যন্ত্রের সাহায্যে প্রোটনকে প্রথমতঃ 10 মি-ই-ভো শক্তি

(চিত্র 11.6 ঃ উন্নম্ব প্রস্থচ্ছেদের চুম্বক)

সম্পন্ন করে নেওয়া হয়। তারপর তাদের একটি বলয়াকৃতি নলে ঢোকানো হয়। নলটি চক্রাকৃতি বিদ্যুৎ-চুম্বকের মেরুদুটির মধ্যে স্থাপিত থাকে। উল্লম্বপ্রস্থচ্ছেদে চুম্বকটিকে C-অক্ষরের মত দেখতে (চিত্র 11.6)। পরপর অনেকগুলি C-আকৃতির চুম্বক বসিয়ে সমস্ত চক্রাকার চুম্বকটি নির্মিত হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র ক্রমশঃ বাড়িয়ে প্রোটনগুচ্ছকে সমব্যাসযুক্ত কক্ষ পথে আবর্তিত করানো হয়। প্রোটনগুচ্ছ পূর্ণশক্তি অর্জন করলে তবে চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া বন্ধ করা হয়। তারপর আরেক দফায় প্রোটনের ত্বরণ শুরু হয়। পর পর অবস্থিত C-আকৃতির চুম্বকগুলির মেরুদুটির ব্যবধান পর্যায়ক্রমে একটিতে বৃহত্তর ব্যাসার্ধের দিকে বৃদ্ধি পায়, পরেরটিতে ওই দিকে হ্রাস পায় (চিত্র 11.6)

প্রথমটিতে প্রোটনগুচ্ছ উল্লম্বদিকে কেন্দ্রীভূত (focussed) ও অরীয় দিকে বিকেন্দ্রীভূত (defocussed); পরের c-তে ঠিক এর বিপরীত ঘটনা ঘটে। এইভাবে পর্যায়ক্রমিক নতিমাত্রা সম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র পার হয়ে যেতে হয় বলে প্রোটনগুচ্ছ তীব্রভাবে কেন্দ্রীভূত হয়। ত্বরিত প্রোটনগুচ্ছ যাতে তীব্রভাবে কেন্দ্রীভূত হতে পারে, সেজন্য যন্ত্রের বলয়াকৃতি ত্বরণনলের ব্যাসার্ধ খুব কম করতে হয়। তার ফলে যন্ত্রের আকার কমে যায়, নির্মাণের ব্যয়ভারও।

অতিপরিবাহী (Superconducting) চুম্বকের আবিষ্কার কণা-ত্বরণযন্ত্রের নির্মাণ-কৌশলে অভাবিত উন্নতি ঘটিয়েছে।

11.4. ○ উচ্চ শক্তিতে বিক্রিয়া ঘটানোর জন্য প্রাপ্ত শক্তির পরিমাণ

যখন খুব উচ্চশক্তি সম্পন্ন আহিত কণা স্থির লক্ষ্যের উপর আঘাত করে, তখন সংঘাতের পরে উৎপন্ন কণাগুলির মোট কার্যকরী শক্তি সাধারণতঃ প্রাস কণার প্রারম্ভিক শক্তির চেয়ে কম হয়। কিন্তু পরিমাণ শক্তি সংঘাতের ফলে প্রাপ্ত কণাগুলির ভরবেগ ও গতিশক্তি সরবরাহ করতে ব্যয়িত হয়। অত্যুচ্চ শক্তির ক্ষেত্রে এই ব্যয়িত শক্তির পরিমাণও খুব বেশি হয়। অর্থাৎ বলা যায়, প্রাস কণার বেশির ভাগই এভাবে নষ্ট হয়।

হিসাব করে দেখা গেছে, প্রাস কণা 65.66 জি-ই-ভো সম্পন্ন প্রোটন বলে সংখ্যর পরে 9.38 জি-ই-ভো পরিমাণ কার্যকরী শক্তি পাওয়া যায়। ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে প্রারম্ভিক শক্তি 1002 জি-ই-ভো হলে কার্যকরী শক্তি হয় মাত্র ~1 জি-ই-ভো।

অবশ্য বর্তমানকালে উচ্চশক্তি বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে শক্তির এই তারতম্য দূর করার প্রচেষ্টা করা হয়েছে। এতে দুই গুচ্ছ বিপরীতমুখী সমশক্তি সম্পন্ন কণার মধ্যে সংঘাত ঘটানোর ব্যবস্থা করা হয়েছে। যেমন সার্ন-এর (cern) গবেষণাগারে 30 জি-ই-ভো শক্তি সম্পন্ন প্রোটনগুচ্ছের মধ্যে এরূপ সংঘাত ঘটানো হয়েছে।

এরকম আরও কতকগুলি বিক্রিয়া ঃ

রশ্মিগুচ্ছ	শক্তিমাত্রা (জি-ই-ভো)	সাল	গবেষণাগার
$e^+ - e^-$	30	1987	KEK, জাপান
$p - p$	270	1981	সার্ন
$p - p$	1000	1986	কানাডিয়া, আমেরিকা

11.5. ○ ভারতবর্ষের ত্বরকযন্ত্র সমূহ

নিচে ভরতবর্ষের বিভিন্ন স্থানে অবস্থিত ত্বরকযন্ত্রসমূহের একটি তালিকা দেওয়া হল।

ক্রমিক নং	স্থান	শক্তি মাত্রা	প্রতিষ্ঠা-বছর	মন্তব্য
1.	কলকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের পদার্থ বিদ্যা বিভাগের গণিত গবেষণাগার	3.7 মি-ই-ভো	1960	1মি. স্থির কম্পাঙ্ক সাইক্লোট্রন (বর্তমানে এটি বন্ধ আছে)
2.	চন্ডিগড়ের পাঞ্জাব বিশ্ববিদ্যালয়ের পদার্থবিদ্যা বিভাগ	5 মি-ই-ভো	1971	0.66 মি. স্থির কম্পাঙ্ক পরিবর্তনশীল শক্তি সাইক্লোট্রন
3.	কলকাতার বিধাননগরে Variable Eng... cyclotron centre	6–60 মি-ই-ভো p 12-65 মি-ই-ভো d 24-130 মি-ই-ভো d		2.24 মি. ভারতবর্ষের কৃত্রিম
4.	TIFR, মুম্বাই	28 মি-ই-ভো p 42 মি-ই-ভো α	1986	K-14 টোডেম ধরণের
5.	Nuclear Science Centre দিল্লি	30 মি-ই-ভো	1990	K-15 টোডেম

6. এছাড়াও কলকাতায় বিধাননগরে TIFR-এ, চেন্নাই দিল্লি ও মুম্বাই-এর বিভিন্ন হাসপাতালে, ইন্দোর (Centre of Advanced Technology, ACT)-এ বিভিন্ন শক্তিমাত্রার বিভিন্ন ধরনের ত্বরকযন্ত্র স্থাপিত হয়েছে ও হচ্ছে।

11.6. ○ সারাংশ

কেন্দ্রকীয় বিকর্ষণ বল অতিক্রম করে সংঘাতের মাধ্যমে কেন্দ্রীকীয় বিক্রিয়া ঘটাবার জন্য প্রাস কণাকে উন্মুক্ত শক্তি সম্পন্ন করে নিতে হয়। সরবরাহকৃত শক্তির খুব অল্প পরিমাণই কার্যকরী হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে এর পরিমাণ 0.1%-ও হয়ে থাকে। অবশ্য এই অসুবিধা দূর করার জন্য আজকাল লক্ষ ও প্রাস উভয়কেই শক্তিসম্পন্ন করা হয়। যে যন্ত্রসমূহদ্বারা প্রাস বা লক্ষ কণাকে শক্তিসম্পন্ন করা হয় তাদের বলা হয় কণা-ত্বরক যন্ত্র। বিভিন্ন ধরনের কণা-ত্বরক যন্ত্র বিভিন্ন সময়ে উদ্ভাবিত হয়েছে। অনেক সময় বিভিন্ন কণার জন্য বিভিন্ন রকম ত্বরক যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। কখনো বা একই যন্ত্রে বিভিন্ন ধরনের ত্বরিত কণা পাওয়া যায়। ভারতবর্ষেও বেশ কয়েকটি কণা-ত্বরকযন্ত্র প্রতিষ্ঠিত হয়েছে। এর বৃহত্তমটি কলকাতার উপকণ্ঠে লবণহ্রদ অঞ্চলে অবস্থিত। [11.5 অধ্যায়]

11.7. ○ প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. কণা-ত্বরক যন্ত্র কাকে বলা হয়? কীভাবে এদের শ্রেণিবিভাগ করা হয়?

2. কক্রফট্ - ওয়ালটন কণা ত্বরক যন্ত্রের বর্ণনা দিন।

3. ভ্যান-দ্য-গ্রাফ-এর উৎপাদক যন্ত্র বর্ণণা করুন। এর অসুবিধা কী? এতে সর্বোচ্চ কত শক্তির কণা পাওয়া গেছে।

4. সাইক্লোট্রন কী? এর বর্ণনা ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করুণ। এর কী কী রকমফের দেখা যায়?

5. বিটাট্রন যন্ত্র কী কাজে লাগে? এর বৈশিষ্ট্য আলোচনা করুন।

6. বিভাট্রন কণা ত্বরক যন্ত্র বর্ণনা করুন।

7. কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঘটতে সরবরাহকৃত শক্তি ও কার্যকরী শক্তির ধারণা দিন।

8. ভারতবর্ষে প্রতিষ্ঠিত কয়েকটি কণা-ত্বরক যন্ত্রের উল্লেখ করুন।

11.8. ○ উত্তরমালা

1. 11.1, 11.2 অংশ দেখুন।
2. 11.3.1 অংশ দেখুন।
3. 11.3.2. অংশ দেখুন।
4. 11.3.4. 11.3.5. 11.3.6. অংশ দেখুন।
5. 11.3.6. অংশ দেখুন।
6. 11.3.7. অংশ দেখুন।
7. 11.4. অংশ দেখুন।
8. 11.5. অংশ দেখুন।

একক 12 □ মৌল কণা সমূহ

গঠন

12.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

12.2 অবপারমাণবিক কণাসমূহের আবিষ্কারের ইতিহাস

12.3 কণা ও অনুনাদ

12.4 মৌলিক কণাসমূহের শ্রেণিবিভাগ

12.5 কেন্দ্রকনের পার্টন গঠন

12.6 কোয়ার্ক ও গ্লুয়ন সমূহ

12.6.1 কোয়ার্ট ভর

12.6.2 কোয়ার্ক আধান

12.7 কোয়ার্ক-গ্লুয়ন মিথস্ক্রিয়া

12.8 কোয়ার্ক প্রকল্প

12.9 সারাংশ

12.10 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

12.11 উত্তরমালা

12.12 অতিরিক্ত সহায়ক গ্রন্থপঞ্জি

12.1. ○ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা :

গত দুটি শতাব্দীর দশকের পর দশক ধরে অগণিত বৈজ্ঞানিক পরীক্ষার নিরিখে আজ এটা পরিষ্কার যে পদার্থের মূলে যে পরমাণু একাধিক অংশের সমন্বয়ে গঠিত এবং অবশ্যই বিভাজ্য এবং আয়াসে হলেও সংশ্লেষ্য। অবিসংবাদিতভাবে আজ স্বীকৃত যে পরমাণুর দুটি অংশ— অতি ক্ষুদ্র কেন্দ্রীয় অংশ, যার নাম কেন্দ্রক (nucleus) এবং বিস্তৃততর বহির্বেষ্টনকারী অংশ যাকে বলা হয় বহির্কক্ষ (outer sphere) কেন্দ্রকের ব্যাসার্ধ কয়েক ফার্মি ($1\ fm = 10^{-15}m$); বহির্কক্ষের ব্যাসার্ধের ক্রম 10^{-10} মি।

বিশ্বব্রহ্মাণ্ডের অযুত ধরনের পদার্থের গঠনের মূল শৈলী হল অসীম সংখ্যক পদ্ধতিতে পরমাণুসমূহের সজ্জা

ও বিন্যাস। প্রতিটি পরমাণু মূলত, আমরা জানি, ইলেকট্রন (আবিষ্কার 1891), প্রোটন (আবিষ্কার 1920) ও নিউট্রন (আবিষ্কার 1932) দিয়ে গঠিত। একমাত্র ব্যতিক্রম সাধারণ হাইড্রোজেন-এর পরমাণুতে নিউট্রন নেই। এটাও সর্বপরিজ্ঞাত যে ইলেকট্রনরা থাকে পরমাণু বহিঃকক্ষে আর প্রোটন ও নিউট্রন থাকে কেন্দ্রকে। এই সব অবপারমাণবিক কণার বৈশিষ্ট্য সমূহ সারণি (12.1)-এ দেওয়া হল। কিন্তু পরবর্তী ইতিহাস আলোচনা করলে দেখা যাবে বর্তমানে শতাধিক এ রকম কণা জমা আছে।

উদ্দেশ্য

বর্তমান এককটি পাঠ ও পর্যালোচনা করে আপনারা এই অবপারমাণবিক কণাগুলি সম্বন্ধে বিশদতরভাবে জানতে পারবেন। আধুনিক কণা পদার্থবিদ্‌রা প্রোটন ও নিউট্রনকেও মৌলিক কণা মনে করেন না, বরং তাদের মতে এরাও সূক্ষ্মতর কণার সমবায়। এই এককের উদ্দেশ্য তাই নিচের মত করে বলা যায় ঃ

- অবপারমাণবিক কণাসমূহের শ্রেণি বিভাগ।
- অবপারমাণবিক কণাসমূহের বৈশিষ্ট্যসমূহ।
- প্রোটন নিউট্রণের গঠন (পার্টন গঠন)
- কোয়ার্ক ও গ্লুয়ন প্রকল্প।

12.2. ○ অবপারমাণবিক কণাসমূহের আবিষ্কারের ইতিহাস

ইলেকট্রন ও প্রোটন আবিষ্কারের পর পদার্থবিদ্‌গণ এদেরই পরমাণুর গঠন একক ধরে পরমাণুর গঠন সম্পর্কে ধারণা দিয়েছিলেন। এবিষয়ে টম্‌সন্‌ ও রাদারফোর্ডের (যথাক্রমে ওয়াটার মেলন কাঠামো ও 'গ্রহ সমাবেশীয় কাঠামো') আপনাদের জানা। কিন্তু তারপর নিউট্রনের অস্তিত্ব সম্বন্ধীয় ভবিষ্যৎবাণী ও তার আবিষ্কার (1932) পদার্থবিদ্‌দের বেশ নিশ্চিত ও নিশ্চিতভাবেই পরমাণুর গঠন নিয়ে একটা স্থায়ী ধারণা গড়ে নিতে সাহায্য করল। তারা দেখালেন যে কেন্দ্রক গঠিত হয় নিউট্রন ও প্রোটনের সমবায়ে আর ইলেকট্রন থাকে বাইরের কক্ষে। কিন্তু বিভিন্ন সময়ে নতুন নতুন ঘটনার জন্ম হল। যেমন কেন্দ্রকে যদি ইলেকট্রন নাই থাকবে তবে তেজস্ক্রিয় বিভাজনে β-কণা বের হয় কিভাবে? আবার একই কেন্দ্রক থেকে নির্গত β-কণাসমূহের গতিবেগ অভিন্ন নয় কেন? এসব সমস্যার সমাধান করতে গিয়ে নতুন নতুন অবপারমাণবিক কণার আবিষ্কার ও অস্তিত্ব সম্বন্ধে ভবিষ্যদ্‌বাণী করা হতে লাগল। 1940-এর দশকের শেষদিকে যত অবপারমাণবিক কণার সংখ্যা দাঁড়াল 12^{+} এ। ষাটের দশকের মধ্যভাগে এই সংখ্যা একশ ছাড়িয়ে যাবার সম্ভাবনা দেখা দিল। কণাসমূহের ভর দেখা গেল শূন্যর কাছাকাছি থেকে ইলেকট্রনের ভরের কয়েকশ গুণ পর্যন্ত হতে পারে। তাড়িতিক দিক থেকে কণাসমূহ নিস্তড়িৎ হতে পারে অথবা একক ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানসম্পন্ন হতে পারে। এরা শূন্য বা পূর্ণসংখ্যা বা ভগ্নসংখ্যার কৌণিক ভরবেগ নিয়ে ঘূর্ণমান হতে পারে। এদের মধ্যে আবার প্রতিকণা নিয়ে নয়টি মুক্ত অবস্থায় সুস্থিত, বাকীগুলি সবই অসুস্থির— এদের গড় আয়ুষ্কাল 10^{-16} থেকে 10^{1} সেকেন্ড। বেশিরভাগ অসুস্থির কণা জাত হয় অত্যুচ্চ শক্তি সম্পন্ন (Super high energy) কণাসমূহের সংঘর্ষের ফলে; অনেকে আবার এই প্রক্রিয়ায় বলয় প্রাপ্তিও হয়।

উদাহরণ ঃ

$$\gamma + \gamma \quad — \quad e^{-} + e^{+} \text{.....(i)}$$
$$\gamma + \gamma \quad — \quad p^{+} + p^{-} \text{.....(ii)}$$
$$e^{-} + e^{+} \quad — \quad \gamma + \gamma \text{.....(iii)}$$

$$p^+ + p \quad — \quad \gamma + e^- \text{ ..... (iv)}$$
$$\gamma + p' \quad — \quad n + \pi^+ \text{ ..... (v)}$$
$$p^+ + p^+ \quad — \quad p^+ + k^+ \text{ ..... (vi)}$$

এই প্রক্রিয়াগুলিকে আমরা নিচের অভিধায় অভিহিত করতে পারি ঃ

(i) ও (ii)	কণা-যুগ্মের উদ্ভব	(pair production)
(iii) ও (iv)	কণা-যুগ্মের বিলয়	(pair annihilation)
(v)	কম্পটন বিচ্ছুরণ	(Compton scattering)
(vi)	আয়নের উদ্ভব	(Pion Production)
(vii)	কেয়নের উদ্ভব	(Kaon production)

12.3. ○ কণা ও অনুনাদ (Particles and resonances)

এখন, আগের এককাংশ ও সাধারণভাবে কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া থেকে দেখা যায় বহুসংখ্যক কণাই তো এসব ক্ষেত্রে উদ্ভূত হয়। এমন কী কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার অন্তবর্তী পর্যায়ে উৎপন্ন যৌগিক কেন্দ্রকও কণা বলে ভুল হতে পারে। এক্ষেত্রে কী করা? অর্থাৎ প্রশ্ন উঠতে পারে কাদের আমরা প্রাথমিক বা মৌলিক (elementary) কণা বলব? সাধারণতঃ সেসব সূক্ষ্ম-অস্তিত্ব (micro species)-কেই সত্যিকারের কণা বলব, যাদের আয়ুষ্কাল স্বাভাবিক কেন্দ্রকীয় সময় (natural nuclear time, $2R/v = 10^{-23}$ সে.)-এর বেশি। অন্যদের বলা হয় অনুনাদ (resonances) অর্থাৎ উত্তেজিত অবস্থা (exciteed state)। এক্ষেত্রে আমরা যদি দর্শন, অধিবিদ্যা (metaphygics) ও ব্রহ্মবিদ্যা (theosophy)-র দিকে নজর ফেরাই তবে একটা অদ্ভুত সাদৃশ্য লক্ষিত না হয়ে পারে না। এই বিদ্যাসমূহে পরিদৃশ্যমান (visible) ও অনুভবনীয় মহাজগতের বস্তুসমূহকে দুভাগে ভাগ করা যায়— স্থায়ী বা permanent ও বিলীয়মান (evanescent)। অনুনাদকে আমরা অনায়াসেই বিলীয়মান অংশে দেখতে পারি। আবার যদি ধরি যে স্থায়ী $\rightleftharpoons$ বিলীয়মান রূপান্তর অবিরত ঘটছে তবে আমরা আগের অংশে দেখানো পরিবর্তনগুলির সঙ্গে এর একটা সাদৃশ টানা যায়। এই পরিবর্তনে অবশ্যই আইনস্টাইনের ভর $\rightleftharpoons$ শক্তি রূপান্তর ($E = mc^2$ সূত্রানুযায়ী ঘটে চলেছে)। ফরাসী বৈজ্ঞানিক চার্পাক (Ceorges Charpak) এই মৌলিক কণা নিরীক্ষক (elementary particle deteclin)-এর উপর উল্লেখ যোগ্য কাজ করেছেন, 1992-এ প্রদত্ত পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কার তারই স্বীকৃতি।

12.4. ○ মৌলিক কণাসমূহের শ্রেণিবিভাগ (Classification of elementary particles)

আপনারা জেনেছেন যে বর্তমানে শতাধিক অবপারমাণবিক কণার কথা জানা আছে— এর মধ্যে 32টি কণা সুপরিচিত। বিভিন্ন পদ্ধতিতে এদের শ্রেণিবিভাগ করা হয়ে থাকে। এই শ্রেণিবিভাগে ভর ঘূর্ণন কণালী ও অন্যান্য ধর্মাবলী এবং পারস্পরিক মিথস্ক্রিয়া (interaction)-র উপর নির্ভর করা হয়। কণা পদার্থ বিদ্যায় বর্তমানে সর্বজনগ্রাহ্য আদর্শ মডেল (Standard Model) অনুসারে মৌল কণা সমূহের শ্রেণিবিভাগ ওদের বিভিন্ন মিথস্ক্রিয়ায় অংশগ্রহণ অনুযায়ী করা হয়।

প্রকৃতিতে চাররকম মিথস্ক্রিয়া বর্তমান এরা হল ঃ

(i) মহাকর্ষীয় সকল রকমের ভরবিশিষ্ট কণার মধ্যে ক্রিয়া করে। অবশ্য অবপারমাণবিক কণার ক্ষেত্রে এই বল উপেক্ষীয়।

(ii) তড়িৎচুম্বকীয় e এই বল মহাকর্ষীয় অপেক্ষা অনেক তীব্র। উদাহরণ স্বরূপ বলা যায় একই দূরত্বে স্থিত এক জোড়া প্রোটনের মধ্যে এই বল মহাকর্ষীয় বলের 10^{37} গুণ।

(iii) প্রবল মিথস্ক্রিয় বল f প্রোটন নিউট্রনগুলির মধ্যে দৃঢ় সংবদ্ধতা বাড়াবার জন্য এই কণা প্রস্তাবিত ও পরিকল্পিত হয়েছে (ইউকাওয়া, H. Yukawa); এই বল তড়িৎচুম্বকীয় বলের চেয়ে 100 গুণ তীব্রতর। এই প্রকার মিথস্ক্রিয় বলই বিভিন্ন ধরনের অবপারমাণবিক কণার সৃষ্টির মূল কারণ। এই বলের পাল্লা (range) 10^{-13} সেমি.

(iv) হীনবল মিথস্ক্রিয়া g; অপেক্ষাকৃত দীর্ঘ গড় আয়ু সম্পন্ন কণা [যেমন মেসন (গড় আয়ুষ্কাল 10^{-8} সে), হাইপেরন (10^{-18} সে.) ইত্যাদি]-র এই দীর্ঘ আয়ুষ্কাল ব্যাখ্যা করতে এই বলের প্রয়োজন হয়। এই বলেরও পাল্লা খুব কম। এই চাররকম বলের প্রতিটির ক্রিয়ার জন্য এক বা একাধিক ক্ষেত্র-বাহক (Field-carrier) কণার অস্তিত্ব কল্পিত হয়েছে। যেমন ঃ তড়িৎ-চুম্বকীয় বল-ক্রিয়ার প্রয়োজন হয় আহিত কণাসমূহের মধ্যে ভরবিহীন ফোটনের আদান-প্রদানের ক্ষেত্রে। এক্ষেত্রে বলের পাল্লা হয় অসীম। প্রবল মিথস্ক্রিয় বল ক্রিয়া করে π মেসনের আদান-প্রদানের ক্ষেত্রে। সংশ্লিষ্ট কণিকা ভরসম্পন্ন হওয়ায় এই বলের পাল্লা সীমায়িত। হীনবল মিথস্ক্রিয়া ক্রিয়া করে W = ও Z ভেক্টর বোসন নামক ভারি কণার ক্ষেত্রে ভর π মেসনের চেয়ে অনেক বেশি হওয়ায় এই বলের পাল্লা প্রবল মিথস্ক্রিয় বলের চেয়ে অনেকই কম।

এই মিথস্ক্রিয় বলের একএকটি উৎস আছে, যেমন ঃ

বল	উৎস
মহাকর্ষীয়	ভর
তড়িৎচুম্বকীয়	বৈদ্যুতিক আধান
প্রবল মিথস্ক্রিয়	কেন্দ্রেকক (nucleon)

মৌল কণা সমূহকে তিন ভাগে শ্রেণিবিভাগ করা যায়।

(1) ক্ষেত্রবাহক, যেমন ফোটন, $W^{\pm}$, Z, গ্লুয়ন।

(2) লেপটন, ($e^-, \mu^-, \tau^-, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ এবং এদের প্রতিকণা $e^+, \mu^+, \tau^+, \bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau$) এগুলি দুর্বল মিথস্ক্রিয়া অংশ নেয় কিন্তু প্রবল মিথস্ক্রিয়ায় অংশ নেয় না।

(3) হ্যাড্রন, এগুলি প্রবল মিথস্ক্রিয়ায় অংশ নেয়। হ্যাড্রনকে আবার দু-ভাগে শ্রেণি বিভাগ করা হয়। (a) মেসন ও ব্যারিয়ন। যে হ্যাড্রনগুলি B. E. সংখ্যায়ন মেনে চলে অর্থাৎ যাদের ঘূর্ণন পূর্ণসংখ্যা সেগুলি হল মেসন। আর যে হ্যাড্রনগুলি F. D. সংখ্যায়ন মেনে চলে অর্থাৎ যাদের ঘূর্ণন অর্ধপূর্ণসংখ্যা সেগুলি হল ব্যারিয়ন।

বোসন ও ফের্মিয়ন

এ প্রসঙ্গে আরও এক ধরণের শ্রেণিবিভাগ সম্বন্ধে অবহিত হওয়া প্রয়োজন। এরা হচ্ছে বোসন (অধ্যাপক সত্যেন্দ্র নাথ বসুর নামাঙ্কিত) আর ফার্মিয়ন (E. ফার্মির নামে) বোসন কণাসমূহ। বোসন হচ্ছে এমন কণা সমবায় যাদের তরঙ্গ অপেক্ষক (wave function) প্রতিসম (Symmetncul) এবং যারা বোস আইনস্টাইন সংখ্যাতত্ত্ব

মেনে চলে। এই সমবায়ে লড়বে ঃ ফোটন, π^+, π^- ও π^0 মেসনসমূহ, ডয়েটেরন, α কণা এবং যুগ্ম ভর সংখ্যা বিশিষ্ট সব পারমাণবিক কেন্দ্রকসমূহ (যাদের পূর্ণসংখ্যক অর্থাৎ 0, 1, 2, ... ঘূর্ণন বিদ্যমান। প্রতিসম তরঙ্গ অপেক্ষকের দরুণ নির্দিষ্ট কোয়ান্টাম স্তরে প্রবেশকারী সংখ্যার উপরে বাধা আরোপিত নেই। অন্য কথায়, বোসনসমূহের ক্ষেত্রে পাউলির অপবর্জন নীতি (exclusion principle) ঘটেনি।

ফের্মিয়নসমূহ ঃ ফের্মিয়ন হচ্ছে এমন কণা সমবায় যাদের তরঙ্গ অপেক্ষক অপ্রতিসম (unsymmetrical) এবং যারা ফের্মি-ডিরাক (Ferm-Dirac) সংখ্যাতত্ত্ব মেনে চলে। এই সমবায়ে পড়ে ইলেকট্রন, পজিট্রনরন, প্রোটন, নিউট্রন, নিউট্রিনো, লেপ্টন সমূহ, কোয়ার্ক সমূহ, মিউয়ন এবং অযুগ্ম ভর সংখ্যা বিশিষ্ট পারমাণবিক কেন্দ্রকসমূহ (যাদের অর্ধপূর্ণ সংখ্যা বিশিষ্ট অর্থাৎ $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$..... ঘূর্ণন বিদ্যমান। ঘূর্ণন $(s =) \pm \frac{1}{2}\hbar$ বিশিষ্ট কণাসমূহের ক্ষেত্রে প্রতি শক্তিস্তর পিছু সর্বোচ্চ $2(=2s+1)$ টি কণা থাকতে পারে। অন্য কথায়, ফার্মিয়নের ক্ষেত্রে পাউলির অপবর্জন নীতি ঘটে। ফের্মির নামে কণাসমূহের এই নাম।

সারণি 12.1

প্রধান শ্রেণি	কণা/প্রতিকণা	প্রতীক	স্থির ভর $m_0 = 1$	স্থির ভর $m_0 = 0.511$ মি-ই-ভো	আধান/e	ঘূর্ণন/$\hbar$	সংখ্যায়ন	গড় আয়ুষ্কাল/সে.	ক্ষয় প্রক্রিয়া আপেক্ষিক সম্ভাবনা
1	2	3	4		5	6	7	8	9
ক্ষেত্রবাহক	ফোটন ($W^{\pm}$, z, গ্লুয়ন)	γ	0	0	0	1	BE	সুস্থিত	—
লেপ্টন	নিউট্রিনো (ইলেকট্রনীয়)	$\nu_e \mid \bar{\nu}_e$	0	0	0	1/2	FD	সুস্থিত	—
	নিউট্রিনো (মিউয়নীয়)	$\nu_\mu \mid \bar{\nu}_\mu$	0	0	0	1/2	FD	সুস্থিত	—
	নিউট্রিনো (টাউয়ানীয়)	$\nu_\tau \mid \bar{\nu}_\tau$	0	0	0	1/2	FD	সুস্থিত	—
	ইলেকট্রন/পজিট্রন	e^-/e^+ বা β^-/β^+	1	0.511	∓ 1	1/2	FD	সুস্থিত	—
	মিউয়ন	μ^-/μ^+	207	106	∓ 1	1/2	FD	22×10^{-6}	$e^- + \bar{\nu} + \mu$ (100)
	টাউ	τ^-/τ^+	3492	01784.2	∓ 1	1/2	FD	—	—
বোসন	পায়ন	π^0/π^+	264	135	0	0	BE	8.9×10^{-15}	$\gamma + \gamma$ (99)
	(L – মেসন)	π^-/π^+	273	140	∓ 1	0	BE	2.6×10^{-8}	$\mu^+ + \mu$ (100)
	কয়েকটি মেসন	কেয়ন K^0/K^{-0}	966	494	∓ 1	0	BE	1.24×10^{-8}	$\mu^+ + \mu$ (68)
	(K-মেসন)	$\bar{K}^0/K^{-0}$	975	498	0	0	BE	1.24×10^{-8}	$\pi^+ + \pi$ (69)
	ইত্যাদি	η^0		548.8	0	0	BE	40^{-18}	

প্রধান শ্রেণি	কণা/প্রতিকণা	প্রতীক	স্থির ভর $m_0 = 1$	স্থির ভর $m_0 = 0.511$ মি-ই-ভো	আধানঃe	ঘূর্ণনঃħ	সংখ্যায়নঃ	গড় আয়ুষ্কাল/সে.	ক্ষয় প্রক্রিয়া আপেক্ষিক সম্ভাবনা
1	2	3	4		5	6	7	8	9
হ্যাড্রন	প্রোটন/অ্যান্টি প্রোটন	p^+/p^-	1836	938·2	± 1	1/2	FD	সুস্থিত	—
	নিউট্রন	n/n^-	1838	939·6	0	1/2	FD	1010	$p^+ + e^- + \bar{\nu}_e (100)$
	কয়েকটি ম্যাসিভ	সাম্বতা হাইপেরন	π^0/π^{-0}	2189	1116	0	1/2	FD	252×10^{-10}	$p^+ + \pi (65)$
		সিগমা	$\Sigma^+/\bar{\Sigma}^+$	2340	1189	± 1	1/2	FD	$0{\cdot}8 \times 10^{-10}$	$\pi^+ + \pi^0 (35)$
		হাইপেরন	$\Sigma^0/\bar{\Sigma}^0$	2345	1192	0	1/2	FD	$<10^{-14}$	$\pi^0 + \gamma (100)$
			$\Sigma^-/\bar{\Sigma}^-$	2355	1197	∓ 1	1/2	FD	$1{\cdot}5 \times 10^{-10}$	$n + \pi^-$
		জাই হাইপেরন	$\Xi^0/\bar{\Xi}^0$	2537	1315	0	1/2	FD	3×10^{-10}	$\pi^0 + \Lambda^0$
			$\Xi^-/\bar{\Xi}^-$	2600	1321	∓ 1	1/2	FD	$1{\cdot}7 \times 10^{-10}$	$\pi^0 + \pi^-$
		ওমেগা হাইপেরন	$\Omega^-/\bar{\Omega}^-$	3290	1672	∓ 1	1/2	FD	$1{\cdot}3 \times 10^{-10}$	$\Xi^- + \pi (50)$ $\pi^0 + K^- (50)$

বিঃ দ্রঃ BE = বোস আইনস্টাইন সংখ্যায়ন
FD = ফের্মি ডিরাক সংখ্যায়ন

(A) রাদারফোর্ডের পরীক্ষা (B) বুদ্মার-ব্রুমেনফেল্ডের পরীক্ষা

চিত্র 12.1

12.5. ○ কেন্দ্রকণের পার্টন গঠন

দীর্ঘদিন যাবৎ প্রোটন ও নিউট্রনকে কেন্দ্রক গঠনের একক হিসাবে গ্রহণ করা হয়েছে। ফলত এরা মৌলিক কণা বলেই পরিগণিত। কিন্তু সময়ের সঙ্গে কণা-পদার্থবিদ্‌দের মনে প্রশ্ন জাগল এই ধারণা কতটা সত্যি।

বুজার (Büsser) ও ব্লুমেরন ফেল্ড (Blumenfeld) প্রমুখ পদার্থবিদরা 1970 এর গোড়ায় একটি অসাধারণ পরীক্ষা করলেন। পরীক্ষাটি রাদারফোর্ড-এর বিচ্ছুরণ পরীক্ষা (194)-র অনুরূপ। এই পরীক্ষায় প্রোটনের অভ্যন্তরীণ গঠনের একটা ধারণা পাওয়া গেল। 5 - 8 মি-ই-ভো α কণা 4×10^{-5} মিমি সোনার পাতে নিক্ষেপিত হয়েছিল রাদারফোর্ডের পরীক্ষার, আর অনুরূপে 52·7 মি-ই-ভো প্রোটন নিক্ষেপিত হল বুজার ব্লুমেনফেল্ড-এর পরীক্ষায়।

প্রথম পরীক্ষার পর্যবেক্ষণ ছিল : α-কণাগুলি উঁচু অনুপ্রস্থ (transverse) ভরবেগ (momentum)-এর অধিকারী হয়; অবকল (differential) প্রস্থচ্ছেদ $Indor/dP_T$, P_T বৃদ্ধির সঙ্গে কমে; এই হ্রাস P_T কোন খাতে ঘটে (সূচকীয় বা exponential পদ্ধতিতে নয়)। এথেকে রাদারফোর্ড কেন্দ্রক-বিশিষ্ট পরমাণুর বিষয় সিদ্ধান্ত করেন। $p + p \rightarrow \pi + X$ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বুজার ও ব্লুমেনফেল্ডের পরীক্ষার পর্যবেক্ষণও অনুরূপ হল (চিত্র 12·1)। এই পরীক্ষায় স্বভাবতই সিদ্ধান্ত হল যে প্রোটন-এ ভর সম্পূর্ণ আয়তন জুড়ে ছড়িয়ে থাকে না, বরং কেন্দ্রস্থ ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র অংশে ঘনীভূত থাকে— এই অংশকে বলে পার্টন (Partons)। অন্য কথায় বলতে গেলে প্রোটন একটি একক কণা নয়— এটি একাধিক পার্টনের সমবায়ে গঠিত। এই কথা নিউট্রন এবং অপর ব্যারিয়ন সমূহের ক্ষেত্রেও সত্য।

12.6. ○ কোয়ার্ক ও গ্লুয়ন সমূহ

পূর্বোক্ত অনুচ্ছেদের আলোচনা থেকে যে চমকপ্রদ সিদ্ধান্ত বেরিয়ে এল তা হল এই যে পরমাণুর গঠনের এবার একটি নতুনতর প্রকল্প প্রয়োজন। এদিকে 1963 থেকে গেল ম্যান (M. Gell-Mann) ও জভাইগ্ (G. Zweig) একটি নতুন তত্ত্ব খাড়া করতে চাইছিলেন। কোয়ান্টাম চামো ডাইনমিক্স্ নামধেয় এই একীভূত ক্ষেত্র তত্ত্ব (Unified field theory)-র নতুন ধারণায় তাঁরা নতুনতর এবং সূক্ষ্মতর দুটি অবকেন্দ্রকীয় কণার কল্পনা করলেন— এটা হল কোয়ার্ক (quarks) ও গ্লুয়ন (gluons); এদের বৈশিষ্ট্য অদ্ভুত ও অস্বাভাবিক। বরং বলা চলে দিব্যজ্ঞানী (theosophist)-দের চোখে বিশ্বের উপাদানের চরমতম মাছির আকার ও হাতির ভর বিশিষ্ট এককের সঙ্গে এটি তুলনীয়।

বলা হল যে বিশ্বব্রহ্মাণ্ডের তাবৎ পদার্থের মধ্যেকার সব মেসন, কেন্দ্রকন ও ব্যারিয়নসমূহের গঠনের চরম সূক্ষ্মতম একক এই কোয়ার্ক ও গ্লুয়ন। এদের মধ্যে আবার কোয়ার্কের ভর (যা শূন্য নয়) এবং ঘূর্ণন (½) একে ফের্মিয়ন গোষ্ঠীভুক্ত করে; অপর পক্ষে গ্লুয়ন (শূন্য ভর শূন্য আধান ও একক ঘূর্ণন) বোসন গোষ্ঠীভুক্ত এবং চরিত্রে অনেকটা ফোটনের মত। নতুন আবিষ্কৃত এই কোয়ার্ক গ্লুয়ন প্রকল্পের দ্বারা হ্যাড্রনসমূহের গঠন ও মিথস্ক্রিয়া ব্যাখ্যাত হয়। ভর - আধান - মিথস্ক্রিয়া এ তিনের অস্বাভাবিকতাই এদের বৈশিষ্ট্য। নিচে এগুলি আলোচিত হল।

12.6.1. কোয়ার্ক-ভর (Quark mass) :

কোয়ার্কে নির্দিষ্ট ভর আরোপিত করা যায়নি। এদের ভর একটি পাল্লার মধ্যে থাকে। কয়েক মি-ই-ভো/c^2 ($\sim 10^{-30}$ কিগ্রা) থেকে কয়েক জি-ই-ভো/c^2 ($\sim 10^{-27}$ কিগ্রা) এই পাল্লা। প্রকৃতপক্ষে কোয়ার্কের সমস্ত ভর গ্লুয়ন ক্ষেত্রের অত্যুচ্চ বন্ধন-শক্তির মধ্যে অনুস্যূত (hidden) বা লীন (latien) হয়ে থাকে।

12.6.2. কোয়ার্ক আধান (The quark charge) ঃ

কোয়ার্কের তড়িতাধান এর আরেকটি অনন্য বৈশিষ্ট্য। আমরা জানি সব অনপারমাণবিক কণার ক্ষেত্রে আধান হয় 'শূন্য', না হয় $\pm e$ ($\pm 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C) বা তার পূর্ণ গুণিতক হয়। ফ্যারাডের পরীক্ষা থেকে এই $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ c-কে আমরা তড়িতের একক পরিমাণ হিসাবে চিহ্নিত করেছি। কোয়ার্কের আগে এর ব্যত্যয় লক্ষিত হয়নি। কিন্তু কোয়ার্কের ক্ষেত্রে দেখা গেল যে এর আধান ভগ্নাংশ হতে পারে। একধরনের (আপ, up, u) কোয়ার্কের আধান + 2/3 বা $1{\cdot}06 \times 10^{-19}$ C) আবার অন্য এক ধরনের (ডাউন, down, d) কোয়ার্কের আধান $-1/3$ e বা $-0{\cdot}53 \times 10^{-19}$c.

আগেই বলা হয়েছে যে কোয়ার্ক ফের্মিয়ন গোষ্ঠীভুক্ত এবং তাই এর ঘূর্ণন ½ ħ। কাজেই কেন্দ্রকণা (এরও ফের্মিয়ন) কোয়ার্কত্রয়ী (triplet) দিয়ে গঠিত। অর্থাৎ

প্রোটন ও নিউট্রনের কোয়ার্ক গঠন

কেন্দ্রকণা	মোট কোয়ার্ক সংখ্যা	u কোয়ার্কসংখ্যা ($+ {}^{2}/_{3}$e)	d কোয়ার্ক সংখ্যা ($- {}^{1}/_{3}$e)	মোট আধান
p	3 (und)	2	1	$2 \times (+{}^{2}/_{3}) - {}^{1}/_{3}$
n	3 (udd)	1	2	$+ {}^{2}/_{3} + (- {}^{1}/_{3} \times 2) = 0$

এখন তাই এটা ব্যাখ্যাত হচ্ছে যে নিউট্রন আধানবিহীন হওয়া সত্ত্বেও এর দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্র আবিষ্ট হয় কীভাবে।

12.7. ○ কোয়ার্ক গ্লুয়ন মিথস্ক্রিয়া (Quark-gluon interaction)

আপনারা জানেন q_1 ও q_2 আধান বিশিষ্ট দুটি কণার ক্ষেত্রে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল $= \mu \frac{q_1 q_2}{r^2}$ (μ = দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবক, r = অন্তবর্তী দূরত্ব)।

অতএব বল অন্তবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। মিতস্ক্রিয়া জনিত শক্তি অসীম দূরত্বে শূন্য, কণাগুলি পরস্পরের দিকে যতই অগ্রসর হয়, ততই এই শক্তি বাড়ে। আধান বিশিষ্ট সব কণার ক্ষেত্রেই এই সত্য খাটে— এটি সুপরিজ্ঞাত কুলম্ব-এর সূত্র।

কোয়ার্ক-কোয়ার্ক মিথস্ক্রিয়ার ক্ষেত্রে কিন্তু এটি খাটে না। খাটে না— তার কারণ এই যে কোয়ার্ক বিশেষের সংশ্লিষ্ট গ্লুয়ন ক্ষেত্র অসীম দূরত্বে বিলীন হয় না। আবার এ-ও খুবই আশ্চর্যের ব্যাপার যে 2×10^{-16} মিটার অপেক্ষা ন্যূনতর দূরত্বেও এই শক্তি খুবই কম হয়ে যায়। এভাবে কোয়ার্কের ক্ষেত্রে দুরকমের আপাতবিরোধ দেখা যাচ্ছে। এদের নাম দেওয়া হয়েছে যথাক্রমে অবলোহিত অবরোধ (infra-red confinement) বা দূর পাল্লা দাসত্ব (long range slavery) এবং অসীমদূরত্ব ধরন (asymptotic) বা নিকট পাল্লার স্বাতন্ত্র (short range freedom) (চিত্র 12.2) নতুন কোয়ান্টাম ক্রোমোডায়নমিকস্ অনুযায়ী দূরত্ব শক্তির সম্পর্ক এরূপ ঃ

$$g_c^2(r) \propto \frac{1}{r}$$

g_s = কোয়ার্ক গ্লুয়ন মিথস্ক্রিয়া ধ্রুবক। এদের মধ্যবর্তী দূরত্ব যত কমে, g_s-এর মান তত 'শূন্য'-র দিকে অগ্রসর হয়। এই কারণেই কোয়ার্ক-এর ভর সঠিকভাবে নির্নীত হতে পারে না, শুধু তাই নয় কোয়ার্ককে নির্দিষ্টভাবে চিহ্নিত করাও সম্ভব হয়নি। কোয়ার্ককে গ্লুয়ন ক্ষেত্র থেকে বিশ্লিষ্ট করার যত চেষ্টা করা হবে, এদের আকর্ষণের তীব্রতা ততই বৃদ্ধি পাবে। এই ঘটনাই ঘুরিয়ে বললে দাঁড়ায় যে ঃ কোয়ার্ক ও গ্লুয়ন মুক্ত অবস্থায় থাকতে পারে না। ব্যাপারটা দাঁড়াচ্ছে যে কেন্দ্রকনের গ্লুয়ন ক্ষেত্রে কোয়ার্ক কণাগুলি স্থায়িভাবে ঘনীভূত হয়ে আছে। ভাঙতে গেলে ক্ষেত্র ক্ষুদ্রতর হবে কিন্তু কোয়ার্কগ্লুয়ন বিচ্ছিন্ন হবে না। এটা যেন একটা দণ্ডচুম্বককে ভাঙার প্রয়াসের মত। উত্তর ও দক্ষিণ মেরুকে কিছুতেই বিচ্ছিন্ন করা যায় না। একে যতই ভাঙা যাক ক্ষুদ্র থেকে ক্ষুদ্রতর— পরিশেষে অণু চুম্বকই পাওয়া যাবে।

12.8. ○ কোয়ার্ক প্রকল্প (Quark system)

আগেই আপনারা জেনেছেন যে 1964 সালে গেল্-মান ও স্বেভাইগ্ ভেইগ কোয়ার্ক-এর কল্পনা করেন। কোয়ার্কগুলিকে শ্রেণিবিভক্ত করা হয় তাদের বিভিন্ন ধর্মের উপর ভিত্তি করে। এই ধর্মগুলি* হচ্ছে ঃ (i) ফ্লেভার

(1) আহিত কণার মধ্যে কুলম্বীয় মিথস্ক্রিয় ও দূরত্বের সম্পর্ক
(2) দূরত্বের সঙ্গে কোয়ার্ক - কোয়ার্ক মিথস্ক্রিয়ার সম্পর্ক

চিত্র 12.2

(flavour), (ii) কালার (colour), (iii) স্ট্রেঞ্জনেস (strangeness) ও (iv) চার্ম (charm)।

এই শব্দগুলি অভিধামাত্র। এদের আক্ষরিক অর্থে নেওয়া ঠিক হবে না। বিকল্প পদ্ধতিতে এদের কোয়ান্টাম-সংখ্যার মাধ্যমেও প্রকাশ করা যেতে পারে।

'ফ্লেভার' চারটি ঃ আপ্ (up, u), ডাউন্ (down, d), স্ট্রেন্জ্ (strange, +s) এবং চার্ম (Charm, +c)।

'কালার' তিনটি ঃ রেড (Red, R), ব্লু (Blue, B), ইয়েলো** (Yellow, Y)।

* এগুলোর বাংলা পরিভাষা ব্যবহার না করাই ভালো।

** অনেকে ইয়েলো-র পরিবর্তে Green (G) পছন্দ করেন। + অন্যত্র ব্যবহৃত প্রতীকের সঙ্গে গুলিয়ে ফেললে চলবে না।

তাহলে দাঁড়াচ্ছে 12 রকমের কোয়ার্ক। ঠিক সমসংখ্যক প্রতি-কোয়ার্ক (antiquenk) আছে। প্রতি কোয়ার্কগুলিকে বাঁকা (filde) শীর্ষরেখা (–) দ্বারা চিহ্নিত করা হয়, যেমন— $\bar{u}$, $\bar{R}$ ইত্যাদি।

কোয়ার্ককে চিহ্নিত ও নির্দেশিত করা হয় $f^{(i, A)}$ হিসাবে (i = ফ্লেভার বা সারি-সূচক (row-index) ঃ এরা u, d, s, c চিহ্ন দ্বারা সূচিত হয়;

A = কালার বা স্তম্ভ-সূচক (column-index : R, B, Y (G) দ্বারা সূচিত হয়)।

তাহলে যে 12টি কোয়ার্ক দাঁড়াচ্ছে তাদের সূচিত করা হবে নিচের পদ্ধতিতে ঃ

uR, uB, uY, dR, dB, sR, sB, sY, cR, cB, cY পরবর্তী কালে আরও দুটি ফ্লেভার যুক্ত হয়েছে— এরা হল বিউটি বা বটম (b) ও ট্রুথ বা টপ (t)। এতে করে কোয়ার্কের সংখ্যা দাঁড়াচ্ছে 18।

বিভিন্ন কোয়ার্ক কণার বৈশিষ্ট্য আরও বিস্তারিতভাবে সূচিত করার জন্য নির্দিষ্ট প্রকল্প আছে। আমরা এগুলোর বিস্তৃত বিবরণে যাব না। 12.2 সারণিতে আমরা কোয়ার্কের সাধারণ ধর্ম দেখলাম।

সারণি — 12.2

কোয়ার্ক /ফ্লেভার	ভর/Gev	ব্যারিয়ন সংখ্যা (B)	আধান e(Z)	ঘূর্ণন h(S)	স্ট্রেন্‌জ্ সে (S)	চার্ম (C)
u (আপ)	0.004	$^1/_3$	$+^2/_3$	$^1/_2$	0	0
d (ডাউন)	0.007	$^1/_3$	$-^1/_3$	$^1/_2$	0	0
+S (স্ট্রেনজ)	0.150	$^1/_3$	$-^1/_3$	$^1/_2$	–1	0
'C (চার্ম)	1.300	$^1/_3$	$+^2/_3$	$^1/_2$	0	+1
b (বিউটি)	4.750	$^1/_3$	$-^1/_3$	$^1/_2$	0	0
t (ট্রুথ)	40.000*	$^1/_3$	$+^2/_3$	$^1/_2$	0	0

তবে মোটামুটি ভাবে বলা যায় যে প্রতিটি মেসন একটি কোয়ার্ক ও একটি প্রতি-কোয়ার্কের সমন্বয়ে গঠিত ও প্রতিটি ব্যারিয়ন তিনটি কোয়ার্কের সমন্বয়ে গঠিত। মনে করা যেতেই পারে যে বিভিন্ন তিনটি 'কালার' (প্রাথমিক কালার red, green (yellow), blue)-এর মিলণ কালার নিষ্ক্রিয় (সাদা) সমন্বয়ে ঘটে ব্যারিয়ন সমূহে, যেমনটি আমরা দেখতে পাই পরমাণুর ক্ষেত্রে — এখানে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সমন্বয়ে তড়িৎ উদাসীনতা আসে।

আবার এ-ও মনে করা হয় যে ক্রমাগত সৃষ্ট ও শোষিত হতে থাকা কোয়ার্ক প্রতি কোয়ার্ক জোটের 'সমুদ্র' হ্যাড্রন তৈরি করে। গ্লুয়নের ক্ষেত্রেও এই 'সমুদ্র'-র ধারণা প্রযুক্ত হয়।

এভাবে অগ্রসর হলে দেখা যাবে যে পদার্থের মৌলিকতম উপাদানের প্রকৃতি ও তত্ত্ব এখনও অজানা বা অনাবিষ্কৃত। এযেন সেই লড্‌টেনিসনের ইউলিসিসের অভিজ্ঞতা— সত্যের দিকে যতই এগুনো যাচ্ছে, প্রকৃত সত্য ততই পিছিয়ে গিয়ে অধরা থেকে যাচ্ছে। আর এখানেই পদার্থবিদ্যা মিশে যাচ্ছে দর্শনের সঙ্গে। আর রবীন্দ্রনাথের কথায় বলা যায়, শেষ নেই যে, শেষ কথাটি কে বলবে?

---

* তাত্ত্বিক পদ্ধতিতে আরোপিত

সংরক্ষণ সূত্র ঃ সমস্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে মৌলকণা সমূহ নিম্নলিখিত সংরক্ষণ সূত্র মেনে চলে—

1. শক্তি ও ভরবেগ সংরক্ষণ।
2. কোয়ার্ক ভরবেগ সংরক্ষণ।
3. তড়িৎ আধান সংরক্ষণ।

উদাহরণ — নিউট্রন ক্ষয় ঃ

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

প্রাথমিক আধান = অন্তিম আধান = 0

4. ব্যারিয়ন নাম্বার সংরক্ষণ ঃ

$p, n, \Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Xi^0$ Ξ ইত্যাদির ব্যারিয়ন নাম্বার,

$B = +1$ এবং প্রতিকণা $\bar{p}, \bar{n}, \bar{\Lambda}^0, \bar{\Sigma}^+, \bar{\Sigma}^0, \bar{\Sigma}^-, \bar{\Xi}^0, \bar{\Xi}$, ইত্যাদির ব্যারিয়ন নাম্বার $B = -1$, নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় ব্যারিয়ন নাম্বার সংরক্ষিত হয়।

উদাহরণ ঃ (a) একটি বিক্রিয়া

$$p + n \rightarrow p + n + \gamma$$
$$B = 1 + 1 \qquad 1 + 1 + 0$$
$$= 2 \qquad = 2$$

এই ধরনের বিক্রিয়া হতে পারে (allowed)

কিন্তু (b) অন্য একটি বিক্রিয়া যেমন

$$p + n \rightarrow e^+ + \gamma$$
$$B = 1 + 1 \qquad 0 + 0$$
$$= 2 \qquad = 0$$

এই ধরনের বিক্রিয়া হতে পারে না (not allowed)

5. লেপটন নাম্বার সমূহের সংরক্ষণ ঃ

$e^-, \mu^-, \tau^-, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ এদের লেপটন নাম্বার +1

এবং এদের প্রতিকণা $e^+, \mu^+, \tau^+, \bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau$ এদের লেপটন নাম্বার −1 নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় লেপটন নাম্বার সমূহের সংরক্ষণ হয়।

উদাহরণ ঃ $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$

μ লেপটন নং 0 $\quad -1 + 1$ এই ধরনের বিক্রিয়া হতে পারে (allowed)।

আবার $\pi^+ \rightarrow e^+ + \gamma$

e লেপটন নং 0 $\quad -1 + 0$ এই ধরনের বিক্রিয়া হতে পারে না (not allowed)।

কোয়ার্কের ফ্লেভার কেবলমাত্র দুর্বল মিথস্ক্রিয়ায় পরিবর্তিত হতে পারে।

12.9. ○ সারাংশ

পরমাণুর মৌলিক কণাসমূহের মধ্যে প্রথম আবিষ্কৃত হয় ইলেকট্রন; তারপরে আবিষ্কৃত হয় প্রোটন। নিউট্রন কল্পিত হওয়ার বেশ পরে 1932-এ নিউট্রন আবিষ্কৃত হয়। এই তিনটিকে অনেকদিন মৌলিক কণা ধরে পরমাণুর

গঠন প্রস্তাবিত হয়েছিল। তারপর দ্রুতগতিতে অবপারমাণবিক কণা আবিষ্কৃত হতে থাকে। বর্তমানে শতাধিক এমন কণা জানা আছে। এদের মধ্যে প্রতি-কণারও আছে। আয়ুষ্কাল 10^{-23} সেকেণ্ডের বেশি হলে কোন কণাকে মৌলিক কণা ধরা হয়। এর কম হলে তা হচ্ছে কণিকা অনুনাদের ঘটনা। নানা দিক থেকে, নানা ধর্মের উপর ভিত্তি করে এ কণাসমূহের শ্রেণিবিভাগ করা হয়ে থাকে। লেপটন, মেসন, ব্যারিয়ন এক ধরনের শ্রেণিবিভাগ। অন্যভাবে আবার বোসন, ফের্মিয়ন— এই দুটি বৃহত্তর শ্রেণিতে তাদের ভাগ করা হয়েছে। পরীক্ষায় দেখা গেছে পরমাণুর মত কেন্দ্রকণও নিরেট নয়। এরও বেশিরভাগটাই ফাঁকা। একে পার্টন গঠন বলে। পদার্থের সূক্ষ্মতম কণার আবিষ্কারের প্রচেষ্টার শেষতম অবস্থান কোয়ার্কগ্লুয়ন প্রকল্প।

12.10. ○ প্রান্তিক প্রশ্নাবলী

1. গৌণ অবপারমাণবিক কণাসমূহ কী কী ভাবে উৎপন্ন হতে পারে?
2. কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় ও তার অন্তবর্তী ধাপসমূহে অনেক ধরনের কণিকা উৎপন্ন হতে পারে। কোনগুলিকে প্রকৃত কণা বলা হয় বা বলা যায়?
3. মৌলিক কণাসমূহের শ্রেণিবিভাগের বিভিন্ন ধরন বিবৃত করুন।
4. টীকা লিখুন ঃ

   (i) বোসন, (ii) ফের্মিয়ন, (iii) ব্যারিয়ন, (iv) মেসন।
5. কেন্দ্রকণের পার্টন গঠন বর্ণনা করুন।
6. কোয়ার্ক ও গ্লুয়ন সম্বন্ধে যা জানেন লিখুন। পদার্থ / পরমাণুর গঠন অনুসন্ধানের ক্ষেত্রে এদের গুরুত্ব বিচার করুন।
7. 'ইলেকট্রনের আধানকে বর্তমানে আর আধানের ন্যূনতম একক বলা যায় না' — ব্যাখ্যা করুন।

12.11. ○ উত্তরমালা

1. 12.2 অংশের শেষভাগ দেখুন।
2. 12.3 অংশ দেখুন।

3 – 4. 12.4 অংশ দেখুন।

5. 12.5 অংশ দেখুন।
6. 12.6, 12.7 ও 12.8 অংশ দেখুন।
7. 12.6.2. অংশ দেখুন।

12.12. ○ অতিরিক্ত সহায়ক গ্রন্থপঞ্জি

1. পরমাণু কেন্দ্রক গঠন পরিচয় (দ্বিতীয় খণ্ড), সমরেন্দ্রনাথ ঘোষাল, রাজ্য পুস্তক পর্ষদ।
2. Atomic and nuclear Physics (Volume II), S. N. Ghosal, S. Chand V Company.

3. Essentials of Nuclear Chemistry; H. J. Arnikar,
New Age International Publishers Limited, Wiley Eastern Limited.

4. Modern Physics, R. Murugeshan, S. Chand & Co.

5. Nucloar Physics, I. Kaplan, Addison - Wesley Publishing Co.

6. Nuclear and Particle Physics Source Book, S. R. Pawner (edition)
M C Graw Book Co.

7. Introductory Nuclear Theory, J. Halliday, John Weley and Sons.

8. Modern Physics For Scintists and Engineers
John R. Taylor. Chr's D. Zafiratos. Michael A. Dabson
(Prentice Hall of India.)

9. Particles and Nuclei.
Bogdan Povh, Klaus Rith, Christrph Schotz.
Frank Zetsche
(Translated by Martin Lavelle)
(Springer)

NOTE

মানুষের জ্ঞান ও ভাবকে বইয়ের মধ্যে শক্তিতে করিয়া যে কথা তাহার বলিয়া থাকে, সে কথা কেহই অস্বীকার করিতে পারে না। কিন্তু সেই বুলিধরা জ্ঞান মনের অভ্যন্তরিক শক্তিকে একেবারে আচ্ছন্ন করিয়া সে বিদ্যে বুদ্ধিকে পঙ্গু করিয়া তোলা হয়।

— রবীন্দ্রনাথ ঠাকুর

ভারতের একটা mission আছে, একটা গৌরবময় ভবিষ্যৎ আছে, সেই ভবিষ্যৎ ভারতের উত্তরাধিকারী আমরাই। নূতন ভারতের মুক্তির ইতিহাস আমরাই গান্না করছি এবং করব। এই বিশ্বাস আছে বলেই আমরা সব দুঃখ কষ্ট সহ্য করতে পারি, অন্ধকারময় বর্তমানকে অগ্রাহ্য করতে পারি, গান্ধীজীর দিব্যি সত্যগুলি আদর্শের কঠিন আঘাতে ধূলিসাৎ করতে পারি।

— সুভাষচন্দ্র বসু

Any system of education which ignores Indian conditions, requirements, history and sociology is too unscientific to commend itself to any rational support.

— *Subhas Chandra Bose*

Price : Rs. 150.00

(*NSOU* -র ছাত্রছাত্রীদের কাছে বিক্রয়ের জন্য নয়)

Published by : Netaji Subhas Open University, DD-26, Sector-1, Salt Lake City, Kolkata-700 064 and
Printed at : Royal Halftone Co., 4, Sarkar Bye Lane, Kolkata-700 007