539/3

# ইউরেনিয়ামের ওপারে

(নিরুদ্দেশ ও ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল)

[ THE TRANS-URANIUM ELEMENTS ]

অনিল কুমার দে, পি-এইচ্. ডি.,
রসায়ন বিভাগের অধ্যাপক, বিশ্বভারতী ;
প্রাক্তন অধ্যাপক, যাদবপুর বিশ্ববিদ্যালয়

WEST BENGAL ... 
Acc. No. 8457
Dated 7.12.2000
Call No. 539/3
Price / Page Rs. 7/-

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

URANIUMER OPARE
BY ANIL KUMAR DE
WEST BENGAL STATE BOOK BOARD

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

প্রকাশক :
পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ
আর্য ম্যানসন ( নবম-তল ),
৬।এ, রাজা সুবোধ মল্লিক স্কোয়ার,
কলিকাতা-৭০০ ০১৩

মুদ্রক :
শ্রীত্রিদিবেশ বসু,
কে. পি. বসু প্রিণ্টিং ওয়ার্কস,
১১, মহেন্দ্র গোস্বামী লেন,
কলিকাতা-৭০০ ০০৬

প্রথম প্রকাশ :
মে, ১৯৭৮

প্রচ্ছদ-শিল্পী :
শ্রীহেমকেশ ভট্টাচার্য

Published by Prof. Pradyumna Mitra, Chief Executive Officer, West Bengal State Book Board under the Centrally Sponsored Scheme of production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

# ভূমিকা

স্নাতকোত্তর পর্যায়ে বাংলা ভাষায় পাঠ্য-পুস্তক রচনার দৃষ্টান্ত বিরল। এই দুরূহ প্রয়াসে অগ্রণী হইয়া বর্তমান পুস্তক পাঠক-সমাজে পরিবেশন্ করা হইল।

স্নাতকোত্তর অজৈব রসায়নের পাঠক্রমের তিনটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ নির্বাচিত করা হইয়াছে—তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ, নিরুদ্দেশ মৌলগুলি এবং ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী। শেষোক্ত দুইটি বিষয়বস্তু হৃদয়ঙ্গম করিতে হইলে ইহাদের সহিত অঙ্গাঙ্গিভাবে জড়িত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের বিশদ আলোচনা প্রয়োজন। প্রথম পর্যায়ের মূল অংশ তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ও নিরুদ্দেশ মৌলগুলি। এই পর্যায়ের প্রথম পরিচ্ছেদ "মৌলের উৎস-সন্ধানে" এক নূতন দৃষ্টিভঙ্গীতে পুস্তকটির সমগ্র বিষয়বস্তুর অবতারণা করিয়াছে। দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে "তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ" উদাহরণসহ অনুশীলনী ছাত্রছাত্রীদের বিষয়বস্তু গভীরভাবে আয়ত্ত করিতে সহায়তা করিবে। পরিভাষার পরিচ্ছেদটির প্রয়োজনীয়তা অপরিহার্য।

এই পুস্তকে স্নাতকোত্তর স্তরের প্রথম ও দ্বিতীয় বর্ষের অজৈব রসায়নের পাঠ্য-সূচীর তিনটি আধুনিক গুরুত্বপূর্ণ অংশ সংকলিত করা হইল। বিভিন্ন গ্রন্থ ও নিবন্ধ হইতে এই অভূতপূর্ব সঙ্কলনের প্রয়োজনীয়তা অপরিসীম ছাত্রছাত্রীর পক্ষে। বিষয়বস্তু সহজ-বোধ্য করার জন্য উপযোগী চিত্রাবলী সংযোজিত হইয়াছে এবং স্বচ্ছ ও প্রাঞ্জল ভাষা ব্যবহৃত হইয়াছে। চিত্রাবলী মুদ্রণের অনুমতিদানের জন্য আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের Prentice Hall, Inc., National Science Teachers' Association এবং U. S. Atomic Energy Commission-কে কৃতজ্ঞতা জানাই। বিশ্ববিদ্যালয়ের স্নাতকোত্তর স্তরে গ্রন্থকারের সুদীর্ঘ দুই দশকের অধ্যাপনার অভিজ্ঞতা পুস্তক-রচনায় সহায়তা করিয়াছে। এই অভিনব দুঃসাহসিক প্রয়াস কতটা সফল হইয়াছে তাহার বিচারের ভার ছাত্রছাত্রীদের ও সংশ্লিষ্ট অধ্যাপকমণ্ডলীর উপর।

পুস্তক-রচনার উৎসাহদানের জন্য আন্তরিক ধন্যবাদ জানাই—কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের বিশুদ্ধ রসায়ন বিভাগের অধ্যাপক ডক্টর হরেন্দ্রকুমার সাহাকে, সাহা ইনস্টিটিউটের প্রাক্তন অধ্যাপক ডক্টর ভূপেশ পুরকায়স্থকে এবং বিশ্ব-ভারতীর উপাচার্য ডক্টর সুরজিৎ সিংহকে। প্রকাশনার দায়িত্বভার বহনের জন্য পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদকে কৃতজ্ঞতা জানাই।

বিশ্বভারতী,
শান্তিনিকেতন
মে, ১৯৭৮

অনিল কুমার দে

# সূচীপত্র


| পরিচ্ছেদ | | | পৃষ্ঠা |
|---|---|---|---|
| | **প্রথম পর্যায় :** | | |
| ১। | মৌলের উৎস-সন্ধানে | ... | 1 |
| ২। | তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ —প্রযুক্তি ও প্রয়োগ | ... | 9 |
| ৩। | নিরুদ্দেশ মৌলগুলি | ... | 41 |
| ৪। | পরিভাষা | ... | 48 |
| | **দ্বিতীয় পর্যায় :** | | |
| ৫। | পটভূমিকা | ... | 55 |
| ৬। | ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর আবিষ্কার ও উৎপাদন | ... | 59 |
| ৭। | পরীক্ষা পদ্ধতি ও প্রযুক্তি | ... | 75 |
| ৮। | পর্যায়-সারণীতে স্থান | ... | 89 |
| ৯। | ব্যবহারিক প্রয়োগ | ... | 101 |
| ১০। | ভাবী ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলি | ... | 109 |
| | বর্ণানুক্রমিক সূচী | ... | 113 |

## প্রথম পর্যায়

# তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ
# ও
# নিরুদ্দেশ মৌল

**( Radioactive Isotopes**
**and**
**The Missing Elements )**

# ১। মৌলের উৎস-সন্ধানে

## ( In Quest of the Origin of Elements )

"দেশশূন্য কালশূন্য জ্যোতিঃশূন্য মহাশূন্য'পরি
চতুর্মুখ করিছেন ধ্যান।
সহসা আনন্দসিন্ধু হৃদয়ে উঠিল উথলিয়া,
আদিদেব খুলিলা নয়ান।
... ... ...
আনন্দের আন্দোলনে ঘন ঘন বহে শ্বাস,
অষ্ট নেত্রে বিস্ফুরিল জ্যোতি।
জ্যোতির্ময় জটাজাল কোটিসূর্যপ্রভা বহি
দিগ্বিদিকে পড়িল ছড়ায়ে।"
... ... ...

পর্যায়-সারণীর (Periodic Table) মৌল পদার্থগুলি কীভাবে উদ্ভূত হইল, পৃথিবীতে কীভাবে স্থান পাইল—এইসব অতি মৌলিক প্রশ্নের সহিত সংশ্লিষ্ট আছে নিখিল বিশ্বের সৃষ্টির রহস্য। আমাদের পৃথিবী হাইড্রোজেন হইতে ইউরেনিয়াম পর্যন্ত (পরমাণু ক্রমাঙ্ক 1 হইতে 92) মৌল পদার্থগুলি দ্বারা গঠিত। এই গঠন-রহস্য তথা মূল সৃষ্টির রহস্যের চাবিকাঠির সন্ধান করিতে হইলে বিজ্ঞানীদের সাধনার গতিপথ বাহিয়া আমাদের কল্পনাকে বিস্তৃত করিতে হইবে আজ হইতে 650 কোটি বছর আগে সৃষ্টির ব্রাহ্মমুহূর্তে।

বিশ্বকবির কণ্ঠে ধ্বনিত হইয়াছে পুরাণের কাহিনী যাহার সহিত মূলতঃ সাদৃশ্য আছে বাইবেলের তত্ত্বের। এই বিশাল ব্রহ্মাণ্ডের সৃষ্টিকর্তা দেবাদিদেব ব্রহ্মা। সীমাহীন, অন্তহীন মহাশূন্যে ধ্যান-সমাহিত আদিদেব ব্রহ্মার ধ্যাননেত্র উন্মীলিত হওয়ার মুহূর্তটি সৃষ্টির ব্রাহ্মমুহূর্ত। কোটিসূর্যের প্রভা বিচ্ছুরিত করিয়া অগ্নিনির্ঝর শত শত স্রোতে উৎসারিত হইয়া দিকে দিকে সারা বিশ্ব প্লাবিত করিল। সেই অগ্নিময় সৃষ্টি কোটি কোটি বছর পরে শান্ত হইল বিষ্ণুর মঙ্গলময় শঙ্খনাদে—মহাছন্দে বন্দী হইল গ্রহ, উপগ্রহ ইত্যাদি। এই পৌরাণিক কাহিনীর মূল সুরের সঙ্গে বিজ্ঞানসম্মত তথ্যগুলির আশ্চর্যজনক মিল দেখা যায়।

বেন জনসন (Ben Johnson) 300 বছর আগে "The Alchemist" পুস্তকে মন্তব্য করিয়াছিলেন :

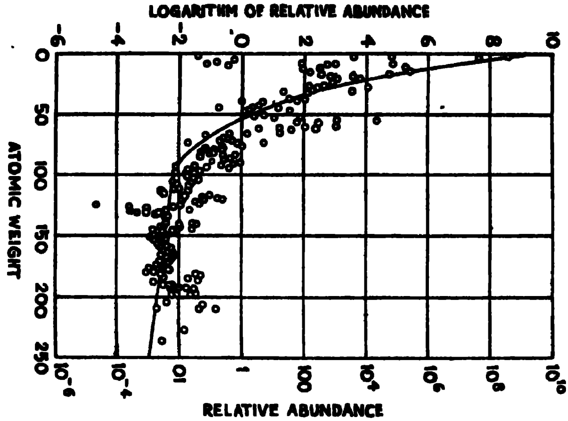
"Ay, for 'twere absurd
To think that nature in the earth
bred gold
Perfect i' the instant : something
went before
There must be remote matter."

এই সুদূর পদার্থ (remote matter) সম্বন্ধে ব্যাপক গবেষণা চলিয়াছে সৃষ্টিতত্ত্ববিজ্ঞানী (cosmologist) ও জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের গবেষণাগারে বহু বছর ধরিয়া। আমাদের পৃথিবীতে এবং সৌরমণ্ডলে মৌল পদার্থগুলির আপেক্ষিক প্রাচুর্যের (relative abundance) তথ্যের উপর তাঁহারা গবেষণা কেন্দ্রীভূত করিয়াছেন এবং সৃষ্টিতত্ত্বের উপর আলোকপাত করিয়াছেন। তাঁহারা অমূল্য তথ্য আহরণ করিয়াছেন ভূত্বক, মহাসমুদ্র ও বায়ুমণ্ডলের গঠন-বিশ্লেষণ এবং মহাজাগতিক (outer space) উল্কাপিণ্ড বিশ্লেষণ দ্বারা। তাছাড়া সুদূর নক্ষত্র নীহারিকা হইতে বিকীর্ণ আলোকের বর্ণালী-বিশ্লেষণের দ্বারা উহাদের অভ্যন্তরস্থ মৌলগুলি সনাক্ত করা যায়। এমন কি দূর-দূরান্তের ছায়াপথ বাহিয়া হাইড্রোজেনের কলধ্বনিতে মুখরিত হয় জ্যোতির্বিজ্ঞানীর যন্ত্র (21 সেন্টিমিটার তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট বেতার তরঙ্গ)।

## ১.১ মৌলের আপেক্ষিক প্রাচুর্য (Relative abundance)

জাগতিক ও মহাজাগতিক (cosmic) উপকরণ হইতে সারা বিশ্বে মৌলের আপেক্ষিক প্রাচুর্য সম্বন্ধে মোটামুটি নিখুঁত চিত্র উন্মোচিত হইয়াছে (চিত্র 1.1)। সারা বিশ্বের পদার্থগুলির মধ্যে হাইড্রোজেনের আপেক্ষিক প্রাচুর্য সর্বাধিক — মোট পরমাণুসংখ্যার শতকরা 93 ভাগ এবং মোট পদার্থের ওজনের শতকরা 76 ভাগ। ইহার পরেই স্থান হিলিয়ামের—মোট পরমাণুসংখ্যার শতকরা 7 ভাগ এবং মোট ওজনের শতকরা 23 ভাগ। পারমাণবিক গুরুত্ব (Atomic weight) বৃদ্ধির সঙ্গে প্রাচুর্য হ্রাস পাইতে থাকে এবং চিত্রলেখের দ্রুত অবতরণ লক্ষিত হয়। এই অবতরণের প্রবণতার প্রথম আকস্মিক ব্যতিক্রম দেখা যায় লৌহবর্গের (Iron group) মৌলগুলির ক্ষেত্রে। এই মৌলগুলি প্রকৃতিতে পার্শ্ববর্তী মৌলগুলির তুলনায়

10,000 গুণ বেশী পরিমাণে থাকে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য হিলিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলির সমষ্টিগত পরিমাণ বিশ্বের ভরের (mass) মাত্র শতকরা 1 ভাগ।




চিত্র 1.1 : মৌলের আপেক্ষিক প্রাচুর্য।

## ১.২ মৌলসৃষ্টির তত্ত্ব

জর্জ গ্যামো (George Gamow), হ্যান্স বেথে (Hans Bethe) ও ফ্রেড হয়েল (Fred Hoyle)-এর তত্ত্ব হইতে মৌলসৃষ্টির একটি সুসমঞ্জস চিত্র পাওয়া যায়।

আধুনিক সৃষ্টিতত্ত্ববিজ্ঞানীদের মতে মৌলগঠন নক্ষত্রপুঞ্জের অভ্যন্তরস্থ অগ্নিপিণ্ডের মধ্যেই হইয়াছিল। পরমাণুবিজ্ঞানীদের দৃঢ় ধারণা যে, নক্ষত্রপুঞ্জের ও সূর্যের তাপশক্তির উৎস হইল কেন্দ্রক বিক্রিয়া (Nuclear reaction) : হাইড্রোজেন হইতে ইহার ভারী আইসোটোপ ও হিলিয়ামের উদ্ভব (প্রোটন—প্রোটন চক্র : **proton—proton (p – p) cycle**)* :

$$4\ {}^{1}H \rightarrow 2\ {}^{2}H + 2\ e^{+}\ (\text{পজিট্রন})$$

$$2\ {}^{2}H + 2\ {}^{1}H \rightarrow 2\ {}^{3}He$$

$$2\ {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + 2\ {}^{1}H$$

$$4\ {}^{1}H \rightarrow {}^{4}He$$

* এই চক্রে আরও কিছু বিক্রিয়া হয় বলিয়া অনেকের ধারণা

$${}^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}H + {}^{1}H\ ;\ {}^{3}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}n$$

কিংবা কার্বন হইতে নাইট্রোজেনের উদ্ভব ( **কার্বন-নাইট্রোজেন চক্র : Carbon-Nitrogen or C – N Cycle** ) ।

$$^{12}C + {}^{1}H \rightarrow {}^{13}N + \gamma$$
$$^{13}N \rightarrow {}^{13}C + e^{+} + \nu$$ ( নিউট্রিনো )*
$$^{13}C + {}^{1}H \rightarrow {}^{14}N + \gamma$$
$$^{14}N + {}^{1}H \rightarrow {}^{15}O + \gamma$$
$$^{15}O \rightarrow {}^{15}N + e^{+} + \nu$$
$$^{15}N + {}^{1}H \rightarrow {}^{12}C + {}^{4}He$$

$$4\,{}^{1}H \rightarrow {}^{4}He + 26{\cdot}8 \text{ Mev}$$ (2·68 কোটি ইলেকট্রন ভোল্ট শক্তি )

আমাদের সৌরমণ্ডলের সূর্যে যেখানে হিলিয়ামের গাঢ়ত্ব শতকরা 90 ভাগের বেশী, প্রোটন-প্রোটন চক্রই সেখানে সম্ভাব্য বিক্রিয়া ; কার্বন-নাইট্রোজেন চক্র মুখ্য বিক্রিয়া নয় । উভয় চক্রের মূল বিক্রিয়া হাইড্রোজেন হইতে হিলিয়াম কেন্দ্রকের উদ্ভব এবং সঙ্গে প্রচুর শক্তি নির্গত হয় । এই কার্বন-নাইট্রোজেন চক্রের মূল শর্ত—2 কোটি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড তাপ ; চক্র একবার সম্পূর্ণ হইতে 60 লক্ষ বৎসর সময় লাগে ।

কেন্দ্রক বিক্রিয়া (Nuclear reaction) আবিষ্কারের পর লর্ড রাদার-ফোর্ড (Lord Rutherford) 1920 সালে ভবিষ্যদ্বাণী করিয়াছিলেন : "What is possible in the Cavendish laboratory may not be too difficult in the Sun" অর্থাৎ ক্যাভেণ্ডিস্ গবেষণাগারে যাহা সম্ভব, তাহা সৌরদেহে সংঘটিত হওয়া শক্ত নয় ।

আইনস্টাইনের (Einstein) সূত্র : $\mathbf{E = mc^2}$ ( E = শক্তি, m = পদার্থের ভর, c = আলোকের গতিবেগ ) অনুযায়ী শক্তিকে পদার্থে এবং পদার্থকে শক্তিতে রূপান্তর করা যায় । সৃষ্টির প্রারম্ভে পদার্থ ছিল শক্তির গর্ভে অর্থাৎ তখন কেবলমাত্র শক্তির আধিপত্য ছিল । সৃষ্টির ব্রাহ্মমুহূর্তে বিশ্বব্রহ্মাণ্ড ছিল একটি কেন্দ্রীয় বিশাল জ্বলন্ত অগ্নিকুণ্ড, যাহার অভ্যন্তরস্থ তাপমাত্রা ছিল প্রায় 50 লক্ষ ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড । এই প্রচণ্ড তাপে পরমাণুর অস্তিত্ব ছিল না ; শুধু ছিল পরমাণু কণাগুলি—প্রোটন (Proton), নিউট্রন

* পরিভাষা ( চতুর্থ পরিচ্ছেদ ) দ্রষ্টব্য ।

(Neutron) ও ইলেকট্রন (Electron)—যাহাদের গতীয় শক্তি (Kinetic energy) প্রায় 10,000 ইলেকট্রন ভোল্ট ( সাধারণ তাপে গতীয় শক্তি $10^{-2}$ ইলেকট্রন ভোল্ট )। কেন্দ্রক বিক্রিয়ার এই অনুকূল পরিবেশে প্রোটন-প্রোটন চক্র অনুষ্ঠিত হয়। এই চক্রে হিলিয়াম কণার উদ্ভব হয় এবং ক্রমশঃ ইহার গাঢ়ত্ব বর্ধিত হয়। কিছুক্ষণ পরে যখন হাইড্রোজেন জ্বালানীর পরিমাণ ক্ষয় পায়, মূল অগ্নিকুণ্ডের কেন্দ্র শীতল হইতে থাকে এবং ক্রমশঃ সঙ্কুচিত হয়। এই সঙ্কোচনের ফলে মাধ্যাকর্ষণ-জনিত শক্তি (gravitational force) বৃদ্ধি পায় এবং কেন্দ্রের (core) তাপমাত্রা আবার বর্ধিত হয়। বহির্মণ্ডলের উপরিতল আকস্মিক বৃদ্ধি পায় এবং উহা হইতে তেজবিকিরণের ফলে ( লাল আলো ) মূল নক্ষত্র বা নীহারিকা একটি "লাল দৈত্য" (Red giant) নামে অভিহিত হয়।

এইবার নক্ষত্র বা নীহারিকা দেহের তাপমাত্রা প্রায় 10 কোটি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড। হিলিয়াম কণাগুলি হইতে সম্মিলন বিক্রিয়ায় (Fusion reaction) ধারাবাহিকভাবে স্থায়ী লোহবর্গের মৌলগুলি পর্যন্ত সৃষ্ট হয়।

$$^{4}He \rightarrow {}^{8}Be \rightarrow {}^{12}C \rightarrow {}^{16}O \rightarrow {}^{20}Ne$$

হিলিয়াম → বেরিলিয়াম ( অস্থায়ী ) → কার্বন → অক্সিজেন → নিওন

$$\rightarrow {}^{24}Mg \cdots\cdots\cdots \rightarrow {}^{56}Fe\cdots$$

ম্যাগ্নেসিয়াম ········ → লোহবর্গের মৌল

বেরিলিয়াম-8 অত্যন্ত ক্ষণস্থায়ী কেন্দ্রক, যাহা গঠিত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে হিলিয়াম কণার সহিত সম্মিলন-বিক্রিয়ায় কার্বন কেন্দ্রকে ($^{12}C$) পরিণত হয়। প্রকৃতিতে বেরিলিয়াম-8 পাওয়া যায় না; ইহার স্থায়ী আইসোটোপ বেরিলিয়াম-9 আকরিকে (ore) দেখা যায়। হিলিয়াম ও কার্বনের অন্তর্বর্তী মৌল—লিথিয়াম (Lithium), বেরিলিয়াম ও বোরন (Boron) প্রথম পর্যায়ে সৃষ্ট হয় না। ইহারা গৌণ প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়। দৃষ্টান্ত-স্বরূপ, ভারী মৌলগুলিকে প্রোটন-কণা দ্বারা আক্রমণ করিলে কখনও কখনও লিথিয়াম, বেরিলিয়াম ও বোরন কেন্দ্রক বিক্রিয়াজ-খণ্ড-কেন্দ্রক হিসাবে দেখা যায়। এই প্রক্রিয়া সম্ভবতঃ সৌরদেহে বা নক্ষত্রদেহে সংঘটিত হয়।

দ্বিতীয় পর্যায়ে ( তাপমাত্রা 1·5 কোটি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেডের বেশী ) কার্বন-নাইট্রোজেন চক্রের প্রাধান্য থাকে। কার্বন হইতে প্রোটন সম্মিলন বিক্রিয়ায়

নাইট্রোজেন-15 কণা পর্যন্ত সৃষ্ট হয়—ইহা হইতে আবার কার্বন-12 ও হিলিয়াম

$$^{12}C \xrightarrow{^1H} {}^{13}C \xrightarrow{^1H} {}^{14}N \xrightarrow{^1H} {}^{15}N \xrightarrow{^1H} {}^{12}C + {}^4He$$

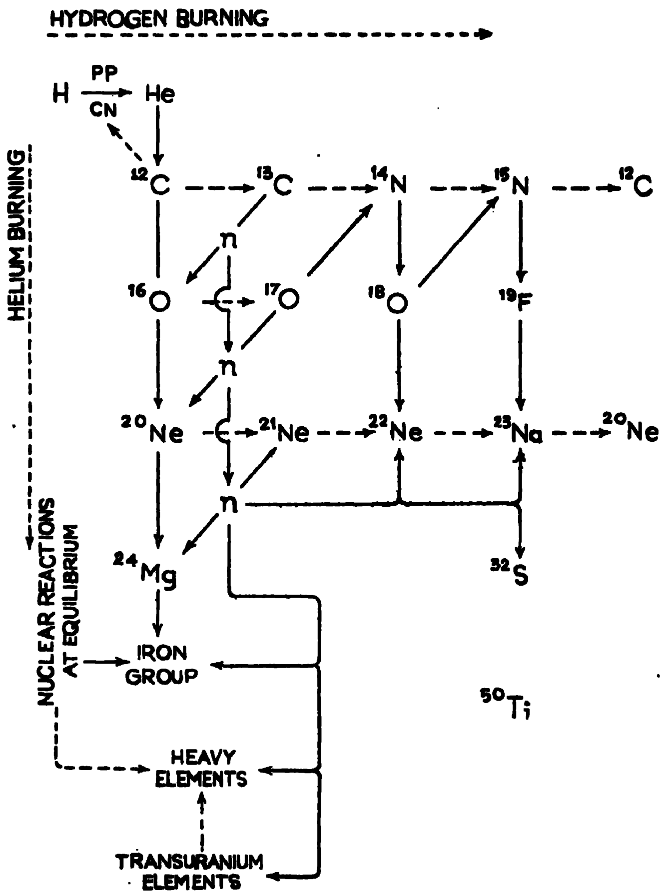
উৎপন্ন হয়। এই পর্যায়ে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের সমস্ত আইসোটোপ উদ্ভূত হয়।

তৃতীয় পর্যায়ে প্রোটন বিক্রিয়ায় অক্সিজেন হইতে অক্সিজেন-17, নিওন হইতে নিওন-21 সৃষ্ট হয়। এখন অক্সিজেন-17, নিওন-21 ও কার্বন-13 ( দ্বিতীয় পর্যায়ে উৎপন্ন ) হিলিয়ামের সহিত বিক্রিয়ায় অস্থায়ী কেন্দ্রক সৃষ্টি করে, যাহা হইতে প্রচুর নিউট্রন উৎসারিত হয়। এই ধরনের বিক্রিয়া গবেষণাগারে সমর্থিত হইয়াছে। এইবার নিউট্রন বিক্রিয়ায় (Neutron capture) লোহবর্গের মৌলগুলি ধারাবাহিকভাবে ভারী মৌলগুলি—বিসমাথ পর্যন্ত ( পরমাণু ক্রমাঙ্ক 83 )— উৎপন্ন করে। বিসমাথের পরবর্তী মৌলগুলি তেজস্ক্রিয় এবং অস্থায়ী।

কোনও এক দৈত্যকায় নক্ষত্রের (giant star) বর্ণালী হইতে টেক্‌নিসিয়ামের ( মৌল 43 ) অস্তিত্ব প্রমাণিত হইয়াছে। টেক্‌নিসিয়াম অস্থায়ী তেজস্ক্রিয় মৌল—ইহার সর্বাপেক্ষা দীর্ঘজীবী আইসোটোপের অর্ধায়ুষ্কাল 2 লক্ষ 16 হাজার বছর। কাজেই নক্ষত্রের জন্মের অনেক পরে নিশ্চয়ই এই মৌল উদ্ভূত হইয়াছিল। এমন কি কোনও বিস্ফোরণশীল দৈত্যকায় নক্ষত্রের বর্ণালীতে ক্যালিফোর্নিয়াম-254 ( পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 98 )-এর অস্তিত্বের ( অর্ধায়ুষ্কাল 55 দিন ) ইঙ্গিত পাওয়া গেছে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য ক্যালিফোর্নিয়ামের আবিষ্কার হইয়াছিল 1952 সালে বিকিনি দ্বীপপুঞ্জে তাপ-কেন্দ্রক বিস্ফোরণের (Thermonuclear explosion) ভস্মরাশি হইতে।

উপরোক্ত মৌলগুলির সৃষ্টি সম্পূর্ণ হইয়াছিল মাত্র 30 মিনিটের মধ্যে। ধারাবাহিক সঙ্কোচন ও প্রসারণের ফলে নক্ষত্রদেহের বিস্ফোরণ ঘটে। প্রচণ্ড বিস্ফোরণের ফলে নক্ষত্র দেহের কিয়দংশ মৌল পদার্থসমেত তীব্রবেগে বিক্ষিপ্ত হইয়া খণ্ড খণ্ড ভাবে মহাশূন্যে ছড়াইয়া পড়িল। এইভাবে সৌর-মণ্ডল ও গ্রহরাজির সৃষ্টি হইল। জ্বলন্ত অগ্নিগোলকের অবস্থা হইতে কোটি কোটি বছর ক্রমাগত তেজ-বিকিরণের পর আমাদের পৃথিবী ধীরে ধীরে শীতল ও শান্ত অবস্থায় আসিল—ক্রমে ভূত্বক্, সমুদ্র, বায়ুমণ্ডল ইত্যাদির উদ্ভব হইল।

প্রাচীনতম নীহারিকা হইতে প্রাপ্ত প্রমাণের ভিত্তিতে সৃষ্টিতত্ত্ববিদ্‌রা অনুমান করেন যে, সৃষ্টির ব্রাহ্মমুহূর্ত ছিল প্রায় 650 কোটি বছর আগে। তাঁহাদের ধারণা আমাদের সৌরমণ্ডলের বয়স প্রায় 450 কোটি বছর ( উল্কাপিণ্ড বিশ্লেষণ দ্বারা প্রাপ্ত প্রমাণ )। তেজস্ক্রিয় ইউরেনিয়াম শ্রেণী (Uranium




চিত্র 1.2 : মৌল পদার্থ গঠনের প্রবাহ-চিত্র।

series) হইতে প্রমাণিত হইয়াছে যে, আমাদের পৃথিবীর বয়স প্রায় 300 কোটি বছর।

মৌল পদার্থ গঠনের প্রবাহ-চিত্র দেওয়া হইল ( চিত্র 1.2 )।

অতএব আমরা মোটামুটি বলিতে পারি যে, পৃথিবীতে আমরা যে

মৌলগুলি দেখিতে পাই এবং যাহা পর্যায়-সারণী রচনা করিয়াছে, তাহাদের সৃষ্টি হইয়াছিল দূর-দূরান্তের এক নীহারিকা দেহে— নিখিল সৃষ্টির মূল গঙ্গোত্রীর অগ্নিকুণ্ডে।

**প্রাসঙ্গিক গ্রন্থ, প্রবন্ধাদি :**

1. W. A. Fowler—Scientific American, September, 1956

# ২। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ—প্রযুক্তি ও প্রয়োগ

## ( Radioactive Isotopes—Techniques & Applications )

পরমাণুযুগে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের নাম সকলের সুপরিচিত। কিন্তু ইহার অন্তরালে কত বিজ্ঞানীর অক্লান্ত ও অতন্দ্র সাধনা রহিয়াছে সেই ইতিহাস অনেকের কাছে অজ্ঞাত।

1896 সালে **হেন্‌রি বেক্‌রেল** (Henry Becquerel) কর্তৃক তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার এক নূতন যুগের সূচনা করিল। ইহার দুই বৎসর পরে মাদাম কুরী ও পিয়ের কুরী রেডিয়াম আবিষ্কার করিলেন। 1919 সালে **লর্ড রাদারফোর্ড** (Lord Rutherford) ও **শ্যাড্‌উইক** (Chadwick) সর্বপ্রথম কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সৃষ্টি করিলেন এবং **মৌল পদার্থের রূপান্তর প্রক্রিয়া** (Transmutation of elements)-র পথিকৃৎ হইলেন।

নাইট্রোজেন কেন্দ্রকের সঙ্গে উচ্চশক্তিসম্পন্ন আলফা কণার সংঘাতে অক্সিজেন=17 ( পরবর্তী মৌল ) এবং প্রোটন উৎপন্ন হইল। অর্থাৎ নাইট্রোজেন-কেন্দ্রক অক্সিজেন-কেন্দ্রকে রূপান্তরিত হইল। এই ধরনের বিক্রিয়াকে **কেন্দ্রক**

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

**বিক্রিয়া** (Nuclear reactions) বলা হয়। এখানে পরমাণুর অন্তঃপুরে কেন্দ্রকের সহিত পরমাণু-কণার বিক্রিয়া হয়। কেন্দ্রকের বামদিকের শীর্ষে লিখিত সংখ্যাটি ভরসংখ্যা (Mass number) বা কেন্দ্রকের নিউট্রন ও প্রোটনের সমষ্টি-সংখ্যা এবং বামদিকে নিম্নে লিখিত সংখ্যা পরমাণু-ক্রমাঙ্ক (Atomic number)। এখানে $^{14}_{7}N$-এর অর্থ নাইট্রোজেন-কেন্দ্রকের ভরসংখ্যা 14 এবং পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 7; রেডিয়াম C′ (RaC′) উৎস হইতে নিঃসৃত উচ্চশক্তি ও তীব্রগতি সম্পন্ন আলফা কণা নাইট্রোজেন-কেন্দ্রককে আক্রান্ত করিয়া উক্ত বিক্রিয়া সম্পন্ন করে। উপজাত প্রোটন কণা ($^{1}_{1}H$) একটি জিঙ্ক সালফাইড পর্দায় আলোক কণা স্ফুলিঙ্গায়িত (scintillation) করে। ইহা দ্বারা রাদারফোর্ড কেন্দ্রক বিক্রিয়া সম্বন্ধে নিঃসন্দেহ হন।

রাসায়নিক বিক্রিয়া পরমাণুর বহির্কক্ষস্থ ইলেকট্রন অণুস্তরে (Outer shell electrons) সীমাবদ্ধ এবং এই বিক্রিয়াজ শক্তি কেন্দ্রক-বিক্রিয়াজ-শক্তির তুলনায় প্রায় এক কোটি গুণ কম।

**রাসায়নিক বিক্রিয়া :**

$Li + \frac{1}{2}H_2 \rightarrow LiH + 1$ ev (1 ইলেকট্রন ভোল্ট)

**কেন্দ্রক বিক্রিয়া :** ${}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow 2\,{}^{4}_{2}He + 17Mev$ (1 কোটি 7 লক্ষ ইলেকট্রন ভোল্ট)

($1\ Mev = 1 \times 10^{6}\ ev = 1.6 \times 10^{-5}\ erg = 3.8 \times 10^{-14}$ calories)

প্রকৃতপক্ষে ব্যাপকভাবে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সৃষ্টির কৃতিত্বের অধিকারী হইলেন **আইরিন** (Irene) ও **জোলিও কুরী** (Joliot Curie) (1934 সাল)। জোলিও কুরী দম্পতী পোলোনিয়াম (Polonium) হইতে নির্গত আলফা কণার সাহায্যে বিভিন্ন মৌলিক পদার্থ হইতে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপন্ন করেন। প্রথমে Polonium-210 (পোলোনিয়াম −210), Radium − C′ (রেডিয়াম − C′) ইত্যাদি প্রকৃতিজ তেজস্ক্রিয় মৌলদের ক্ষেপণক (projectile) আলফা কণার উৎস হিসাবে ব্যবহার করা হইত। পরে কৃত্রিম উপায়ে আলফা কণা, নিউট্রন ও গামা রশ্মি ইত্যাদি ক্ষেপণক-কেন্দ্রক-বিক্রিয়া হইতে উৎপন্ন করা হইত।

$${}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow 2\,{}^{4}_{2}He\ ;\ {}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n\ ;$$

$${}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{0}n\ ;\ {}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{8}_{4}Be + \gamma$$

পাঁচ বছরের মধ্যে উন্নত ধরনের কেন্দ্রক-ক্ষেপণক (Nuclear projectile) উৎপাদনকারী যন্ত্রাদি উদ্ভাবিত হইল—অ্যাক্সিলারেটার (Accelerator), সাইক্লোট্রন (Cyclotron), সিন্‌ক্রোট্রন (Synchrotron), বিটাট্রন (Betatron) ইত্যাদি। দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের পরে পরমাণুচুল্লীর (Reactor) বহুল প্রচলন হইল। পরমাণুচুল্লী নিউট্রন কণার শ্রেষ্ঠ উৎস (নিউট্রন প্রবাহ প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে প্রতি সেকেণ্ডে $10^{12} - 10^{16}$ নিউট্রন)। এই সব আবিষ্কারের ফলে 1950 সালের মধ্যে প্রায় 1000 এর বেশী কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপাদিত হইয়াছে। এখন এই সংখ্যা প্রায় দ্বিগুণ হইয়াছে এবং মৌল রূপান্তরের পথ সুগম হইয়াছে।

## ২.১ প্রকৃতি বা ধর্ম

স্থায়ী মৌল ও উহার তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের মধ্যে পার্থক্য শুধু ভরসংখ্যা ও তেজস্ক্রিয়তার। দৃষ্টান্তস্বরূপ—ফস্‌ফরাসের স্থায়ী মৌল $^{31}_{15}P$—ইহার ভরসংখ্যা 31 এবং তেজস্ক্রিয়তা নাই। কিন্তু $^{32}_{15}P$, ফস্‌ফরাসের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ অর্থাৎ পরমাণু-ক্রমাঙ্ক একই (15) অথচ ভরসংখ্যা বিভিন্ন (32) এবং ইহা হইতে বিটা কণা ($\beta$) নিঃসৃত হয়, যাহার অর্ধায়ুষ্কাল 14·3 দিন ( অর্থাৎ 14·3 দিনে তেজস্ক্রিয়ার মাত্রা অর্ধেক হয় )। এই $^{32}P$ তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ এবং স্থায়ী আইসোটোপ $^{31}P$-এর রাসায়নিক ধর্ম একই।

তেজস্ক্রিয় মৌল ( থোরিয়াম, ইউরেনিয়াম, অ্যাক্টিনিয়াম শ্রেণী ) হইতে প্রতিনিয়তঃ তেজস্ক্রিয়া বিকীর্ণ হইতেছে এবং পরিশেষে ইহারা স্থায়ী মৌলে পরিণত হয় ( তেজস্ক্রিয় মৌল শ্রেণীর মধ্যে ইহা ঘটে )। অন্যান্য তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সাধারণতঃ দশ অর্ধায়ুষ্কাল উত্তীর্ণ হইলে প্রায় নিষ্ক্রিয় হইয়া যায়।

তেজস্ক্রিয়ার মূল কারণ কেন্দ্রকে নিউট্রন-প্রোটনের অসাম্য অবস্থা। পরমাণু-ক্রমাঙ্ক-83 ( বিসমাথ )-এর পরের মৌলগুলিতে ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে প্রোটনের তুলনায় নিউট্রনের আধিক্য এত বেশী পরিমাণ থাকে যে, কেন্দ্রকের স্থিতাবস্থা লুপ্ত হয় এবং কেন্দ্রকগুলির স্থায়িত্ব হ্রাস পাইতে থাকে। ফলে এই ভারী মৌলগুলির ( পরমাণু-ক্রমাঙ্ক $> 83$ ) কেন্দ্রক হইতে নিউট্রনের বাহুল্য কমাইয়া স্থায়ী অবস্থাপ্রাপ্তির প্রবণতা দেখায়। কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপে প্রোটনের তুলনায় নিউট্রনের প্রাচুর্য থাকে। সেইজন্য ইহাদের কেন্দ্রকগুলি অস্থায়ী।

তেজস্ক্রিয়াজাত রশ্মি তিন প্রকারের : (১) আলফা (alpha, $\alpha$) রশ্মি, (২) বিটা (beta, $\beta$) রশ্মি এবং (৩) গামা (gamma, $\gamma$) রশ্মি। একটি চুম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে এই রশ্মিগুলি তিনভাগে বিভক্ত হয়। উহাদের একাংশ আদৌ প্রভাবিত হয় না—ইহা গামা রশ্মি ($\gamma$)। গামা রশ্মি তরঙ্গপ্রবাহ-বিশেষ, ইহাতে কোনও কণা নাই—ইহার ভেদনক্ষমতা (penetrating power) সর্বাধিক। চুম্বকক্ষেত্র প্রয়োগে কিছু রশ্মি ডান দিকে বাঁকিয়া যায়—ইহা আলফা ($\alpha$) রশ্মি। বিটা রশ্মিতে অপরাধর্মী কণা বা ইলেকট্রন আছে ; আর আলফা রশ্মিতে পরাধর্মী কণা থাকে, যাহা হিলিয়াম কণার সমতুল্য ($^{4}_{2}He$)।

কঠিন বস্তু ভেদ করার ক্ষমতা গামা রশ্মির সর্বাধিক এবং আলফা রশ্মির সর্বাপেক্ষা কম। এই তিন রশ্মি কোন বস্তু বিশেষতঃ গ্যাসের মধ্য দিয়া যাইবার সময় উহাকে আয়নিত করে ; এবং এই আয়নন-ক্ষমতা (Ionisation) আলফা রশ্মির সব চেয়ে বেশী আর গামা রশ্মির সব চেয়ে কম। এই তিন প্রকার রশ্মির প্রত্যেকের নিজস্ব শক্তি (Energy) ও অর্ধায়ুষ্কাল (Half-life) থাকে যাহা দ্বারা ইহাদের সনাক্তকরণ করা যায়। এই তেজস্ক্রিয়া সহজেই গাইগার মুলার গণক-যন্ত্রে (Geiger Müller counter) পরীক্ষা করা যায়। জলীয় দ্রবণে তেজস্ক্রিয়তার প্রভাবে জল-বিভাজন (Radiolysis) হইয়া হাইড্রোজেন, হাইড্রোজেন পেরোক্সাইড এবং মুক্ত মূলক (Free radicals) উৎপন্ন হয়।

$$\left.\begin{array}{l} 2H_2O \rightarrow H_2 + H_2O + O \\ 2H_2O \rightarrow 2H + H_2O_2 \end{array}\right\} \text{ভারী আয়নের বিক্রিয়া } (\alpha, d, H)$$

$$2H_2O \rightarrow H_2 + 2OH \quad (\beta\text{-রশ্মির বিক্রিয়া})$$

এই জল-বিভাজন বিক্রিয়ার জন্যই মানবদেহে তেজস্ক্রিয় রশ্মি সমধিক অনিষ্ট সাধন করিতে পারে। পারমাণবিক বিস্ফোরণজাত তেজস্ক্রিয় ভস্মরাশির (Radioactive ash) কবলে যাঁহারা পড়িয়াছিলেন, তাঁহাদের মধ্যে প্রাণহানি, অঙ্গহানি এবং বংশপরম্পরায় দুরারোগ্য ব্যাধির সংবাদ হয়তো অনেকেই জানেন। তাই তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ লইয়া কার্য করিবার সময় যথোচিত সতর্কতা অবলম্বন করা অবশ্য প্রয়োজনীয়।

## ২.২ ট্রেসার প্রযুক্তি (Tracer technique) ও প্রয়োগ

তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ও উহার স্থায়ী মৌলের রাসায়নিক ধর্ম একই। কাজেই কোন রাসায়নিক বা জীবকোষের (biological cell) প্রক্রিয়ায় স্থায়ী মৌল বা আইসোটোপের সহগমন করে, উক্ত মৌলের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ। এই তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সহজেই আত্মপ্রকাশ করে গণনা-কারক যন্ত্রে (Geiger Müller counter) এবং রাসায়নিক ইত্যাদি প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন পর্যায়ে ইহাকে অনুধাবন করা যায়। অত্যন্ত অল্প পরিমাণ তেজস্ক্রিয় আইসোটোপকে ( $10^{-16}$ গ্রাম ) সহজেই সন্ধান করা যায়। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সহযোগে মূল স্থায়ী আইসোটোপের বিক্রিয়া অনুসরণ করার প্রযুক্তির নাম **তেজস্ক্রিয় ট্রেসার প্রযুক্তি (Radioactive tracer technique)**।

ট্রেসার প্রযুক্তি আঙ্গিক (qualitative) বা মাত্রিকভাবে সম্পন্ন করা যায়। পরীক্ষাধীন বস্তুর সহিত ইহার উপযুক্ত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ যোগ করা হয়। বিক্রিয়াটির নির্ধারিত পর্যায়ে উপযুক্ত নমুনা সংগ্রহ করা হয় এবং বাঞ্ছিত আইসোটোপটিকে রাসায়নিক পৃথকীকরণের পর গণনাকারক যন্ত্রে বিশ্লেষণ করা হয়। এই প্রযুক্তি বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায়—রসায়ন, পদার্থ-বিদ্যা, প্রাণিবিজ্ঞান, ভূতত্ত্ব, ধাতুবিদ্যা ইত্যাদি—নব নব দিগন্ত উন্মোচিত করিয়াছে। ইহার বহুমুখী প্রয়োগের কয়েকটি আলোচিত হইল।

## ২.২.১ রসায়নশাস্ত্রে ট্রেসার প্রযুক্তি

**(ক) ব্যাপন (Diffusion)**—অনেক রাসায়নিক ও ধাতুশোধন প্রক্রিয়ায় বাষ্প, তরল বা কঠিন পদার্থের স্বতঃ ব্যাপনের (Self-diffusion) সম্বন্ধে তথ্য অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। কঠিন ধাতুর তাপবৃদ্ধির ফলে পরমাণুগুলির ব্যাপন কীভাবে হয় তাহা বোঝা যায় তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের দ্বারা।

দৃষ্টান্তস্বরূপ, এক খণ্ড তামার উপর তেজস্ক্রিয় তামার ($^{64}Cu$) একটি পাতলা স্তর জমানো হয়। তামার উপরিভাগে তেজস্ক্রিয়তা প্রথমে পরিমাপ করা হয়। পরে উত্তপ্ত করিয়া এই তেজস্ক্রিয় তামা সমগ্র ধাতুখণ্ডটির মধ্যে বিস্তৃত হইয়া পড়ে। এইবার আবার ধাতুখণ্ডটির তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করিলে তামার পরমাণুর ব্যাপন গুণাঙ্ক (Diffusion coefficient) নির্ণয় করা যায়।

এই ধরনের পরীক্ষা সঙ্কর ধাতু (alloy) সংক্রান্ত বিজ্ঞানে অত্যন্ত মূল্যবান, কারণ সঙ্কর ধাতুর শক্তি ও অন্যান্য বৈশিষ্ট্য অসদৃশ পরমাণুর বণ্টনের উপর নির্ভর করে।

**(খ) উপরিতলের রসায়ন (Surface chemistry)**—পদার্থের উপরিতলের নানারকম জটিল প্রক্রিয়া সম্বন্ধে আলোকপাত করা সম্ভব হইয়াছে ট্রেসার প্রযুক্তি দ্বারা। লোহার মরচে পড়া সম্বন্ধে সঠিক চিত্র উদ্ঘাটিত হইয়াছে। মরচে প্রতিরোধ করার জন্য ক্রোমেট ব্যবহার করা হয় যাহাতে তেজস্ক্রিয় ক্রোমিয়াম-51 মিশ্রিত থাকে। এই ক্রোমেট-51-কে অনুসরণ করিয়া ক্রোমেটের বিক্রিয়া বোঝা যায়।

কঠিন পদার্থ, চূর্ণ বস্তু (Powder) ও কলয়েড (Colloid) ইত্যাদির উপরিতলের আয়তন নিরূপণ সম্ভবপর হইয়াছে। একটি দৃষ্টান্ত দেওয়া যাক। লেড সালফেটের ( ট্রেসার, থোরিয়াম B ) সংপৃক্ত দ্রবণে (Saturated

solution) একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ লেড সালফেট যোগ করা হইল। দ্রবণ ও কঠিন পদার্থের উপরিতলের লেড পরমাণুগুলির মধ্যে গতীয় বিনিময় (Kinetic exchange) হইবে, যাহার ফলে দ্রবণে তেজস্ক্রিয়তা হ্রাস পাইবে।

$$\frac{\text{উপরিতলের ThB}}{\text{দ্রবণের ThB}} = \frac{\text{উপরিতলের Pb}}{\text{দ্রবণের Pb}}$$

বামদিকের অনুপাত সহজেই পরিমেয়। দ্রবণে লেডের গাঢ়ত্ব জানা থাকে ( সংপৃক্ত দ্রবণ )। অতএব উপরিতলের লেডের ওজন এবং পরমাণু-সংখ্যা হিসাব করা যায়। ইহা হইতে কঠিন লেড সালফেটের গ্রাম পিছু উপরিতলের আয়তন নির্ণয় করা যায়। এইভাবে বেরিয়াম সালফেট ও স্ট্রনসিয়াম সালফেটের ( তেজস্ক্রিয় সালফার-35 ) উপরিভাগের আয়তন নির্ণীত হইয়াছে।

(গ) **বাষ্পচাপ (Vapour pressure) নির্ধারণ**—কঠিন অথবা তরল ধাতুর বাষ্পচাপ নির্ণয় করিবার জন্য তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ নিয়োগ করা হয়। যে সমস্ত ধাতু অধিক উচ্চ তাপে তরল হয় তাহাদের ক্ষেত্রে ওজন করিবার উপযোগী বাষ্প সংগ্রহ করা সময় সাপেক্ষ—অনেক ঘণ্টা বা দিন সময় লাগে। কিন্তু ট্রেসার প্রয়োগে মাত্র কয়েক মিনিটেই কাজ সম্পন্ন হয়। তরল রূপার ( গলনাঙ্ক 1955° সেণ্টিগ্রেড ) সঙ্গে রূপা-110 আইসোটোপ মিশ্রিত করা হয়। উত্তপ্ত গলিত ধাতু হইতে বাষ্পকে একটি ছিদ্রপথ দিয়া শীতল ধাতুর পাতে ঘনীভূত করা হয়। তারপর ইহার তেজস্ক্রিয়তা হইতে বাষ্পীভূত ধাতুর পরিমাণ এবং বাষ্পচাপ নিরূপণ করা হয়।

(ঘ) **বিনিময় বিক্রিয়া (Exchange reactions)**—ট্রেসারের প্রয়োগে বহু বিনিময় বিক্রিয়ার উপর আলোকপাত করা সম্ভব হইয়াছে। কয়েকটি মূল্যবান তথ্য এখানে দেওয়া হইল।

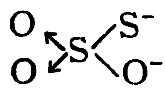
জলীয় দ্রবণে $Cl^- - Cl_2$, $Br^- - Br_2$, $I^- - I_2$-এর মধ্যে বিনিময় এত দ্রুত হারে ঘটে যে, ট্রেসার ছাড়া সাধারণ পদ্ধতিতে পরিমাপ করা যায় না। বিক্রিয়াসাম্য এইরূপ—$I^- + I_2 \rightleftharpoons I_3^-$। শুষ্ক পেণ্টেন (Pentane) দ্রাবকে $I_2$ ও $SbI_3$-এর বিনিময় 20 মিনিটে সম্পূর্ণ হয় 37° সেণ্টিগ্রেডে—সম্ভবতঃ অন্তর্বর্তী যৌগ $SbI_5$ গঠিত হয়।

কার্বন টেট্রাক্লোরাইড মাধ্যমে সাধারণ তাপে $Br_2$ ও $AsBr_3$-এর মধ্যে ( অন্তর্বর্তী যৌগ $AsBr_5$ ) এবং $Br_2$ ও $SnBr_4$-এর মধ্যে ( অন্তর্বর্তী

যৌগ $SnBr_2$ ) দ্রুত হারে বিনিময়ে ঘটে। জলীয় দ্রবণে $PtBr_4^{--}$ বা $PtBr_6^{--}$ এর সমস্ত Br পরমাণু দ্রুত হারে $Br^-$-এর সহিত বিনিময় করে। আবার $HgI_4^{--}$ এর চারটি I পরমাণু $I^-$ আয়নের সহিত দ্রুত হারে বিনিময় করে।

সালফার-35 ($^{35}S$) ট্রেসারের সাহায্যে গবেষণা উল্লেখযোগ্য। পলি-সালফাইড দ্রবণে (Polysulphide) সালফার এবং সালফাইড ($S^{--}$) আয়নের বিনিময় ঘটে। 100° সেণ্টিগ্রেডে সালফাইড ও সালফেট, সালফাইট ($SO_3^{--}$) ও সালফেট ($SO_4^{--}$), সালফিউরাস অ্যাসিড (Sulphurous) ও বাইসালফেট আয়ন ($HSO_4^-$) এর মধ্যে বিনিময়ের মাত্রা যথেষ্ট নয়।

থায়োসালফেট আয়নের ($S_2O_3^{--}$) গঠন সন্দেহাতীতভাবে প্রমাণিত হইয়াছে $^{35}S$ ট্রেসার দ্বারা। তেজস্ক্রিয় সালফার-35 ও সালফাইট ($SO_3^{--}$) মিশ্রিত করিয়া থায়োসালফেট প্রস্তুত করা হয়। পরে অ্যাসিডের দ্বারা বিভাজন করা হইলে দেখা যায় যে, তেজস্ক্রিয়তা অধঃক্ষিপ্ত সালফারের মধ্যে থাকে অথচ বিক্রিয়াজ সালফার ডাই-অক্সাইডের মধ্যে থাকে না। অর্থাৎ $S_2O_3^{--}$ এর দুইটি সালফার পরমাণু অসম। তাছাড়া তেজস্ক্রিয় সালফাইড



আয়ন ($S^{--}$) এবং $S_2O_3^{--}$ এর অর্ধেক সালফারের মধ্যে দ্রুত বিনিময় ঘটিয়া থাকে।

ফস্ফরিক ($H_3PO_4$) এবং ফস্ফরাস অ্যাসিড ($H_3PO_3$) আর ফস্ফরিক এবং হাইপো-ফস্ফরাস অ্যাসিড ($H_3PO_2$) 100° সেণ্টিগ্রেড তাপেও ফস্ফরাস পরমাণু বিনিময় করে না। আর্সেনেট ($H_3AsO_4$) ও আর্সেনাইট ($HAsO_2$) 100° সেণ্টিগ্রেড তাপেও উল্লেখযোগ্য বিনিময় করে না।

ম্যাঙ্গানিজ যৌগদের মধ্যে বিনিময় বিক্রিয়া অনুসন্ধান করা হইয়াছে। বিনিময়-অযোগ্য যুগ্মগুলি হইল—$MnO_4^- - Mn^{++}$, $MnO_4^- - Mn(C_2O_4)_3^{3-}$, $MnO_4^- - MnO_2$ ইত্যাদি। শেষোক্ত ক্ষেত্রে ইলেকট্রন স্থানান্তরের দ্বারা জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া সংশ্লিষ্ট থাকে।

কিছু ধাতুর উপরিতলের সঙ্গে দ্রবণে সেই ধাতুর আয়নের সঙ্গে সন্তোষজনক বিনিময় পর্যবেক্ষণ করা হইয়াছে। উদাহরণস্বরূপ, সিলভার (Ag), জিঙ্ক

(Zn) ও লেড (Pb) এর নাম করা যাইতে পারে। সাধারণ তাপমাত্রায় এক ঘণ্টায় রূপার 10 – 100 পারমাণবিক স্তর পর্যন্ত বিনিময় সম্পন্ন হয়। নূতন সিলভার ব্রোমাইড (AgBr) অধঃক্ষেপ দ্রবণের $Br^-$ এর সঙ্গে সক্রিয় ভাবে বিনিময় ঘটায় কিন্তু অধঃক্ষেপ পুরাতন (aged) হইলে বিনিময়-বিক্রিয়া মন্থর গতিতে চলে।

কয়েকটি ক্ষেত্রে বিনিময়-বিক্রিয়া মাত্রিকভাবে (Quantitatively) নির্ণীত হইয়াছে।

$$AX + BX^{o} = AX^{o} + BX$$

যেখানে $X^{o}$ = তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ( X পরমাণুর )

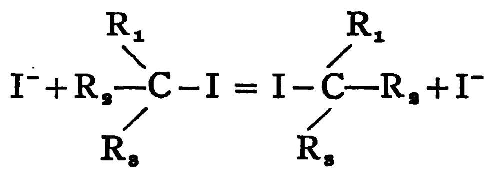
(ঙ) **বিক্রিয়ার গতিবিদ্যা ও কার্য-বিধি (Reaction Kinetics & Mechanism)**—এই বিষয়ে ট্রেসারের অবদান গুরুত্বপূর্ণ।

আয়োডিন অনুঘটকের সাহায্যে আর্সেনাস (Arsenous) ও আর্সেনিক (Arsenic) অ্যাসিডের বিনিময়-বিক্রিয়ার হার তেজস্ক্রিয় আর্সেনিক আইসোটোপের দ্বারা সহজেই পরিমাপ করা যায়।

$$HAsO_2 + I_3^- + 2H_2O \rightleftharpoons H_3AsO_4 + 3I^- + 2H^+$$

বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক (Equilibrium constant), $K = K_f/K_r$ যেখানে $K_f$ ও $K_r$ অগ্রগামী (Forward) ও বিপরীতমুখী (Reverse) বিক্রিয়ার হার সূচিত করে।

ওয়াল্‌ডেন বিবর্তন (Walden Inversion) এর তত্ত্ব অনুযায়ী বিবর্তনের প্রণালী হইতেছে ঃ



এখানে একই বর্গের (group) দ্বারা প্রতিস্থাপন (Substitution) হইয়াছে। তাই প্রারম্ভিক (Initial) অণু যদি আলোক-সক্রিয় (Optically active) হয়, তবে অন্তিম (Final) বিক্রিয়াজ পদার্থ (Product) আলোক-নিষ্ক্রিয় (Racemic) হইবে।

ক্রোমিয়াম অক্সালেট আয়নের ক্ষেত্রে, $Cr(C_2O_4)_3^{3-}$, আলোক-নিষ্ক্রিয়তা দেখা গেছে, কিন্তু ক্রোমিয়াম যোজকের (Cr – C – O –) তারতম্য

অনুযায়ী ইহা আলোক-সক্রিয় হইতে পারে। জলীয় দ্রবণে ইহার আলোক-নিষ্ক্রিয়তা দ্রুত হারে ঘটে এবং বিক্রিয়াটি মোটামুটি প্রথম ক্রমের (First order) ; আয়নন এইখানে বিক্রিয়া হার নির্ণয় করে।

$$Cr(C_2O_4)_3^{3-} = Cr(C_2O_4)_2^{-} + C_2O_4^{2-}$$

বিকল্প মতবাদ অনুযায়ী উক্ত ক্ষেত্রে আন্তঃআণবিক পুনর্বিন্যাস (Intra-molecular rearrangement) সম্ভবতঃ ঘটে। তেজস্ক্রিয় অক্সালেট ($C_2O_4^{2-}$) (ট্রেসার $^{11}C$ আইসোটোপ) দ্রবণ লইয়া দেখা যায় যে, তেজস্ক্রিয়তা ক্রোমিয়াম যৌগের মধ্যে সঞ্চারিত হয় না। কাজেই আয়নন প্রণালী সমর্থিত হয় না বরং আন্তঃআণবিক পুনর্বিন্যাসই যুক্তিসঙ্গত।

**(চ) পৃথকীকরণের পরীক্ষা**—রাসায়নিক পৃথকীকরণের মাত্রা পরীক্ষার ব্যাপারে ট্রেসারের ভূমিকা অত্যন্ত প্রয়োজনীয় বিশেষতঃ কৃত্রিম মৌল পদার্থ—ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল শ্রেণীর ক্ষেত্রে (সপ্তম পরিচ্ছেদ)।

সোনা-প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়াম মিশ্রণের পৃথকীকরণ পদ্ধতি দৃষ্টান্তস্বরূপ ধরা যাক। পদ্ধতিটি প্রবাহ-চিত্র দ্বারা বোঝান হইল।

সোনা ট্রেসার ($^{198}Au$) দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে সোনার অংশে (৩) 97% সোনা থাকে—অবশিষ্ট 3% সোনা প্ল্যাটিনামের অংশে (৫) বাহিত থাকে।

Au—Pt—Ir মিশ্রণ

↓ বিজারণ — উত্তপ্ত ক্ষারীয় HCOONa

ধাতব অধঃক্ষেপ

↓ প্রজ্বলন (ignition) ও অম্লরাজে (aqua regia) দ্রবীভবন

(১) অধঃক্ষেপ—Ir      (২) দ্রবণ—Pt + Au

(২) দ্রবণ—Pt + Au ↓ $H_2O_2$

(৩) অধঃক্ষেপ—Au      (৪) দ্রবণ—Pt

(৪) দ্রবণ—Pt ↓ HCOONa

(৫) অধঃক্ষেপ—Pt

টিন সালফাইড ($SnS_2$) অধঃক্ষেপ বিভিন্ন পরীক্ষামূলক অবস্থায় কোবাল্ট ট্রেসার ($^{60}Co$) দ্বারা পরীক্ষা করা হইয়াছে। দেখা যায় যে, অধিক অ্যাসিড দ্রবণে সহাধঃক্ষেপন হ্রাস পায় এবং কোবাল্টের সংক্রমণ (contamination) রোধ করা যায় অ্যাক্রোলিন (acrolein) বিকারক দ্বারা।

তেজস্ক্রিয় বেরিলিয়াম দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে pH6 এর অধিক pH-এ অ্যালুমিনিয়াম-8 হাইড্রোক্সিকুইনোলিন অধঃক্ষেপের সঙ্গে বেরিলিয়ামের সংক্রমণ থাকে। এই সংক্রমণ বা সহাধঃক্ষেপণ pH6 এর নীচে অর্থাৎ অ্যাসিডীয় দ্রবণে অনুপস্থিত থাকে।

অদ্রবণীয় অধঃক্ষেপগুলির (সালফাইড, সালফেট, ফস্‌ফেট ইত্যাদি) দ্রাব্যতা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ দ্বারা নির্ণীত হইয়াছে। অধঃক্ষেপণের পর অধঃক্ষেপ ও দ্রবণে তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করিলেই সহজেই দ্রাব্যতা নির্ধারণ করা সম্ভব। টিন ফেরোসায়নাইডের $Sn_3[Fe(CN)_6]_2$ দ্রবণীয়তা অনুরূপভাবে নির্ণীত হইয়াছে।

(ছ) **আইসোটোপ লঘুকরণ পদ্ধতি (Isotope Dilution Method)**—প্রাণী-রসায়ন ও প্রাণী-বিজ্ঞানে এই পদ্ধতি সমধিক প্রচলিত। জটিল জৈব মিশ্রণের কোনও উপাদান যখন মাত্রিকভাবে পৃথক করা সম্ভব নয়, তখন এই পদ্ধতি প্রযোজ্য। নমুনা মিশ্রণের সঙ্গে নির্দিষ্ট ওজনের এক তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ চিহ্নিত (tagged) যৌগ মিশ্রিত করা হয়। তারপর মিশ্রণ হইতে বিশুদ্ধ যৌগটিকে পৃথক্ করা হয় এবং ইহার বিশিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা (specific activity) অর্থাৎ গ্রাম প্রতি তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করা হয়। ইহার সহিত প্রারম্ভিক বিশিষ্ট তেজস্ক্রিয়তার তুলনা করা হয়। ইহাতে মূল ট্রেসারের লঘুকরণ (তেজস্ক্রিয়তা-শূন্য নিষ্ক্রিয় যৌগের জন্য) হয় এবং নিষ্ক্রিয় পদার্থের পরিমাণ নির্ধারণ করা সম্ভব। এখানে ট্রেসারের দ্বারা রাসায়নিক পৃথকীকরণ পদ্ধতির উৎপাদন (yield) মাত্রা পরিমাপ করা যায়।

(জ) **তেজস্ক্রিয়মিতি (Radiometric) পদ্ধতি**—ইহা একটি গৌণ বৈশ্লেষিক পদ্ধতি। তেজস্ক্রিয়তা-শূন্য বস্তুর পরিমাণ নির্ণয় করার জন্য অল্পমাত্রায় উপযুক্ত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ব্যবহার করা হয়। দৃষ্টান্ত-স্বরূপ, ক্লোরাইড আয়ন নিরূপিত করা যায় তেজস্ক্রিয় $^{110}Ag$ সমেত AgCl অধঃক্ষেপণের সাহায্যে। বিকারক $AgNO_3$ ($^{110}Ag$) এর

প্রারম্ভিক সক্রিয়তা এবং অধঃক্ষেপণের পর পরিস্রুত দ্রবণের সক্রিয়তা পরিমাপ করা হয়। সক্রিয়তার এই পার্থক্য হইতে অজ্ঞাত দ্রবণের ক্লোরাইড আয়নের গাঢ়তা সহজেই নির্ণয় করা যায়। এই পদ্ধতিতে অতিউন পরিমাণ ক্লোরাইড আয়ন ( $10^{-6}$ গ্রাম ) নির্ধারণ করা সম্ভব। অনুরূপভাবে সিলভার আয়নের গাঢ়তা নির্ণয় করা যায় তেজস্ক্রিয় আয়োডিন সমেত KI দ্বারা AgI অধঃক্ষেপণের সাহায্যে। $Fe(OH)_3$ অধঃক্ষেপে $10^{-6}$ গ্রাম ও তার চেয়েও অল্প সিলভার AgI হিসাবে শোষিত করা যায় এবং পরে উহার গাঢ়তা নির্ধারণ করা সম্ভব। তেজস্ক্রিয় $Tl^{+}$ অথবা $I^{-}$ সহ অদৃশ্য পরিমাণ TlI এক উপযুক্ত প্লেটে সংগ্রহ করা যায় এবং তারপর সক্রিয়তার মাত্রা হইতে গাঢ়তা নিরূপণ অতি সহজসাধ্য ব্যাপার।

(ঝ) **উদ্বুদ্ধ সক্রিয়তা বিশ্লেষণ (Activation analysis)**—এযাবৎকাল আলোচিত প্রয়োগগুলিতে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের মূল্যায়ন হয় তাহার সক্রিয়তা বা তেজস্ক্রিয়া হইতে। ইহা বৈশ্লেষিক রসায়নের (Analytical chemistry) বিশিষ্ট পদ্ধতি। এখানে মূল নমুনাটিকে দ্রবীভূত বা বিয়োজিত করিয়া বাঞ্ছিত উপাদানটিকে ( তেজস্ক্রিয় আইসোটোপসহ ) পৃথক্ করিতে হয়। কিন্তু আলোচ্য প্রক্রিয়াটিতে মূল নমুনাটিকে রাসায়নিক বিয়োজন বা দ্রবীভবন করার দরকার হয় না (Nondestructive analysis)। তেজস্ক্রিয়তাবিহীন অথবা নিষ্ক্রিয় নমুনাটিকে পরমাণুচুল্লী-নিঃসৃত নিউট্রনপ্রবাহে অবগাহন করার ফলে তেজস্ক্রিয়ায় উদ্বুদ্ধ করা হয়। নির্দিষ্ট সময়ান্তে নমুনাটিকে অপসারণ করিয়া প্রত্যক্ষভাবে উহার উদ্বুদ্ধ তেজস্ক্রিয়া গণনা-কারক যন্ত্রে পরিমাপ করা হয়। তেজস্ক্রিয়ার মাত্রা এবং নিম্নোক্ত সমীকরণের অন্যান্য প্রাসঙ্গিক কারক (factor) হইতে নমুনাটির ওজন নির্ণয় করা যায়।

উদ্বুদ্ধ তেজস্ক্রিয়া, $A = fN\sigma(1 - \exp\{-0{\cdot}693t/T_{1/2}\})$

$f$ = নিউট্রন প্রবাহের (flux) মাত্রা অর্থাৎ

প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে নিউট্রন সংখ্যা ;

$N$ = নমুনাবস্তুটির পরমাণুসংখ্যা ( প্রতি মোলে )

$$= \frac{\text{লক্ষ্যবস্তুর মোট ওজন}}{\text{পারমাণবিক গুরুত্ব}} \times 6{\cdot}02 \times 10^{23}$$

$\sigma$ = প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) অর্থাৎ কেন্দ্রকের যে আয়তন

ক্ষেপণক প্রবাহের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লিপ্ত থাকে ( একক $=10^{-24}$ বর্গ-সেন্টিমিটার )

$t=$ কেন্দ্রক ক্ষেপণক রশ্মির সম্পাতকাল ( সেকেণ্ডে )

$T_{1/2}=$ অর্ধায়ুষ্কাল ( সেকেণ্ডে )

$$\exp\{-0{\cdot}693t/T_{1/2}\}=1-e^{-\frac{0\cdot693t}{T_{1/2}}}$$

দৃষ্টান্তস্বরূপ হিসাব করা যাক, 1 গ্রাম সোনা ($^{197}Au$) হইতে 3·8 দিন পরমাণুচুল্লীর নিউট্রন-সম্পাতে কত সক্রিয়তা উদ্বুদ্ধ হয় ($f=1\times10^{12}$ নিউট্রন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে প্রতি সেকেণ্ডে ;

$\sigma=96$ barns $=96\times10^{-24}$ বর্গ-সেন্টিমিটার ;

$T_{1/2}=3{\cdot}8$ দিন )।

উদ্বুদ্ধ সক্রিয়তা ( প্রতি সেকেণ্ডে বিভাজন )

$$=fN\sigma(1-\exp\{-0{\cdot}693t/T_{1/2}\})$$

$$=(1\times10^{12})\left(\frac{1}{197}\times6{\cdot}02\times10^{23}\right)(96\times10^{-24})\left(1-\exp\frac{-0{\cdot}693\times3{\cdot}8}{3{\cdot}8}\right)$$

$=1{\cdot}5\times10^{11}$ বিভাজন প্রতি সেকেণ্ডে (dps)

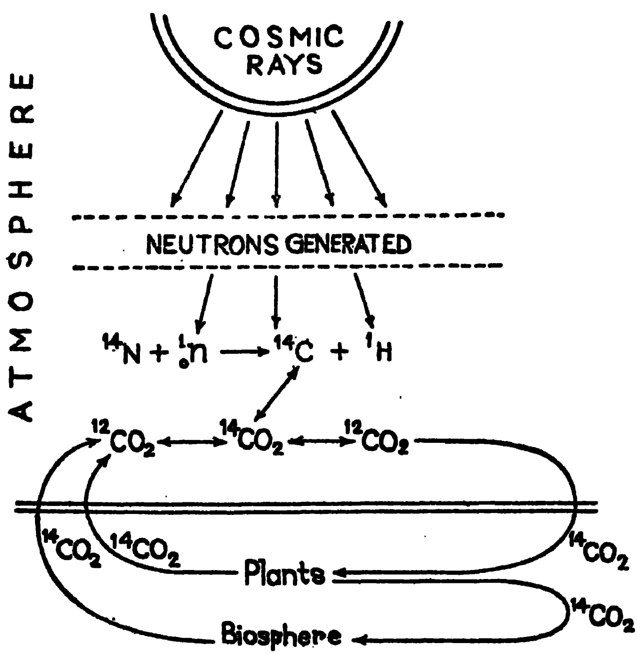
$=4$ কুরী সক্রিয়তা (1 কুরী, curie $=3{\cdot}7\times10^{10}$dps)

হিসাব করিলে দেখা যায়, এই সক্রিয়তার উৎস তেজস্ক্রিয় সোনার ($^{198}Au$) উৎপাদন ($2\times10^{-5}$ গ্রাম )। গণনা-কারক যন্ত্রে অতি সহজেই $10^{-10}$ গ্রাম পর্যন্ত $^{197}Au$ আঙ্গিকভাবে নিরূপণ করা যায়। বৈশ্লেষিক রসায়নে সর্বাপেক্ষা সুবেদী পদ্ধতি হইল এই উদ্বুদ্ধ সক্রিয়তা পদ্ধতি। ডয়টারন ($^{2}H$) রশ্মি সম্পাত করিয়া অতি অল্প পরিমাণ অপদ্রব্য—লোহার মধ্যে গ্যালিয়াম, নিকেলের মধ্যে তামা, কোবাল্ট অক্সাইডের মধ্যে লোহা ইত্যাদি সহজেই পরিমাপনযোগ্য। অর্ধপরিবাহী (Semi-conductor) বস্তুর মধ্যে $10^{-8}-10^{-10}$ গ্রাম অপদ্রব্য আলোচ্য পদ্ধতিতে নির্ণয় করা হইয়া থাকে।

**(ঞ) তেজস্ক্রিয় কার্বন দ্বারা তারিখ নির্ণয় (Radiocarbon dating)**—উদ্ভিদ্ ও প্রাণিজগতের তেজস্ক্রিয় কার্বন আইসোটোপ ($^{14}C$) সাধারণ কার্বনের ($^{12}C$) সঙ্গে মিশ্রিত থাকে। ইহাদের $^{14}C \leftrightarrow ^{12}C$ সাম্য উদ্ভিদের বিনাশ ও জীবের মৃত্যুর পর ছিন্ন হয় এবং তখন হইতে কার্বন-14-এর তেজস্ক্রিয়া হ্রাস পাইতে থাকে। যে কোনও পুরাতাত্ত্বিক নমুনার ( কাঠ বা প্রাণিজ বস্তু ) অবশিষ্টাংশ কার্বন-14 তেজস্ক্রিয়া পরিমাপ করিয়া উহার সঠিক বয়স নির্ণয় করা সম্ভব। ইহাই এই পদ্ধতির মূল নীতি। এই পদ্ধতির আবিষ্কারক **উইলার্ড লিবি (Willard Libby, 1945— )**; তিনি 1960 সালে তাঁর প্রযুক্তির ব্যাপক প্রয়োগের জন্য নোবেল পুরস্কারে সম্মানিত হইয়াছিলেন।

বায়ুমণ্ডলের উচ্চতর স্তরে কস্‌মিক রশ্মির সংঘর্ষে নিউট্রন উৎপন্ন হয়। এই নিউট্রন বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেনের সহিত বিক্রিয়ায় লিপ্ত হইয়া কার্বন-14 সৃষ্টি করে ( চিত্র 2.1 )।

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{1}H$$




চিত্র 2.1 : কার্বন চক্র।

কার্বন-14 এর $\beta$-তেজস্ক্রিয়তা আছে—শক্তি 1.6 লক্ষ ইলেকট্রন ভোল্ট ; অর্ধায়ুষ্কাল 5568 বছর। ইহার বিশিষ্ট সক্রিয়তার হার (Specific disintegration rate) $1{\cdot}7 \times 10^{11}$ বিভাজন (প্রতি গ্রামে প্রতি সেকেণ্ডে)। এই সক্রিয়তা রেডিয়ামের তেজস্ক্রিয়ার প্রায় সমতুল্য। কিন্তু বায়ুমণ্ডলে $^{14}C$ মিশ্রিত ও লঘুকৃত থাকে $^{12}C$ এর দ্বারা। আবার উচ্চতর বায়ুমণ্ডলে $^{14}C$ জারিত হইয়া $^{14}CO_2$ উৎপন্ন করে যাহা বায়ুপ্রবাহের দ্বারা সাধারণ নিষ্ক্রিয় $^{12}CO_2$ এর সঙ্গে মিশ্রিত হয়, উদ্ভিদ্‌জগতে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে প্রবেশ করে এবং পরে প্রাণিজগতে আংশিকভাবে স্থানান্তরিত হয়। উদ্ভিদের বিনাশ ও প্রাণীর মৃত্যুর পর এই কার্বন চক্রে ছেদ পড়ে যাহার ফলে $^{14}C$ এর সক্রিয়তা হ্রাস পাইতে থাকে। কোনও নির্দিষ্ট সময়ে এই উদ্ভিদ্ ত্বক্ বা প্রাণীর জীবাশ্মের মধ্যে $^{14}C$ তেজস্ক্রিয়া পরিমাপ করিয়া উহার সঠিক বয়স নির্ণয় করা যায় (Radiocarbon dating)।

এই পদ্ধতি দ্বারা লিবি ও তাঁহার সহযোগীরা 10,000 বছরের বেশী প্রাচীন প্রত্নতাত্ত্বিক নমুনার বয়স নির্ধারণ করিয়াছেন।

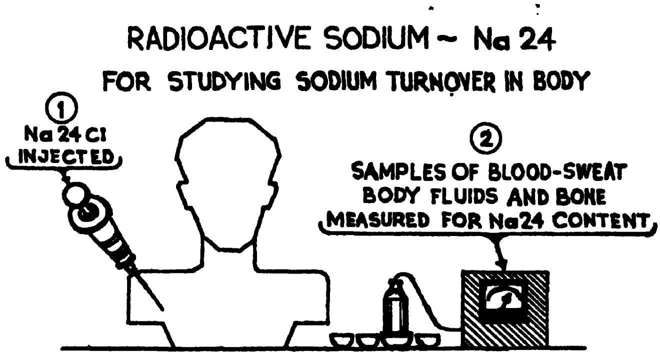
## ২.২.২ চিকিৎসাশাস্ত্রে ট্রেসার প্রযুক্তি

ট্রেসারের প্রয়োগ চিকিৎসা-শাস্ত্রে বৈপ্লবিক যুগান্তর সূচনা করিয়াছে। মানব-কল্যাণের আবেদন প্রত্যক্ষভাবে জড়িত আছে চিকিৎসাশাস্ত্রে। ট্রেসার পরমাণুগুলি মানবদেহের অভ্যন্তরস্থ নানাবিধ জটিল ক্রিয়াপদ্ধতির উপর নূতন আলোকপাত করিয়াছে। দেহের অন্তঃপুরের প্রক্রিয়াগুলি যদিও মূলতঃ রাসায়নিক, কিন্তু সেইগুলি এমন জটিল পথ অনুসরণ করে যে সাধারণ রাসায়নিক পদ্ধতিতে তাহা অনুধাবন করা যায় না। দেহের আভ্যন্তরীণ ক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী প্রায় প্রত্যেকটি মৌলিক পদার্থের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ পাওয়া যায়। কয়েকটি দৃষ্টান্ত সংক্ষেপে লিপিবদ্ধ হইল।

শরীরের অভ্যন্তরস্থ তরল অংশে (Body fluid) এবং কোষগুলিতে (Cell) সোডিয়ামের গতিপথ অনুসরণ করা হয় সোডিয়াম-24 ব্যবহারের দ্বারা। দেখা যায় যে, সোডিয়াম দেহের কোষস্থ তরল পদার্থে সবচেয়ে দ্রুত-ভাবে বিস্তৃত হয় এবং অতি ধীরে দাঁত ও অস্থির মধ্যে প্রবেশ করে।

কয়েকটি ক্ষেত্রে বিশেষ ধরনের অণুর বা অণুর অংশের গতিবিধি পর্যবেক্ষণ করিতে হইলে তেজস্ক্রিয় পরমাণু দ্বারা চিহ্নিত জৈব অণু ব্যবহার করা হয়। এইভাবে তেজস্ক্রিয় প্রোটিন, শর্করা, অ্যামিনো অ্যাসিড, ভিটামিন ও হরমোন

প্রচুর ব্যবহৃত হইয়া থাকে। প্রোটিনের কার্যকলাপ লক্ষ্য করার জন্য অন্যতম যৌগিক অংশ $^{14}C$ চিহ্নিত গ্লাইসিন (Glycine) প্রয়োগ করা হয়। কয়েকটি



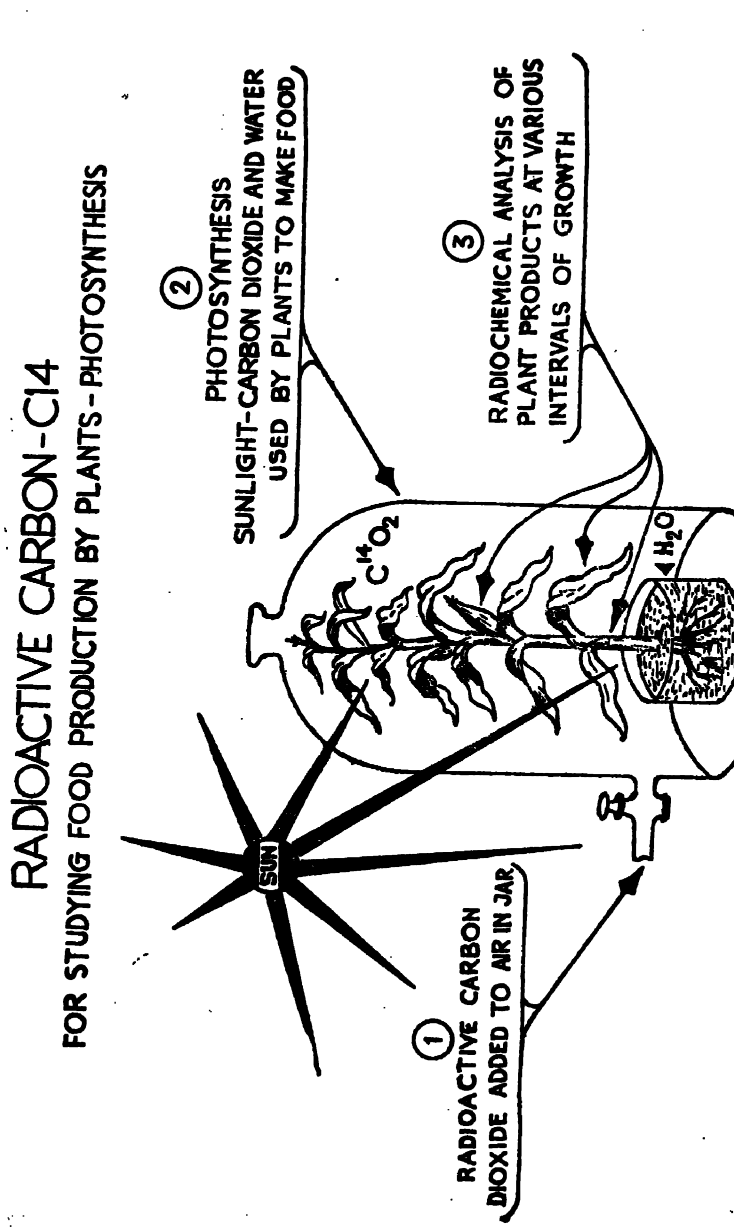

চিত্র 2.2 : মানব-শরীরের অভ্যন্তরে সোডিয়ামের গতিপথ।

ইঁদুরের দেহে এই গ্লাইসিন সূচী প্রয়োগ করার পর বিভিন্ন সময়ে ইঁদুরগুলিকে হত্যা করা হয় এবং প্রত্যেকটির যকৃতের টিস্যু (Tissue) হইতে রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় অ্যামিনো অ্যাসিড পৃথক্ করিয়া গ্লাইসিনের গতিপথ চিত্রিত করা হইয়াছে।

আয়োডিন-131 দ্বারা ইনসুলিনের (Insulin) কার্য-ধারা এবং লোহা-59 দ্বারা রক্তের ক্রিয়া ইত্যাদি সম্বন্ধে আলোকপাত করা হইয়াছে। তাছাড়া আয়োডিন-131 দ্বারা থাইরয়েড গ্রন্থির এবং রেডিয়াম ও কোবাল্ট-60 দ্বারা ক্যানসার চিকিৎসা অতি সুপরিচিত।

## ২.২.৩ কৃষিকার্যে ট্রেসার প্রযুক্তি

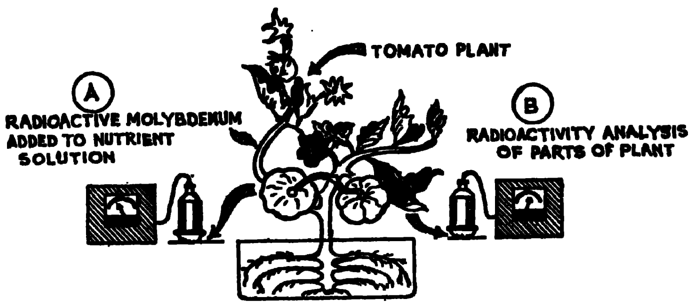
কৃষিকার্যের গবেষণা অনুপ্রাণিত হইয়াছে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের প্রভাবে। উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পুষ্টির রহস্য উদ্‌ঘাটিত হইয়াছে। সালোকসংশ্লেষ (Photosynthesis) প্রক্রিয়ায় প্রথম আলোকপাত সম্ভব হইয়াছে, তেজস্ক্রিয় কার্বন-14 এর দ্বারা (চিত্র 2.3)। উদ্ভিদের পরিপুষ্টি কোন্ কোন্ খনিজের উপর নির্ভর করে তাহার নিখুঁত চিত্র উদ্‌ঘাটিত হইয়াছে তেজস্ক্রিয় তামা, জিঙ্ক, সালফার, ক্যালসিয়াম, মলিবডেনাম, ফস্‌ফরাস ইত্যাদির প্রয়োগে। এই সব খনিজ উপকরণ কোন্ গতিপথে উদ্ভিদের দেহের বিভিন্ন অংশে সঞ্চারিত হয় এবং কীভাবে উদ্ভিদ্-কোষে প্রবেশ করে সেই




চিত্র 2.3 : সালোক-সংশ্লেষ।

তথ্য এখন সুপরিচিত। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের ব্যাপক প্রয়োগ হইতেছে কৃত্রিম সার বিষয়ক গবেষণায়। তাছাড়া আগাছা রোধ ও ব্যাধি নিরোধের ব্যাপারে ট্রেসার গবেষণায় অমূল্য তথ্য আহৃত হইয়াছে।

RADIOACTIVE MOLYBDENUM-Mo93-Mo99
FOR STUDY OF MINERAL ESSENTIAL FOR PLANT NUTRITION




চিত্র 2.4 : উদ্ভিদ্-পুষ্টিতে খনিজের ভূমিকা পরীক্ষা।

**ট্রেসারের তালিকা**—ট্রেসারের বহুমুখী প্রয়োগ উপরে আলোচিত হইয়াছে। কৃত্রিম মৌলগুলি ও ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির আবিষ্কার এবং উৎপাদন ট্রেসার প্রযুক্তির সর্বাপেক্ষা চমকপ্রদ প্রয়োগ ( ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ )। বিরল-মৃত্তিক মৌলশ্রেণীর পারস্পরিক পৃথকীকরণ ট্রেসার প্রযুক্তির প্রয়োগের আর এক উজ্জ্বল দৃষ্টান্ত।

নিম্নের তালিকায় বহুল ব্যবহৃত ট্রেসারগুলির বিশিষ্ট ধর্মগুলি লিপিবদ্ধ করা হইল।

### সারণী 2.1 : সাধারণ ব্যবহৃত তেজস্ক্রিয় ট্রেসার

| আইসোটোপের নাম | সংকেত | অর্ধায়ুকাল | গড় শক্তি | |
|---|---|---|---|---|
| | | | β (Mev) | γ (Mev) † |
| ট্রিসিয়াম | $^{3}H$ | 12·26 বছর | 0·0186 | — |
| কার্বন | $^{14}C$ | 5720 বছর | 0·155 | |
| সোডিয়াম | $^{24}Na$ | 15 ঘণ্টা | 1·39 | 1·368 ; 2·753 |
| ফস্ফরাস | $^{32}P$ | 14·3 দিন | 1·71 | — |
| সালফার | $^{35}S$ | 87 দিন | 0·167 | — |
| ক্লোরিন | $^{36}Cl$ | $3\times10^{5}$ বছর | 0·714 | — |
| পটাসিয়াম | $^{42}K$ | 12·36 ঘণ্টা | 3·55 ; 1·98 | 1·52 |
| ক্যালসিয়াম | $^{45}Ca$ | 165 দিন | 0·255 | — |
| ম্যাঙ্গানিজ | $^{56}Mn$ | 2·58 ঘণ্টা | 2·84 ; 1·03 ; 0·72 | 0·85 |
| আয়রন | $^{57}Fe$ | 45 দিন | 0·46 ; 0·27 | 1·10 ; 1·29 |
| কোবাল্ট | $^{60}Co$ | 5·26 বছর | 0·32 | 1·173 ; 1·333 |
| জিঙ্ক | $^{69}Zn$ | 55 মিনিট | 0·90 | — |
| আর্সেনিক | $^{76}As$ | 26·8 ঘণ্টা | 2·41 ; 2·97 | 0·559 |
| ব্রোমিন | $^{82}Br$ | 35·3 ঘণ্টা | 0·44 | 0·25 |
| স্ট্রন্সিয়াম | $^{90}Sr$ | 29 বছর | 0·54 | — |
| আয়োডিন | $^{131}I$ | 8·06 দিন | 0·60 | 0·364 |
| সিলভার | $^{110}Ag$ | 24 সেকেণ্ড | 2·21 ; 2·87 | — |
| গোল্ড | $^{198}Au$ | 2·70 দিন | 0·96 | 0·412 |
| বিসমাথ | $^{210}Bi$ | 5·01 দিন | 1·16 | — |

† † 1 Mev = 10 লক্ষ ইলেকট্রন-ভোল্ট ( পরিচ্ছেদ 8 ; পরিভাষা দ্রষ্টব্য )

## তেজস্ক্রিয়তা-সংক্রান্ত অনুশীলনী *

**উদাহরণ ১।** 1 গ্রাম Th-232 হইতে 1 বৎসরে কয়টি α-বিভাজন হইবে ? ( Th-232 এর বিভাজন-ধ্রুবক, $\lambda = 1{\cdot}58\times10^{-18}$ সেকেণ্ড$^{-1}$ )। ইহার সক্রিয়তা কত ?

মনে কর, প্রারম্ভিক কেন্দ্রক সংখ্যা $= N_0$,

এবং 1 বৎসর পরে কেন্দ্রক সংখ্যা $= N$

1 বৎসরে বিভাজনের পরিমাণ $= \Delta N = N_0 - N$

$$= N_0 - N_0 \exp(-\lambda t) = N_0 [1 - \exp(-\lambda t)] = N_0 \lambda t$$

* এই অনুশীলনী ছাত্রছাত্রীদের আলোচ্য বিষয়ের জ্ঞানের গভীরতা-বৃদ্ধির সহায়তা করিবে। স্নাতক পর্যায়ের এই বিষয়ের পটভূমিকা অধিকতর উজ্জ্বল হইবে।

এখানে $t$ = অতিক্রান্ত সময় = 1 বছর = $3{\cdot}15 \times 10^7$ সে.

এখন $\lambda t = 1{\cdot}58 \times 10^{-18} \times 3{\cdot}15 \times 10^7$ সেকেণ্ড

$= 5 \times 10^{-11}$

1 গ্রাম Th-232 এর কেন্দ্রক সংখ্যা, N

$$= \frac{\text{অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা}}{\text{পারমাণবিক গুরুত্ব}}$$

$$= \frac{6{\cdot}02 \times 10^{23} \text{ পরমাণু/মোল}}{232 \text{ গ্রাম/মোল}}$$

$= 2{\cdot}60 \times 10^{21}$ পরমাণু বা কেন্দ্রক/গ্রাম

সূচনায় $N_0 = 2{\cdot}60 \times 10^{21}$

$$\Delta N = N_0 \lambda t = (2{\cdot}60 \times 10^{21}) \times (5 \times 10^{-11})$$

$= 13 \times 10^{10}$ কেন্দ্রক

অর্থাৎ 1 বৎসরে 1 গ্রাম Th-232 হইতে $13 \times 10^{10}$ $\alpha$-বিভাজন হইবে।

1 গ্রাম Th-232 এর সক্রিয়তা

$= \lambda N_0 = (1{\cdot}58 \times 10^{-18}$ সেকেণ্ড$^{-1})(2{\cdot}60 \times 10^{21}$ কেন্দ্রক )

$= 4{\cdot}1 \times 10^3$ বিভাজন প্রতি সেকেণ্ডে

$= \dfrac{4{\cdot}1 \times 10^3}{3{\cdot}7 \times 10^{10}}$ কুরী $= 0{\cdot}11 \times 10^{-6}$ কুরী $= 0{\cdot}11$ মাইক্রোকুরী।

**উদাহরণ ২।** রেডিয়াম-226 তেজস্ক্রিয় বিকিরণের ফলে রেডন-222 ($T_{1/2} = 1620$ বছর ) ও পরে পোলোনিয়াম-218 ($T_{1/2} = 3{\cdot}82$ দিন ) উৎপন্ন হয়। একটি বিশুদ্ধ রেডিয়াম-226 নমুনাতে রেডনের কয়টি অর্ধায়ুষ্কাল উত্তীর্ণ হইলে ইহার শতকরা 99 ভাগ সাম্যাবস্থায় উপনীত হইবে ?

দুহিতা পরমাণুর (daughter atom) সংখ্যা,

$N_b = N_a \cdot \dfrac{\lambda_a}{\lambda_b}$ যেখানে $N_a$ = জনক (parent) পরমাণুর সংখ্যা ;

$\lambda_a$ ও $\lambda_b$ ইহাদের বিভাজন-ধ্রুবক ;

যদি $\lambda_b \gg \lambda_a$, $N_b(t) = N_a \cdot \frac{\lambda_a}{\lambda_b}[1 - \exp(-\lambda_b t)]$

অনন্ত সময়ে, $N_b(\infty) = N_a \cdot \frac{\lambda_a}{\lambda_b}$

$$\therefore \quad \frac{N_b(t)}{N_b(\infty)} = 1 - \exp(-\lambda_b t) = \frac{99}{100}$$

অর্থাৎ $\exp(-\lambda_b t) = \frac{1}{100}$

$$\therefore \quad t = \frac{1}{\lambda_b} \cdot \log 100 = \frac{T_{1/2}}{\log 2} \cdot \log 100$$

অতিক্রান্ত অর্ধায়ুষ্কাল :

$$\frac{t}{T_{1/2}} = \frac{\log 100}{\log 2} = 6{\cdot}64.$$

**উদাহরণ ৩।** একটি প্রস্তরখণ্ডে $5 \times 10^{-5}$ মিলিলিটার হিলিয়াম ( প্রমাণ তাপ ও চাপে ) এবং গ্রাম-প্রতি $3 \times 10^{-7}$ গ্রাম ইউরেনিয়াম পাওয়া যায়। প্রস্তরখণ্ডটির বয়স নির্ণয় কর।

প্রমাণ তাপ ও চাপে $6{\cdot}02 \times 10^{23}$ হিলিয়াম পরমাণু

$= 22{,}400$ c.c. হিলিয়াম

মনে কর, হিলিয়াম পরমাণু $= x$

$$\frac{6{\cdot}02 \times 10^{23}}{22{,}400 \text{ c.c.}} = \frac{x}{5 \times 10^{-5} \text{c.c.}}$$

$x = 1{\cdot}34 \times 10^{15}$ পরমাণু

তেজস্ক্রিয় ইউরেনিয়াম মৌলশ্রেণীর একটি ইউরেনিয়াম (-238) পরমাণু হইতে মোট 8টি α-কণা নিঃসৃত হইয়া লেড-206-এ ( রেডিয়াম-G ) রূপান্তরিত হয়।

ব্যবহৃত বা ক্ষয়প্রাপ্ত ইউরেনিয়াম পরমাণু

$$\frac{1{\cdot}34 \times 10^{15}}{8} = 1{\cdot}67 \times 10^{14}$$

মনে কর, অবশিষ্ট ইউরেনিয়াম পরমাণু $= y$

$$\frac{238 \text{ গ্রাম ইউরেনিয়াম}}{6{\cdot}02 \times 10^{23} \text{ ইউরেনিয়াম পরমাণু}} = \frac{3 \times 10^{-7} \text{ গ্রাম}}{y}$$

$$\therefore \quad y = \frac{(3)(6{\cdot}02 \times 10^{23})(10^{-7})}{2{\cdot}38 \times 10^{2}} = 7{\cdot}59 \times 10^{14} \text{ পরমাণু}$$

$$\therefore \quad \text{আদি ইউরেনিয়াম পরমাণু} = 1{\cdot}67 \times 10^{14} + 7{\cdot}59 \times 10^{14}$$
$$= 9{\cdot}26 \times 10^{14}$$

ইউরেনিয়ামের $(-238)$ অর্ধায়ুষ্কাল $= 4{\cdot}51 \times 10^{9}$ বছর

বিভাজন, ধ্রুবক $\lambda = \dfrac{0{\cdot}693}{4{\cdot}51 \times 10^{9}} = 1{\cdot}54 \times 10^{-10}$

যদি $N$ = নির্দিষ্ট সময়ান্তে ( T বছর ) পরমাণু সংখ্যা

এবং $N_0$ = আদি পরমাণু সংখ্যা,

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda T = \ln \frac{7{\cdot}59 \times 10^{14}}{9{\cdot}26 \times 10^{14}}$$

$$\therefore \quad T = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \cdot \frac{9{\cdot}26}{7{\cdot}59} = \frac{1}{1{\cdot}54 \times 10^{-10}} \cdot 2{\cdot}303$$
$$(\log 9{\cdot}26 - \log 7{\cdot}59)$$

$$= \frac{2{\cdot}303(0{\cdot}9666 - 0{\cdot}8802)}{1{\cdot}54 \times 10^{-10}} = 1{\cdot}29 \times 10^{9} \text{ বছর}$$

$\therefore$ **প্রস্তরখণ্ডটির বয়স $= 1{\cdot}29 \times 10^{9}$ বছর।**

**উদাহরণ ৪।** একটি খনিজের Pb-206 : Pb-207 = 14 ; খনিজটি Pb-204 হইতে মুক্ত। ইহার বয়স নির্ণয় কর। ( U-238 এর $T_{1/2} = 4{\cdot}51 \times 10^{9}$ বছর ; U-235 এর $T_{1/2} = 7{\cdot}07 \times 10^{8}$ বছর )

আমরা জানি $\dfrac{\text{U-238}}{\text{U-235}} = \dfrac{139}{1}$ $\quad \cdots \quad (1)$

মনে কর U-238 তেজস্ক্রিয় শ্রেণীর Pb-206 সৃষ্টির জন্য প্রারম্ভিক পরমাণুর ভগ্নাংশ $(N_0) = X_1$ এবং U-235 এর, $X_2$ ( Pb-207 এর জন্য )

$$\text{U-238 শ্রেণীর } \lambda_1 = \frac{6{\cdot}93 \times 10^{-1}}{4{\cdot}51 \times 10^{9}} = 1{\cdot}54 \times 10^{-10}/\text{বছর}$$
$$\cdots \quad (2)$$

U-235 শ্রেণীর $\lambda_2 = \frac{6{\cdot}93 \times 10^{-1}}{7{\cdot}07 \times 10^8} = 9{\cdot}82 \times 10^{-10}$/বছর ... (3)

U-238 তেজস্ক্রিয় শ্রেণীর ;

$$\ln \frac{N_1}{(N_0)_1} = -\lambda_1 T \text{ অথবা } \ln \frac{139/140}{139/140 + X_1}$$

$$= \ln \frac{0{\cdot}9929}{0{\cdot}9929 + X_1} = -1{\cdot}54 \times 10^{-10}\, T \cdots \qquad (4)$$

U-235 তেজস্ক্রিয় শ্রেণীর ;

$$\ln \frac{N_2}{(N_0)_2} = -\lambda_2 T \text{ অথবা } \ln \frac{1/140}{1/140 + X_2}$$

$$= \ln \frac{0{\cdot}0071}{0{\cdot}0071 + X_2} = -9{\cdot}82 \times^{-10}\, T \cdots \qquad (5)$$

এখন $\frac{X_1}{X_2} = 14 \quad \therefore \quad X_2 = \frac{X_1}{14}$

সুতরাং $\ln \frac{N_2}{(N_0)_2} = \ln \frac{{\cdot}0071}{0{\cdot}0071 + \frac{X_1}{14}} = -9{\cdot}82 \times 10^{-10}\, T$ ... (6)

সমীকরণ (4) ও (6) হইতে

$$\frac{0{\cdot}9929}{0{\cdot}9929 + X_1} = e^{-1.54 \times 10^{-10} T}$$

অর্থাৎ $\frac{0{\cdot}9929}{e^{-1.54 \times 10^{-10} T}} - 0{\cdot}9929 = X_1$ ... (7)

আবার, $\frac{0{\cdot}0071}{0{\cdot}0071 + \frac{X_1}{14}} = e^{9.8 \times 10^{-10} T}$

অর্থাৎ $\frac{0{\cdot}0994}{e^{-9.8 \times 10^{-10} T}} - 0{\cdot}0994 = X_1$ ... (8)

উপরোক্ত সমীকরণ-দুইটির সমাধান করিবার জন্য স্থূল বা আসন্ন মান ব্যবহার করা প্রয়োজন। সমী. (7) ও (8) হইতে আমরা পাই

$$0.9929\, e^{-1.54\times10^{-10}T} - 0.9929$$
$$= 0.0994\, e^{-9.8\times10^{-10}T} - 0.0994$$

অর্থাৎ $0.9929\, e^{-1.54\times10^{-10}T} - 0.0994\, e^{-9.8\times10^{-10}T} = 0.8935$

ইহা হইতে $T$ ( স্থূলতঃ ) $= 1\times10^{9}$ বছর

**অতএব খনিজটির বয়স $= 1 \times 10^{9}$ বছর**

**উদাহরণ ৫।** $25^\circ$ সে. ও $-196^\circ$ সে. তাপে থার্মাল নিউট্রনের গড় শক্তি ( ইলেকট্রন ভোল্ট ) কত ?

আমরা জানি, থার্মাল নিউট্রনের শক্তি তাপের ( পরম তাপ, Absolute temperature, $^\circ$A ) আনুপাতিক এবং শূন্য ডিগ্রী সে. বা $273^\circ$A তাপে গড় শক্তি $= 0.035$ ইলেকট্রন-ভোল্ট (ev)

$25^\circ$ সে. তাপে, $\dfrac{0.035}{273} = \dfrac{X}{273+25} = \dfrac{X}{298}$

অর্থাৎ $X = 0.038$ ev

$-196^\circ$ সে. বা $77^\circ$ A তাপে, $\dfrac{0.035}{273} = \dfrac{X'}{77}$

অর্থাৎ $X' = 0.0099$ ev

**উদাহরণ ৬।** একটি পরমাণু-চুল্লীতে এক খণ্ড সোনার পাতে 5 ঘণ্টা নিউট্রন সম্পাত করা হইল। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ গঠনের হার ধ্রুবক অর্থাৎ প্রতি সেকেণ্ডে $10^{9}$ পরমাণু এবং ইহার অর্ধায়ুষ্কাল $T_{1/2} = 2.69$ দিন। সোনার পাতটিতে কতটা সক্রিয়তা সঞ্চারিত হইল ?

বিভাজন-ধ্রুবক, $\lambda = \dfrac{0.693}{2.69 \times 24 \text{ ঘণ্টা}}$

সক্রিয়তা $= \lambda N = R[1 - \exp(-\lambda t)]$

যেখানে $R =$ সম্পৃক্ত সক্রিয়তা

$$=10^9[1-\exp(-\lambda t)]=10^9\left[1-\exp\frac{-0.693\times5}{2.69\times24}\right]$$

$$=10^9[1-\exp(-0.0537)]$$

$$=10^9(1-0.948)=5.2\times10^7$$ বিভাজন প্রতি সেকেণ্ডে

$$=\frac{5.2\times10^7}{3.7\times10^{10}}$$ কুরী $=1.4$ মিলিকুরী।

**উদাহরণ ৭।** 0·03 সেণ্টিমিটার ঘন একটি কোবাল্ট-59 পাত প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে $10^{12}$ নিউট্রনপ্রবাহে দুই ঘণ্টাকাল অবগাহন করা হইল। কোবাল্ট-59 এর নিউট্রনের জন্য প্রস্থচ্ছেদ = 30 বার্ণ (barn)। দুই ঘণ্টার পর কতকগুলি কোবাল্ট-60 কেন্দ্রক উৎপন্ন হইবে? কোবাল্ট পাতটির $\beta$-সক্রিয়তা কত হইবে? ( কোবাল্ট-60 এর $T_{1/2}=5.2$ বছর ; কোবাল্টের ঘনত্ব $=8.9$ গ্রাম/সেণ্টিমিটার$^3$ )।

ক্ষেপণক ক্ষেত্রফলের প্রতি এককে কেন্দ্রক বিক্রিয়ার হার, $r_A=n_A I\sigma$

যেখানে $n_A=\dfrac{\text{ক্ষেপণক কেন্দ্রকের মোট সংখ্যা}}{\text{মোট ক্ষেপণক ক্ষেত্রফল}}$

$$=\frac{\text{কেন্দ্রক সংখ্যা}\times\text{ক্ষেপণক ক্ষেত্রফল}\times\text{ঘনতা}}{\text{ক্ষেপণক ক্ষেত্রফল}}$$

$=N_o.\ t$ ;

$I=$ নিউট্রন প্রবাহ ;

$\sigma=$ প্রস্থচ্ছেদ (Cross-section)

এখন $\quad r_A=(N_o t).I.\sigma=N\left(\dfrac{\rho}{M}\right)'.t.I.\sigma$

$$=6.03\times10^{23}\times\left(\frac{8.9}{59}\right)\times0.03\times10^{12}\times30\times10^{-24}$$

$=8.19\times10^{10}$ বিক্রিয়া প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে।

দুই ঘণ্টার মোট বিক্রিয়ার পরিমাণ, $R=8.19\times10^{10}\times2\times3600$ $=59\times10^{13}$ বিক্রিয়া প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে।

প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে $\beta$-সক্রিয়তা

$$=\lambda\times59\times10^{18}=\frac{0.693\times59\times10^{18}}{5.2\text{ বছর}}\qquad\left(\lambda=\frac{0.693}{T_{1/2}}\right)$$

$$=\frac{0.693\times59\times10^{18}}{5.2\times3.15\times10^{7}}\text{ বিভাজন প্রতি সেকেণ্ডে}$$

$$=2.5\times10^{6}\text{ বিভাজন প্রতি সেকেণ্ডে}$$

$$=\frac{2.5\times10}{3.7\times10^{1}}\text{ কুরী}=67\text{ মাইক্রোকুরী}$$

**উদাহরণ ৮।** ক্যাড্‌মিয়াম-113 এর নিউট্রন অবশোষণের প্রস্থচ্ছেদ = 20,800 বার্ন। ইহার ঘনত্ব 8·67 গ্রাম/সেণ্টিমিটার$^3$। ইহার বৃহত্তর প্রস্থচ্ছেদ নির্ণয় কর। কী পরিমাণ ক্যাড্‌মিয়াম-113 নিউট্রনপ্রবাহকে 1% মাত্রায় হ্রাস করার জন্য প্রয়োজন ?

$$\text{বৃহত্তর প্রস্থচ্ছেদ}=N_0\sigma=\frac{\rho}{M}\cdot N.\sigma$$

$$=\frac{8.67}{113}\times6.03\times10^{23}\times20{,}800\times10^{-24}\text{ প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে}$$

$$=962\text{ প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে}$$

যদি নিউট্রনপ্রবাহের প্রারম্ভিক প্রগাঢ়তা $I_0$ ক্যাড্‌মিয়াম পাতের x দূরত্ব অতিক্রম করার ফলে হ্রাস পাইয়া I-তে পরিণত হয় এবং লক্ষ্যবস্তুর প্রতি সেণ্টিমিটারে কেন্দ্রক সংখ্যা = n,

$$I=I_0e^{-n\sigma x}$$

$$\log\frac{I}{I_0}=\frac{-n\sigma x}{2.303}\qquad\text{অর্থাৎ}\quad\log\frac{I_0}{I}=\frac{n\sigma x}{2.303}$$

$$\text{অর্থাৎ }\log100=\frac{8.67}{113}\times\frac{6.023\times10^{23}}{2.303}\times20{,}800\times10^{-24}\times x$$

$$\text{অর্থাৎ}\quad x=0.0048\text{ সেণ্টিমিটার}$$

**উদাহরণ ৯।** 0·100 মিলিগ্রাম প্লুটোনিয়াম-239 ( $\alpha$-বিকীর্ণকারী ) হইতে প্রতি মিনিটে $1.40\times10^{7}$ বিভাজন লক্ষ্য করা গেল। ইহার অর্ধায়ুষ্কাল নির্ণয় কর।

নেপচুনিয়াম-239 এর তেজস্ক্রিয় দুহিতা প্লুটোনিয়াম-239 ; 0·100 মিলিগ্রাম প্লুটোনিয়াম-239 এর জন্য কত পরিমাণ ( রাদারফোর্ড ) নেপচুনিয়াম-239 প্রয়োজন ?

$0{\cdot}1$ মিলিগ্রাম $= 10^{-4}$ গ্রাম

$10^{-4}$ গ্রাম প্লুটোনিয়াম-239 $= \dfrac{(10^{-4})(6{\cdot}02 \times 10^{23})}{239}$ পরমাণু

$= 2{\cdot}52 \times 10^{17}$ পরমাণু

আমরা জানি, সক্রিয়তা $-\dfrac{dN}{dT} = \lambda N$

অথবা $\lambda = -\dfrac{dN}{dT} \cdot \dfrac{1}{N} = \dfrac{1{\cdot}40 \times 10^{7}}{2{\cdot}52 \times 10^{17}}$

$= 5{\cdot}55 \times 10^{-11}$/মিনিট

আবার, $\lambda = \dfrac{0{\cdot}693}{T_{1/2}}$

বা $T_{1/2} = \dfrac{0{\cdot}693}{\lambda} = \dfrac{0{\cdot}693}{5{\cdot}55 \times 10^{-11}} = 1{\cdot}25 \times 10^{10}$ মিনিট

$= 2{\cdot}42 \times 10^{4}$ বছর

নেপচুনিয়াম-239 এর ক্ষেত্রে $\lambda_{Np} = \dfrac{0{\cdot}693}{(T_{1/2})_{Np}} = \dfrac{0{\cdot}693}{1{\cdot}98 \times 10^{5}\text{ সে.}}$

বা $\lambda_{Np} = 3{\cdot}50 \times 10^{-6}$/সেকেণ্ড

এবং $-\left(\dfrac{dN}{dT}\right)_{Np} = (3{\cdot}50 \times 10^{-6})(2{\cdot}52 \times 10^{17})$

$= 8{\cdot}81 \times 10^{11}$ পরমাণু/সেকেণ্ড

$= \dfrac{8{\cdot}81 \times 10^{11}}{10^{6}}$ রাদারফোর্ড

**$= 8{\cdot}81 \times 10^{5}$ রাদারফোর্ড (rd) নেপচুনিয়াম-239**

**উদাহরণ ১০।** একটি আয়োডিন (-127) এর নমুনাতে এক ঘণ্টা-কাল সাইক্লোট্রন উদ্ভূত নিউট্রন সম্পাত করা হইল। ইহার 15 মিনিট পরে আয়োডিন-128 এর 3·5 রাদারফোর্ড সক্রিয়তা পর্যবেক্ষণ করা গেল।

নিউট্রন সম্পাতকালীন আয়োডিন-128 এর জননের হার নির্ণয় কর। ( $T_{1/2}$, I-128 = 25 মিনিট )।

3·5 রাদারফোর্ড $= 3{\cdot}5 \times 10^6$ বিভাজন/সেকেণ্ড

আয়োডিন-128 এর $T_{1/2} = 25$ মিনিট $= 1500$ সেকেণ্ড

$$\therefore \quad \text{বিভাজন-ধ্রুবক} \quad \lambda = \frac{0{\cdot}693}{1{\cdot}5 \times 10^3} = 4{\cdot}62 \times 10^{-4}/\text{সেকেণ্ড}$$

$$\text{এখন} \quad -\frac{dN}{dT} = \lambda N \quad \text{অথবা} \quad 3{\cdot}5 \times 10^6/\text{সেকেণ্ড}$$

$$= (4{\cdot}62 \times 10^{-4})/\text{সে.} \times N$$

$$\text{অথবা} \quad N = \frac{3{\cdot}5 \times 10^6/\text{সে.}}{4{\cdot}62 \times 10^{-4}/\text{সে.}} = 7{\cdot}57 \times 10^9$$

নিউট্রন সম্পাতের অন্তে 15 মিনিট পরে ( 900 সেকেণ্ড ) আয়োডিন-128 এর পরমাণু সংখ্যা $= 7{\cdot}57 \times 10^9$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda T \quad \text{অর্থাৎ} \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda T}$$

$$\text{অর্থাৎ} \quad \frac{7{\cdot}57 \times 10^9}{N_0} = e^{-(4\cdot62 \times 10^{-4})(900)}$$

$$\text{অর্থাৎ} \quad N_0 = \frac{7{\cdot}57 \times 10^9}{e^{-0\cdot4158}} = 7{\cdot}57 \times 10^9 \times e^{0\cdot4158}$$

$$= 1{\cdot}08 \times 10^{10} \text{ পরমাণু}$$

$$\text{আবার,} \quad N = \frac{R}{\lambda}(1 - e^{-\lambda T}), \text{ এখানে } T = 1 \text{ ঘণ্টা} = 3600 \text{ সেকেণ্ড}$$

$$\text{অর্থাৎ } R = \frac{N.\,\lambda}{1 - e^{-\lambda T}} = \frac{(1{\cdot}08 \times 10^{10})(4{\cdot}62 \times 10^{-4})}{1 - e^{-(4\cdot62 \times 10^{-4})(60 \times 60)}}$$

$$= 6{\cdot}56 \times 10^6 \text{ পরমাণু/সেকেণ্ড}$$

∴ আয়োডিন-128 এর প্রজনন হার $= 6{\cdot}56 \times 10^6$ পরমাণু/সেকেণ্ড।

**উদাহরণ ১১।** একটি ইউরেনিয়াম ( প্রকৃতিজ ) পরমাণু-চুল্লীতে 50,000 কিলোগ্রাম প্রকৃতিজ ইউরেনিয়াম আছে যার মধ্যে শতকরা 0·7

ভাগ বিখণ্ডনপ্রবণ ইউরেনিয়াম-235 থাকে। পরমাণু-চুল্লীর নিউট্রন-প্রবাহ $10^{12}$ নিউট্রন প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে প্রতি সেকেণ্ডে এবং ইউরেনিয়াম-235 এর বিখণ্ডন প্রস্থচ্ছেদ $=580$ বার্ন। এক বছরে শেষোক্ত আইসোটোপের কত ভগ্নাংশ দগ্ধ বা ক্ষয়প্রাপ্ত হইবে?

এক বছরে ক্ষয়প্রাপ্ত বা দগ্ধ ইউরেনিয়াম-235 কেন্দ্রক সংখ্যা = এক বছরে বিখণ্ডন প্রাপ্ত ইউরেনিয়াম-235 কেন্দ্রক সংখ্যা।

অতএব, এক বছরে বিখণ্ডন বিক্রিয়া = প্রতি সেকেণ্ডে বিখণ্ডন বিক্রিয়ার গতি $\times 3\cdot15\times10^7$ সে./বছর

$$=V\Sigma_f\phi\times3\cdot15\times10^7=VN_0\sigma_f\phi\times3\cdot15\times10^7$$

এখানে $V=$ বিক্রিয়া মাধ্যমের আয়তন

$\Sigma_f=$ বিখণ্ডন প্রস্থচ্ছেদ

এবং $\phi=$ নিউট্রনপ্রবাহের হার

$N_0=$ প্রারম্ভিক পরমাণু বা কেন্দ্রক সংখ্যা।

ক্ষয়প্রাপ্ত জ্বালানী বা ইউরেনিয়ামের ভগ্নাংশ

$$=\frac{VN_0\sigma_f\phi\times3\cdot15\times10^7}{VN_0}$$

$$=3\cdot15\times10^7\times\sigma_f\times\phi$$

$$=3\cdot15\times10^7\times580\times10^{-24}\times10^{12}$$

$$=1\cdot83\times10^{-2}$$

অতএব বার্ষিক বিখণ্ডন জনিত ক্ষয়ের মাত্রা $=1\cdot83\%$।

## অনুশীলনী

১। রেডিয়ামের ($T_{1/2}=1590$ বছর) বিভাজন 1% এ পরিণত হইতে কত বছর সময় লাগিবে?

২। 1 মিলিগ্রাম সাধারণ ইউরেনিয়ামে ইউরেনিয়াম-I ($T_{1/2}=4\cdot51\times10^9$ বছর) এর সক্রিয়তা নির্ণয় কর।

৩। একটি 1 গ্রাম ইউরেনিয়াম-238 এর প্রাকৃতিক আকরিকের সঙ্গে সাম্যাবস্থায় কত পরিমাণ পোলোনিয়াম-210 থাকিবে? ইউরেনিয়াম-238 ও

পোলোনিয়াম-210 এর অর্ধায়ুষ্কাল যথাক্রমে $4{\cdot}83\times10^{-18}$ সেকেণ্ড$^{-1}$ ও $5{\cdot}75\times10^{-8}$ সেকেণ্ড$^{-1}$।

৪। 46·3 মিলিগ্রাম প্রকৃতিজ পটাসিয়ামের $\beta$-সক্রিয়তা $=1{\cdot}5$ বিভাজন/সেকেণ্ড। ইহাতে পটাসিয়াম-40 এর অনুপাত 0·012%। পটাসিয়াম-40 এর অর্ধায়ুষ্কাল নির্ণয় কর।

৫। বিসমাথ-212 হইতে $\alpha$- ও $\beta$- কণা নিঃসৃত হয়, শতকরা 34 ভাগ $\alpha$- ও 66 ভাগ $\beta$-। একটি সদ্য প্রস্তুত বিসমাথ-212 ( $10^{-6}$ গ্রাম ) হইতে প্রারম্ভিক $\alpha$- ও $\beta$- সক্রিয়তা কত এবং 5 ঘণ্টা পরে এই সক্রিয়তা কত হইবে ?

৬। একটি পরমাণু-চুল্লীতে ফস্‌ফরাস-32 এর প্রজনন হার $5\times10^{10}$ পরমাণু/সেকেণ্ড। এই চুল্লীতে ফস্‌ফরাস-31 কে কতক্ষণ রাখার প্রয়োজন, যাহাতে ইহার সংপৃক্ত সক্রিয়তার 90% ভাগ তেজস্ক্রিয়তা থাকে ? ফস্‌ফরাস-32 এর অর্ধায়ুষ্কাল 14·5 দিন।

৭। একটি সমৃদ্ধ ইউরেনিয়াম মিশ্রণে শতকরা 5 ভাগ ইউরেনিয়াম-235 পরমাণু আছে। ইহার থার্মাল বিখণ্ডন-প্রস্থচ্ছেদ নির্ণয় কর।

৮। একটি 2 বর্গ-সেণ্টিমিটার ও $10^{-3}$ মিলিমিটার ঘন ইণ্ডিয়াম পাতকে ধ্রুবক শক্তিবিশিষ্ট নিউট্রন রশ্মি দ্বারা বিকীর্ণ করা হইল। নিউট্রন-প্রবাহের হার প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে $5\times10^{9}$ নিউট্রন এবং বৃহত্তর শোষণ প্রস্থচ্ছেদ 190 বার্ন। 3 মিনিট নিউট্রন সম্পাতে উপরোক্ত ইণ্ডিয়াম পাত কতকগুলি নিউট্রন শোষণ করিবে ?

৯। একটি পরমাণু-চুল্লীতে প্রারম্ভিক জ্বালানীর পরিমাণ 2500 গ্রাম ইউরেনিয়াম-235। যদি গড়ে থার্মাল নিউট্রনপ্রবাহের মাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে $4\times10^{12}$ নিউট্রন হয়, তবে কত সময়ে 5 গ্রাম জ্বালানী সম্পূর্ণরূপে দগ্ধ হইবে ?

১০। 1·5 বর্গ-সেণ্টিমিটার ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট ও প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে 300-মিলিগ্রাম ঘনত্ববিশিষ্ট একটি সোনার পাত ( গোল্ড-197 ) 1 ঘণ্টাকাল ব্যাপী প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে $10^{12}$ নিউট্রন দ্বারা বিকীর্ণ করা হইল। পরবর্তী পরীক্ষায় দেখা গেল উক্ত প্রক্রিয়ায় $49\times10^{13}$ গোল্ড-198 সৃষ্ট হইয়াছে। গোল্ড-197 এর নিউট্রন-প্রস্থচ্ছেদ গণনা কর।

১১। 1 ওয়াট শক্তি উৎপন্ন করিতে ইউরেনিয়াম-235 এর বিখণ্ডন হার কত হওয়া উচিত? প্রতি বিখণ্ডনে 200 Mev শক্তি উদ্ভূত হয়। 1 কিলোগ্রাম ইউরেনিয়াম-235 সম্পূর্ণ বিখণ্ডিত হইলে কত মেগাওয়াট শক্তি উৎপন্ন হইবে? ( $1\ \text{Mev.} = 1{\cdot}6 \times 10^{-6}$ erg; 1 মেগাওয়াট = 1 জুল (joule)/সেকেণ্ড )।

১২। একটি ইউরেনিয়াম মিশ্রণে ইউরেনিয়াম-235 ও ইউরেনিয়াম-238 এর অনুপাত 1 : 10 হইলে বিখণ্ডনজাত প্রতি নিউট্রনে কতকগুলি নিউট্রন উক্ত সিস্টেমে শোষিত হইবে?

১৩। 10 মিলিগ্রাম অ্যালুমিনিয়াম পাত 30 মিনিটকাল প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে $5 \times 10^{11}$ নিউট্রনপ্রবাহ দ্বারা বিকীর্ণ করা হইল। গণনা-যন্ত্রে পরিমাপ করার আগে নমুনাটিকে কতক্ষণ "শীতল" করার প্রয়োজন, যাহাতে উহার সক্রিয় আইসোটোপের সক্রিয়তা প্রতি মিনিটে 1 বিভাজনের অপেক্ষা কম হয়?

১৪। একটি অ্যালুমিনিয়াম সংকর ধাতুতে নিম্নলিখিত উপাদান আছে—শতকরা 0·30 ভাগ Cu, 0·30 ভাগ Mn, 0·59 ভাগ Ni ও 0·0053 ভাগ Co। 10 মিলিগ্রাম নমুনাতে পৃথক্ পৃথক্ ভাবে কতক্ষণ নিউট্রন সম্পাতের প্রয়োজন যাহাতে উক্ত ধাতুগুলি নির্ণয় করা সম্ভব হয়? 7 দিন শীতল করার পর সক্রিয়তা প্রতি মিনিটে 10,000 বিভাজন হওয়া বাঞ্ছনীয়। নিউট্রনপ্রবাহ = প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে $5 \times 10^{11}$ নিউট্রন।

১৫। 50 মিলিলিটার মাপক কুপীতে 10 মিলিলিটার ক্লোরাইড দ্রবণ লও এবং সিলভার-110 যুক্ত 10 মিলিমিটার 0·044 N সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ দ্বারা অধঃক্ষেপণ কর। অধঃক্ষেপ তঞ্চনের (coagulation) পর মাপক-কুপীতে দ্রবণ মাত্রা পর্যন্ত ভর্তি কর এবং ভালোভাবে মিশিয়ে দাও। স্বচ্ছ দ্রবণ হইতে 20 মিলিলিটার অংশ লইয়া পরিস্রাবণ বা অপকেন্দ্রণের পর সক্রিয়তা-গণনা করিলে মিনিটে 924 বিভাজন দেখা যায়। প্রমাণ সিলভার দ্রবণের 5 মিলিলিটার 20 মিলিলিটার পর্যন্ত লঘুকরণ (dilution) করিলে মিনিটে 7555 বিভাজন পাওয়া যায়। পটভূমির সক্রিয়তা (background activity) = 100 বিভাজন/মিনিট। অজ্ঞাত দ্রবণটির ক্লোরাইড আয়নের গাঢ়তা হিসাব কর।

১৬। 10 মিলিগ্রাম $BaSO_4$ অধঃক্ষেপের মধ্যে 0·1 মাইক্রোকুরী S–35 আছে। অধঃক্ষেপটির কত ভগ্নাংশের মধ্যে S–35 আছে?

১৭। এক অশোধিত বেনজোয়িক অ্যাসিড-বেনজোয়েট মিশ্রণের মধ্যে 40 মিলিগ্রাম C-14 চিহ্নিত বেনজোয়িক অ্যাসিড যোগ করা হইল (সক্রিয়তা = 2000 বিভাজন/মিনিট)। মিশ্রণটিকে সাম্যাবস্থায় আনার পর অম্লযুক্ত করা হইল এবং এক অমিশ্রণীয় দ্রাবকের দ্বারা নিষ্কাশন করা হইল। নিষ্কাশিত কঠিন পদার্থকে পুনঃকেলাসন পদ্ধতিতে শোধন করার পর ধ্রুবক গলনাঙ্ক দেখা গেল। এই শুদ্ধ যৌগিক পদার্থের ওজন 60 মিলিগ্রাম এবং সক্রিয়তা 500 বিভাজন/মিনিট। অশোধিত মিশ্রণে বেনজোয়িক অ্যাসিডের পরিমাণ হিসাব কর।

১৮। একটি প্রস্তরখণ্ডে $1 \times 10^{-6}$ মিলিলিটার হিলিয়াম (প্রমাণ তাপ ও চাপে) এবং প্রতি গ্রাম নমুনায় $10^{-8}$ গ্রাম ইউরেনিয়াম পাওয়া গেল। প্রস্তরখণ্ডটির বয়স গণনা কর। পদ্ধতিটির নির্ভুলতা সম্বন্ধে মন্তব্য কর।

১৯। 0·1000 গ্রাম AgBr অধঃক্ষেপে 1 মিলিকুরী Br-82 আছে। AgBr এর দ্রাব্যতা গুণফল = $7 \cdot 4 \times 10^{-13}$। 10 মিলিলিটার AgBr এর সম্পৃক্ত দ্রবণে সক্রিয়তা নির্ণয় কর। (Br-82-এর অর্ধায়ুষ্কাল = 34 ঘণ্টা)।

২০। $148 \cdot 8 \times 10^6$ কিলোমিটার দূরত্ব হইতে সূর্যকিরণ ভূপৃষ্ঠে প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে 0·135 জুল (Joule) তাপ বিকীর্ণ করে। সৌরশক্তির উৎস হিসাবে ধরা যায় H → He রূপান্তর। কী হারে হাইড্রোজেন দগ্ধ হইতেছে (গ্রাম পরমাণু/সেকেণ্ড)?

### প্রাসঙ্গিক গ্রন্থ, প্রবন্ধাদি :

1. G. Friedlander, J. W. Kennedy and J. M. Miller—"Nuclear & Radiochemistry", 2nd ed., Wiley, N. Y. (1964)

2. R. E. Lapp and H. L. Andrews—"Nuclear Radiation Physics", 2nd ed., Prentice-Hall, N. Y. (1954)

3. G. R. Choppin—"Experimental Nuclear Chemistry", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. (1961)

4. W. S. Lyon, Jr. (ed.)—"Guide to Activation Analysis". Van. Nostrand, Princeton, N. J. (1964)

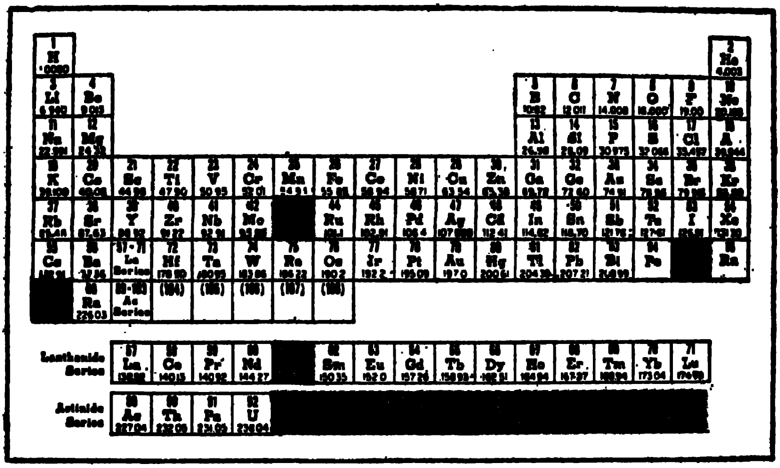
5. S. E. Liverhant—"Elementary Introduction to Nuclear Reactor Physics", Wiley, N. Y (1960)

6. R. T. Overman and H. M. Clark—"Radioisotope Techniques", McGraw Hill, N. Y. (1959)

7. H. H. Willard, L. L. Merritt, Jr. and J. A. Dean—"Instrumental Methods of Analysis", Van Nostrand, Princeton, N. J., 4th ed. (1965)

# ৩। নিরুদ্দেশ মৌলগুলি
## ( The Missing Elements )

পর্যায়-সারণীর মৌল 1 ( হাইড্রোজেন ) ও মৌল 92 ( ইউরেনিয়াম ) এর মধ্যে বহুকাল যাবৎ চারটি শূন্যস্থান ছিল—মৌল 43, 61, 85 ও 87-এর জন্য। প্রাকৃতিক আকরিকে ইহাদের অস্তিত্ব সন্দেহজনক ছিল এবং পর্যায়-সারণীতে নির্দিষ্ট স্থান থাকা সত্ত্বেও ইহাদের পরিচয় অজ্ঞাত ছিল। দীর্ঘকাল




চিত্র 3.1 : পর্যায়-সারণীতে নিরুদ্দেশ মৌলগুলির অবস্থান।

ইহাদের অনুসন্ধান চলিল। শেষে বিংশ শতাব্দীর চতুর্থ দশকে ইহারা একে একে আবিষ্কৃত হইল কৃত্রিম মৌল (Synthetic elements) হিসাবে গবেষণাগারে। ইহারা প্রত্যেকেই তেজস্ক্রিয়।

### ৩.১ মৌল 43 : টেকনিসিয়াম (Technetium)

ইতালীর পদার্থবিজ্ঞানী সেগ্রে ও পেরিয়ের (E. Se'gre' and C. Perrier) 1937 সালে প্রথম মৌল 43 আবিষ্কার করিয়াছিলেন। ক্যালি-ফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ে একটি মলিবডেনাম লক্ষ্যবস্তুকে ডয়টারন রশ্মি দ্বারা আক্রান্ত করার পর সেগ্রে ও পেরিয়ারের কাছে পাঠানো হইল। তাঁহারা ইহা

হইতে এক রাসায়নিক অংশ পৃথক্ করিলেন যাহার ধর্ম অন্যান্য মৌল হইতে স্বতন্ত্র।

$$^{96}_{42}Mo + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{97}_{43}Tc + ^{1}_{0}n$$

ইহার রাসায়নিক ধর্ম সপ্তম শ্রেণীর (group VII) রেনিয়ামের অনুরূপ কিন্তু ইহার পূর্ববর্তী মৌল ম্যাঙ্গানিজের সঙ্গে সাদৃশ্য কম। সেগ্রে ইহার নাম দিলেন **টেক্নিসিয়াম (Tc)** ( গ্রীক শব্দ **technikos = কৃত্রিম** )।

উক্ত কেন্দ্রক বিক্রিয়াজ টেক্নিসিয়ামের অর্ধায়ুষ্কাল 93 দিন এবং $\beta$-তেজস্ক্রিয়তা আছে। আরও কয়েকটি আইসোটোপ পরে প্রস্তুত হইয়াছে। তাহাদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য $^{99}Tc$ যাহার অর্ধায়ুষ্কাল $9.4 \times 10^5$ বছর।

পারমাণবিক বিখণ্ডনের (fission) উপজাত মৌলদের অন্যতম টেক্নিসিয়াম ( উৎপাদন মাত্রা = 6.2% )। ইহাই বর্তমানে টেক্নিসিয়ামের প্রধান উৎস। বিখণ্ডন-উপজাত মৌলদের সংমিশ্রণ হইতে প্লুটোনিয়াম ও ইউরেনিয়াম পৃথকীকরণের পর পারক্লোরেট আয়ন ($ClO_4^-$) বাহকের সাহায্যে টেট্রাফিনাইল আর্সোনিয়াম পারটেক্নেটেট রূপে $(C_6H_5)_4AsTcO_4$ অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। অধঃক্ষেপটিকে অ্যালকোহলে দ্রবীভূত করার পর দ্রবণকে অ্যানায়ন বিনিময়কারী রজনের ভিতর দিয়া চালনা করা হয়। পারটেক্নেটেট আয়ন অধিশোধিত (absorbed) হইবার পর 2N পারক্লোরিক অ্যাসিড দ্বারা রজন-স্তম্ভ (resin column) হইতে অপসারিত করা হয়। শেষে পারক্লোরিক অ্যাসিড দ্রবণ হইতে পাতিত করা (distilled) হয়। দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতি (solvent extraction) দ্বারা ( মিথাইল ইথাইল কিটোন দ্রাবক ) টেক্নিসিয়াম শোধন সম্ভবপর। 1 গ্রাম ইউরেনিয়াম-235 কে বিখণ্ডিত করিলে 26 মিলিগ্রাম টেক্নিসিয়াম ($^{99}Tc$) উৎপন্ন করা যায়।

আর একটি প্রস্তুত পদ্ধতি হইল মলিব্‌ডেনামকে পরমাণুচুল্লী-নিঃসৃত নিউট্রনপ্রবাহে অবগাহন করা—

$$^{98}Mo \xrightarrow{n} {^{99}Mo} \xrightarrow[67\ \text{ঘণ্টা}]{\beta} {^{99}Tc} \xrightarrow[T_{1/2} = 9.4 \times 10^5\ \text{বছর}]{\beta} {^{99}Ru}\ (\text{স্থায়ী})$$

জলীয় দ্রবণে অপরাধর্মী আয়ন $TcO_4^-$ এর তুলনা করা যায় $MnO_4^-$ ( পারম্যাঙ্গানেট ) আয়নের সঙ্গে। উভয়েই বেগুনী রঙের। জলীয় দ্রবণে টেক্নিসিয়ামের জারণস্তর III, IV, VI ও VII দেখা যায়। ইহাদের

মধ্যে IV ও VII স্তর সাধারণ ও স্থায়ী। বিজারণ-বিভবের (Reduction potential) মান অনুরূপ রেনিয়ামের আয়নের সঙ্গে তুলনীয়।

$$TcO_4^- \xrightarrow{0.65} TcO_3 \xrightarrow{0.83} TcO_2 \xrightarrow{0.281} Tc$$

$$TcO_4^- \xrightarrow{0.738} TcO_2 \qquad TcO_4^- \xrightarrow{0.477} Tc$$

$$ReO_4^- \xrightarrow{0.72} ReO_3 \xrightarrow{0.40} ReO_2 \xrightarrow{0.260} Re$$

$$ReO_4^- \xrightarrow{0.510} ReO_2 \qquad ReO_4^- \xrightarrow{0.367} Re$$

বিভবের একক = ভোল্ট (Volt vs. Normal Hydrogen Electrode)

$TcO_4^-$ (পারটেক্‌নেটেট) ও $ReO_4^-$ (পাররেনেট) কেলাসে ও দ্রবণে উভয়ের আকার টেট্রাহেড্রাল (tetrahedral)। $MnO_4^-$ এর ন্যায় ইহারা ক্ষারীয় দ্রবণে অস্থায়ী নহে এবং তুলনামূলক ভাবে ইহারা $MnO_4^-$ অপেক্ষা কম শক্তিশালী জারক। অ্যাসিড দ্রবণে ইহাদের জৈব দ্রাবকের (ট্রাইবিউটাইল ফস্‌ফেট) সাহায্যে নিষ্কাশিত করা যায়।

প্রাকৃতিক আকরিকে টেক্‌নিসিয়ামের সন্ধান পাওয়া যায় নাই, কারণ ইহার সম্ভাব্য আইসোটোপগুলির অর্ধায়ুষ্কাল অতি অল্প। দুইটি সম্ভাব্য উৎস: (১) ইউরেনিয়াম-238 আকরিকে স্বতঃবিখণ্ডন (spontaneous fission)—যাহা অতি বিরল ঘটনা; (২) মলিব্‌ডেনামের উপর প্রকৃতিজ বিক্ষিপ্ত নিউট্রনের বিক্রিয়া। এই দুইটি বিক্রিয়া ঘটিলেও টেক্‌নিসিয়ামের উৎপাদন মাত্রা হইবে অতি নগণ্য (প্রতি গ্রাম ইউরেনিয়াম $10^{-12}$ গ্রাম টেক্‌নিসিয়াম)।

### ৩.২ মৌল 61: প্রমিথিয়াম (Promethium, Pm)

বিংশ শতাব্দীর তৃতীয় দশকে বিরলমৃত্তিক মৌল শ্রেণী (Rare earths) বা ল্যান্‌থানাইড শ্রেণীকে (Lanthanide series) পর্যায়-সারণীতে অন্তর্ভুক্ত করার সময় একটি শূন্যস্থান পর্যবেক্ষণ করা গেল—তাহা হইল মৌল 61-এর

স্থান। ইহা নিওডিমিয়াম ( মৌল 60 ) ও স্যামারিয়াম ( মৌল 62 ) এর অন্তর্বর্তী মৌল। এই নিরুদ্দিষ্ট বিরলমৃত্তিক মৌলের জন্য ব্যাপক অনুসন্ধান চলিল উক্ত মৌল শ্রেণীর আকরিকগুলির মধ্যে। কিন্তু সেই সময়ে দুস্তর বাধা ছিল এই মৌলশ্রেণীর মৌলগুলির পারস্পরিক পৃথকীকরণের। সুযোগ মিলিল দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের সময়ে আয়ন-বিনিময়-প্রযুক্তি (Ion exchange technique) উদ্ভাবনের পরে।

1945 সালে আমেরিকার ওক রিজ্ জাতীয় গবেষণাগারে (Oak Ridge national laboratory) ম্যারিন্স্কি, গ্লেণ্ডেনিন ও করিয়েল **(Marinsky, Glendenin** and **Coryell)** সর্বপ্রথম চূড়ান্তভাবে প্রমিথিয়াম আবিষ্কার ও সনাক্তকরণ করিলেন। ইউরেনিয়াম-বিখণ্ডনের উপজাত মৌল সংমিশ্রণের (Fission product) অন্যতম প্রধান উপাদান মৌল 61 ( উৎপাদন মাত্রা $= 2{\cdot}6\%$ )। ইহার সহজাত বিরলমৃত্তিক মৌল ছিল ল্যান্থানাম, ইট্রিয়াম, সিরিয়াম, প্রেজিওডিমিয়াম ও নিওডিমিয়াম (Lanthanum, Cerium, Praseodymium, Neodymium)। সিরিয়ামকে অপসারিত করা হইল আওডেট্ অধঃক্ষেপ ($Ce(IO_3)_4$) হিসাবে। পরে ইট্রিয়াম, স্যামারিয়াম ও ইউরোপিয়ামকে পটাশ কার্বনেট দ্রবণে উত্তপ্ত করা হইল। প্রাপ্ত অবশিষ্টাংশ ( অদ্রবণীয় ) ল্যান্থানাম বাহকের সহিত মিশ্রিত করিয়া দ্রবীভূত করা হইল এবং পরাধর্মী আয়ন-বিনিময় রজন-স্তম্ভে (Cation exchange resin column) স্থানান্তরিত ও অধিশোষিত করা হইল। শেষে অ্যামোনিয়াম সাইট্রেট (Ammonium citrate) দ্রবণের সাহায্যে (pH $2{\cdot}75$) পৃথকীকরণ সম্পন্ন হইয়াছিল। রজনস্তম্ভ হইতে নিঃসৃত মৌলগুলির ক্রম হইল : ইট্রিয়াম $>$ মৌল 61 $>$ নিওডিমিয়াম $>$ প্রেজিওডিমিয়াম। গ্রীক পুরাতত্ত্বের প্রমিথিয়াস (Prometheus) দেবতাগণের নিকট হইতে অগ্নি অপহরণ করিয়া মানুষকে দান করিয়াছিলেন। তাঁহার নামকরণ অনুযায়ী মানুষের নবাবিষ্কৃত পারমাণবিক শক্তির উপজাত মৌলটি আখ্যাত হইল প্রমিথিয়াম **(Promethium)**।

প্রমিথিয়াম উৎপাদনের বিকল্প পদ্ধতি উদ্ভাবন করিলেন কেটেল ও বয়েড **(Ketelle and Boyd)** ওক রিজ্ জাতীয় গবেষণাগারে নিওডিমিয়াম-নিউট্রন কেন্দ্রক বিক্রিয়া দ্বারা। এই পদ্ধতিতে তাঁহারা কয়েক মিলিগ্রাম শুদ্ধ প্রমিথিয়াম ($^{147}$Pm) ( অর্ধায়ুষ্কাল, $2{\cdot}64$ বছর ) প্রস্তুত করিয়াছিলেন। প্রমিথিয়ামের মোট এগারোটি আইসোটোপ প্রস্তুত হইয়াছে($^{141}$Pm – $^{151}$Pm) —ইহাদের মধ্যে $^{147}$ Pm সর্বাপেক্ষা দীর্ঘজীবী ( অর্ধায়ুষ্কাল, $2{\cdot}6$ বছর )।

প্রমিথিয়ামের রসায়ন চর্চা খুবই সীমিত। তবে ইহা সুবিদিত যে, $Pm^{3+}$ সাধারণ ও স্থায়ী আয়ন এবং নিওডিমিয়ামের সঙ্গে ইহার বহুল সাদৃশ্য আছে।

**৩.৩ মৌল 85 : অ্যাস্টাটাইন (Astatine, At)**

1940 সালে কর্সন, ম্যাকেঞ্জি ও সেগ্রে (Corson, Mckenzie and Se'gre') বিসমাথের সহিত আলফা কণার কেন্দ্রক বিক্রিয়া দ্বারা—

$^{209}Bi\ (\alpha, 2n)^{211}\ At$—অ্যাস্টাটাইন উৎপন্ন করিলেন।

$$^{209}_{83}Bi + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{211}_{85}At + 2\ ^{1}_{0}n$$

এই মৌল আলফা কণা ও গামা রশ্মি বিকীর্ণ করে এবং ইহার অর্ধায়ুষ্কাল 7·23 ঘণ্টা।

প্রস্তুত পদ্ধতি এইরূপ। বিসমাথ লক্ষ্যবস্তুকে (target) কেন্দ্রক বিক্রিয়া সমাধা হইবার পর প্রথমে গলিত করা হয়; পরে ইহাকে শূন্য-বাষ্পীভবন (Volatilization in vacuum) এবং ঘনীভবন করা হয়, যাহা হইতে ঊর্ধ্ব-পাতিত করিয়া শোধন করা হয়। শেষে নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করিয়া পাতিত জলে (distilled water) ধৌত করিয়া উপযুক্ত কাচের বোতলে সংরক্ষিত করা হয়।

আবিষ্কারকেরা গ্রীক শব্দ "অ্যাস্টাটাইন" (অস্থায়ী) হইতে চয়ন করিয়া নূতন মৌলের নামকরণ করিলেন। ইহা হ্যালোজেন (Halogen) পরিবারের সদৃশ। অ্যাস্টাটাইনের উগ্র আলফা সক্রিয়তার জন্য অত্যন্ত লঘুকৃত দ্রবণ ($10^{-11} - 10^{-15}$ molar) ব্যবহার করা অবশ্য প্রয়োজনীয়। 1 মোলার দ্রবণ হইতে প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি মিলিলিটারে $1{\cdot}54 \times 10^{16}$ আলফা কণা বিকীর্ণ হয় যাহার ফলে জলের তেজস্ক্রিয় বিয়োজন (Radiolysis) সুরু হয়। ট্রেসার প্রযুক্তি দ্বারা অ্যাস্টাটাইনের দ্রবণ রসায়ন অনুধাবন করা হইয়াছিল।

অ্যাস্টাটাইনের প্রায় 19টি আইসোটোপ আছে ($^{202}At - ^{219}At$)। ইহাদের অধিকাংশই $Bi(\alpha, n)$ বিক্রিয়া হইতে উদ্ভূত। **$^{211}At$ এর আলফা-বর্ণালী (alpha spectrum) অ্যাস্টাটাইন সনাক্তকরণের মানদণ্ড।** ইহার শতকরা 40 ভাগ বিয়োজনে 5·86 Mev আলফা কণা ($^{211}At \rightarrow ^{207}Pb$) এবং শতকরা 60 ভাগ বিয়োজনে 7·43 Mev আলফা কণা ($^{211}At \xrightarrow{\beta} ^{211}Po$) বিশিষ্ট প্রতীক।

হ্যালোজেন মৌলগুলির সঙ্গে অ্যাস্টাটাইনের সাদৃশ্য আছে। সাধারণ তাপে কাচের পৃষ্ঠ হইতে ইহা উদ্বায়ী (volatile) কিন্তু রৌপ্যের পৃষ্ঠে ইহা

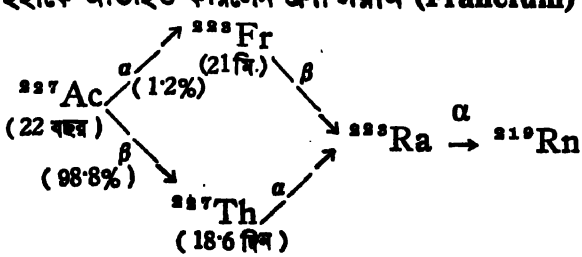
দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। আয়োডিনের মতো ইহাকেও অ্যাসিড দ্রবণ হইতে জৈব দ্রাবকে ( ঈথার, বেন্‌জিন ইত্যাদি ) নিষ্কাশিত করা যায়। আলফা সক্রিয়তা পরিমাপ করিয়া জল ও জৈব দ্রাবকে বণ্টন অনুপাত (Distribution ratio) নির্ণয় করা যায়। 8 মোলার হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দ্রবণ হইতে শতকরা 90 ভাগ অ্যাস্টাটাইন ঈথারে নিষ্কাশিত হয় সম্ভবতঃ $AtCl_2^-$ অথবা $AtCl_4^-$ রূপে ( $ICl_2^-$ বা $ICl_4^-$ এর সঙ্গে তুলনীয় )।

অ্যাস্টাটাইনের তিনটি জারণ স্তর—I, VI ও VII। অ্যাসিড দ্রবণে জিঙ্ক অথবা সালফার ডাই-অক্সাইড দ্বারা বিজারিত হইয়া $At^{-1}$ উৎপন্ন হয় ( অ্যাস্টাটাইড )—তড়িৎ বিশ্লেষণ করিলে ইহা পরাধর্মী তড়িৎ-দ্বারে (Anode) উপনীত হয়। সিলভার আয়োডাইড যৌগের সংমিশ্রণে ইহা সহাধঃক্ষিপ্ত হয়। আরও তীব্র জারক, পটাশ পেরোক্সি ডাই-সালফেট বা হাইপোক্লোরাস অ্যাসিড সহযোগে $AtO_3^-$ উৎপন্ন হয়। ইহা সিলভার আয়োডেট দ্বারা সহাধঃক্ষিপ্ত হয়।

চিকিৎসাবিজ্ঞানে তেজস্ক্রিয় আয়োডিনের চেয়ে অ্যাস্টাটাইনের উৎকর্ষ প্রমাণিত হইয়াছে থাইরয়েড গ্রন্থি চিকিৎসা ইত্যাদিতে।

### ৩.৪ মৌল 87 : ফ্রান্সিয়াম (Francium, Fr)

প্রাকৃতিক আকরিক হইতে ক্ষার ধাতু গোষ্ঠীর সবচেয়ে ভারী মৌলের অনুসন্ধানের প্রয়াস ব্যর্থ হইয়াছিল। তখন রেডিয়ামের তেজস্ক্রিয় বিয়োজন শ্রেণীর মধ্যে ইহার অনুসন্ধানের চেষ্টা চলিল। অ্যাক্টিনিয়াম শ্রেণীর মধ্যে ফরাসীদেশের পেরে (M. Perey) পর্যবেক্ষণ করিলেন যে, অ্যাক্টিনিয়াম-227 হইতে আলফা ও বিটা বিকিরণ উভয়ই ঘটে—শতকরা 1·2 ভাগ আলফা-বিয়োজন ($\alpha$-decay) এবং 98·8 ভাগ বিটা-বিয়োজন ($\beta$-decay)। আলফা-বিয়োজনে উপজাত হয় মৌল 87 যাহার অর্ধায়ুষ্কাল 21 মিনিট এবং $\beta$-রশ্মি সক্রিয়তা আছে। পেরে তেজস্ক্রিয় রাসায়নিক পৃথকীকরণ পদ্ধতি (Radiochemical separation procedure) দ্বারা মৌল $^{223}_{87}Fr$ উৎপন্ন করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন। তিনি স্বদেশের নাম অনুযায়ী ইহাকে অভিহিত করিলেন ফ্রান্সিয়াম (Francium)।



রেডিয়ামের তেজস্ক্রিয় শ্রেণীতে অ্যাক্টিনিয়ামের নিষ্কাশন কষ্টসাধ্য তাই বর্তমানে রেডিয়াম—নিউট্রন বিক্রিয়া দ্বারা ইহা উৎপাদন করা হয়।

$$^{226}Ra \xrightarrow{n,\gamma} {}^{227}Ra \xrightarrow{\beta} {}^{227}Ac$$

এইভাবে প্রস্তুত অ্যাক্টিনিয়াম দ্রবণে ফ্রান্সিয়াম সঞ্চিত হয় এবং ইহাকে প্রত্যক্ষভাবে ট্রেসার পরীক্ষা নিয়োগ করা যায়। উক্ত দ্রবণে সিরিয়াম ডাই-অক্সাইড, লেড্ সালফাইড বা বেরিয়াম কার্বনেট দ্বারা অধঃক্ষেপণ করিলে 21 মিনিট অর্ধায়ুষ্কাল বিশিষ্ট তেজস্ক্রিয় অংশটি বাহিত হয় না। পরের পর্যায়ে এই দ্রবণে দ্রবণীয় রুবিডিয়াম (Rubidium) বা সিজিয়াম (Caesium) লবণ যোগ করা হয় এবং পরে অদ্রবণীয় পারক্লোরেট, পিক্রেট, হেক্সাক্লোরোপ্লাটিনেট, ক্লোরোবিস্‌মুথেট বা ক্লোরোস্টানেট হিসাবে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। শেষোক্ত অধঃক্ষেপে প্রায় সমস্ত ফ্রান্সিয়ামের অংশ বাহিত হয়। ইহা দ্বারা ফ্রান্সিয়ামের সহিত ক্ষার মৌলগোষ্ঠীর সাদৃশ্য প্রমাণিত হইয়াছে।

**ফ্রান্সিয়ামের আবিষ্কর্ত্রী শ্রীমতী পেরের ডক্টরেট নিবন্ধে মৌলটির রসায়ন প্রায় সম্পূর্ণ উদ্‌ঘাটিত হইয়াছিল (1946 সালে)।** পরে তিনি 1953 সালে কাগজ বর্ণলেখী বিশ্লেষণ (Paper Chromatography) প্রযুক্তির সাহায্যে বাহক-মুক্ত (carrier-free) অবস্থায় ফ্রান্সিয়াম প্রস্তুত পদ্ধতি উদ্ভাবন করিয়াছিলেন।

**প্রাসঙ্গিক গ্রন্থ, প্রবন্ধাদি :**

1. E. K. Hyde—Journal of Chemical Education, *36*, 15-21 (1959)

2. G. T. Seaborg and I. Perlman—Scientific American, April, 1950

3. F. A. Cotton and G. Wilkinson—"Advanced Inorganic Chemistry", 2nd ed., Wiley, N. Y. (1966)

# ৪। পরিভাষা
## ( Nomenclature )

এই পুস্তকের বিষয়বস্তু সম্যক হৃদয়ঙ্গম করিতে হইলে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ পরিভাষা ব্যাখ্যা করা দরকার। স্নাতকোত্তর পর্যায়ে ইহার বাহুল্য থাকিলেও এই সঙ্কলনের প্রয়োজনীয়তা ছাত্র-ছাত্রীদের কাছে অপরিসীম।

(ক) **পরমাণু ক্রমাঙ্ক (Atomic Number) :** প্রত্যেক মৌলিক পদার্থের পরমাণুর কেন্দ্রকে প্রোটনের সংখ্যা দ্বারা পরমাণু ক্রমাঙ্ক নির্ণীত হয়। এই সংখ্যা পর্যায়-সারণীতে মৌল পদার্থের স্থান নির্দেশ করে। ইউরেনিয়ামের পরমাণু ক্রমাঙ্ক 92 অর্থাৎ ইউরেনিয়ামের পরমাণুর কেন্দ্রকে 92টি প্রোটন থাকে। কেন্দ্রকের আধান 92+ এবং পর্যায়-সারণীতে ইউরেনিয়ামের স্থান 92তম। এই পরমাণু ক্রমাঙ্কই মৌলের নির্দিষ্ট পরিচয়।

(খ) **পরমাণু ভরসংখ্যা (Mass Number) :** পরমাণুর প্রোটন, নিউট্রন ও ইলেকট্রনের ভর সমষ্টি পরমাণু ভরসংখ্যা। ইহা প্রায় পারমাণবিক গুরুত্বের সমান। দৃষ্টান্তস্বরূপ, He (হিলিয়াম) এর 2টি ইলেকট্রন এবং কেন্দ্রকে 2টি প্রোটন ও 2টি নিউট্রন আছে। অতএব, হিলিয়ামের ভরসংখ্যা $= 2 \times 0\cdot0005486 + 2 \times 1\cdot00758 + 2 \times 1\cdot00893 = 4\cdot0311$। ভরসংখ্যার একক (atomic mass unit বা a. m. u.) $= 1\cdot661 \times 10^{-24}$ গ্রাম।

(গ) **পারমাণবিক গুরুত্ব (Atomic Weight) :** মৌলের একটি পরমাণু হাইড্রোজেন পরমাণুর তুলনায় কতগুণ ভারী তাহাকে উক্ত মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব বলা হয়। অর্থাৎ পাঃ গুরুত্ব একটি অনুপাত। ইউরেনিয়ামের পাঃ গুরুত্ব 238 বলিতে বোঝায়, ইউরেনিয়ামের একটি পরমাণু হাইড্রোজেন পরমাণুর চেয়ে 238 গুণ ভারী। ইহার কেন্দ্রকে 92টি প্রোটন ও 146টি নিউট্রন থাকে। পাঃ গুরুত্বের একক $^{12}C = 12\cdot0000$।

পারমাণবিক গুরুত্ব ও পরমাণু ভরসংখ্যা প্রায় সমান (স্থূল হিসাবে)। হিলিয়ামের পরমাণু ভরসংখ্যা $= 4\cdot0311$ এবং পাঃ গুরুত্ব $= 4\cdot0000$।

(ঘ) **কেন্দ্রক (Nucleus) :** পরমাণুর অন্তঃপুরে কেন্দ্রকের অবস্থান। পরমাণু ভর কেন্দ্রকে কেন্দ্রীভূত—ইহা প্রোটন-নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত।

কেন্দ্রকের ব্যাস $10^{-13}-10^{-12}$ সেণ্টিমিটার এবং পরমাণুর 99·95% ভর ইহাতে ন্যস্ত। পরমাণুর ভৌত ধর্ম কেন্দ্রকের উপর নির্ভরশীল।

(ঙ) **ইলেকট্রন (Electron)**—( সঙ্কেত $e^-$, $\beta^-$ ) : ইলেকট্রন কেন্দ্রকের চারিপাশে নির্দিষ্ট স্তরে (Shell) বা অনুস্তরে (Sub-shell) প্রদক্ষিণ করে। পরমাণুর রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া ইলেকট্রনবিন্যাসের উপর নির্ভরশীল। ইহা পরমাণুর অন্যতম প্রধান মৌল কণা ; ভর $=0{\cdot}0005486$ a. m. u. $=9{\cdot}1091\times10^{-28}$ গ্রাম ; আধান $=-1$ ( একক $=4{\cdot}8030\times10^{-10}$ e. s. u. [ ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক ইউনিট ] )

(চ) **প্রোটন (Proton)**—সঙ্কেত $^1H$ বা P : ইহা কেন্দ্রকের অন্যতম প্রধান মৌল কণা—মূলতঃ হাইড্রোজেন পরমাণুর কেন্দ্রক। ভর $=1{\cdot}008123$ ; a. m. u. $=1{\cdot}6725\times10^{-24}$ গ্রাম ; আধান $=+1$ ( বা $+4{\cdot}8030\times10^{-10}$ e. s. u. )

(ছ) **নিউট্রন (Neutron)**—সঙ্কেত n : কেন্দ্রকের অন্যতম প্রধান মৌল কণা ; ভর $=1{\cdot}00893$ a. m. u. ; আধান $=0$। অর্থাৎ নিউট্রন তড়িতাধান শূন্য নিরপেক্ষ মৌল কণা। কেন্দ্রক বিক্রিয়ায় ইহা ক্ষেপণক কণা হিসাবে বিশেষ কার্যকরী।

(জ) **পজিট্রন (Positron)**—সঙ্কেত $e^+$, $\beta^+$ : ইহা কেন্দ্রকের অস্থায়ী মৌল কণা ; ইলেকট্রনের বিপরীতধর্মী ; ভর $=0{\cdot}0005486$ a. m. u ; আধান $=+1$।

(ঝ) **নিউট্রিনো (Neutrino)**—সঙ্কেত ν : ইহাও অস্থায়ী মৌল কণা ; ভর $=<0{\cdot}00002$ a. m. u. ; আধান $=0$। অর্থাৎ ইহা নিউট্রনের মতো নিরপেক্ষ কণা কিন্তু ভর ইলেকট্রনের চেয়ে কম। নিউট্রনের বিভাজনে নিউট্রিনোর সৃষ্টি হয়।

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{0}_{-1}e + \nu$$

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য নিউট্রনের অর্ধায়ুষ্কাল 750 সেকেণ্ড।

(ঞ) **মেসন (Meson)** : অত্যন্ত অস্থায়ী মৌল কণা ; ভর ইলেক্‌ট্রনের চেয়ে প্রায় 276 গুণ বেশী এবং আধান $0, +1$ বা $-1$ ; দুই প্রকারের মেসন পাওয়া গিয়াছে পাই ($\pi$) ও মিউ ($\mu$)।

$\pi$ মেসনের ভর 0·151 a. m. u. ; আধান +1, −1, 0 ; অর্ধায়ুষ্কাল $10^{-8}$ সেকেণ্ড।

$$\pi^{+} \rightarrow \mu^{+} + \nu$$

$\mu$ মেসনের ভর 0·1152 a. m. u. ; আধান +1, −1, 0 ; অর্ধায়ুষ্কাল $10^{-6}$ সেকেণ্ড।

$$\mu^{+} \rightarrow p + 2\nu$$

(ট) **আইসোটোপ (Isotope) :** পরমাণু-ক্রমাঙ্ক এক কিন্তু পারমাণবিক গুরুত্ব বিভিন্ন—এই ধরনের মৌলদের আইসোটোপ বলা হয়। ইউরেনিয়ামের দুইটি আইসোটোপ, ইউরেনিয়াম-235 ($^{235}_{92}U$) ও ইউরেনিয়াম-238 ($^{238}_{92}U$) ইহাদের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 92 কিন্তু পাঃ গুরুত্ব বিভিন্ন (235, 238)। আইসোটোপগুলিতে প্রোটন সংখ্যা একই কিন্তু নিউট্রন সংখ্যার তারতম্য থাকে।

(ঠ) **আলফা কণা (Alpha particle)—$\alpha$ :** তেজস্ক্রিয় মৌল হইতে বিচ্ছুরিত অন্যতম কণা। ইহা হিলিয়াম কেন্দ্রকের সমান ; ভর 4·0039 a. m. u., ; আধান +2 ; সঙ্কেত $^{4}_{2}He$।

(ড) **বিটা কণা (Beta particle)—$\beta$ :** তেজস্ক্রিয় মৌল বিচ্ছুরিত কণা—ইলেকট্রনের সমধর্মী ; ভর 0·0005486 a. m. u. ; আধান −1।

(ঢ) **গামা রশ্মি (Gamma ray)—$\gamma$ :** তেজস্ক্রিয় মৌল বিচ্ছুরিত রশ্মি—ইহা তরঙ্গপ্রবাহ বিশেষ।

(ণ) **কুরী (Curie)—C :** তেজস্ক্রিয়তা মাত্রার একক। 1 কুরী = $3·7 \times 10^{10}$ বিভাজন প্রতি সেকেণ্ডে ; ইহা 1 গ্রাম রেডিয়ামের (Radium) বিভাজন হারের সমান।

(ত) **কেন্দ্রক বিক্রিয়া (Nuclear reaction) :** পরমাণু কেন্দ্রকের সহিত উচ্চ শক্তি ও গতিবেগ সম্পন্ন পরমাণু কণার সংঘাতে যে বিক্রিয়া সম্পন্ন হয়, তাহাকে কেন্দ্রক বিক্রিয়া বলা হয়।

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{30}_{15}P* + {}^{1}_{0}n$$

(তেজস্ক্রিয়)

মৌলের বা কণার বাম দিকে উপরে ভরসংখ্যা ও নিচে ক্রমাঙ্ক লেখার রীতি প্রচলিত।

(থ) **জারণস্তর (Oxidation states) :** কোন যৌগে একটি পরমাণুর আধানকে (charge) উহার জারণ স্তর অভিহিত করা হয়। যে কয়টি ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করিলে যৌগমধ্যস্থ পরমাণুটি মৌলের উদাসীন পরমাণুতে (neutral atom) পরিণত হয়, তাহাকে পরমাণুটির জারণ স্তর (oxidation state) বা জারণ সংখ্যা (oxidation number) বলা হয়। NaCl যৌগে Na-এর জারণস্তর +1 ; $UO_2(NO_3)_2$, $6H_2O$ যৌগে U-এর জারণস্তর +6 ইত্যাদি। সন্ধিগত মৌল (Transition elements) শ্রেণীর মৌলদের একাধিক জারণ স্তর থাকে।

(দ) **তড়িৎদ্বার বিভব (Electrode potential) :** প্রত্যেক বিদ্যুৎকোষে দুইটি তড়িৎদ্বার (Electrode) থাকে—পরাধর্মী (Positive ; Anode) ও অপরাধর্মী (Negative ; Cathode)। ধাতু-ধাতব আয়নের জলীয় দ্রবণে যে সাম্যাবস্থা থাকে, তাহাতে বিভবের (Potential) সৃষ্টি হয় ; যেমন, $Zn \rightleftharpoons Zn^{++} + 2e$

সাধারণতঃ তড়িৎদ্বারে বিক্রিয়াকে বিজারণ হিসাবে ধরা হয়—

$$Zn^{++} + 2e \rightleftharpoons Zn$$

এবং ইহাতে জিঙ্কের বিজারণ বিভব উৎপন্ন হয়। এই বিভব মূল্যায়ন করিতে হইলে একটি নির্দেশ বা প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের ( প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার, Standard hydrogen electrode) সঙ্গে যুক্ত করা হয়। প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বিভবকে একক ধরা হয়—

$$H^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2} H_2 \ : \dot{E} = 0{,}000 \text{ Volts}$$ ।

এই প্রমাণ তড়িৎদ্বারের সঙ্গে যুক্ত জিঙ্ক তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিভবের ( জিঙ্ক সক্রিয়তা = 1·0 বা গাঢ়ত্ব ≡ 1 Molar) মান—0·762 Volts।

(ধ) **পারমাণবিক বিখণ্ডন (Atomic or Nuclear fission) :** ইউরেনিয়াম -233, -235 বা প্লুটোনিয়াম-239 কেন্দ্রককে মন্থরগতি নিউট্রন দ্বারা আক্রান্ত করিলে কেন্দ্রকটি দুইটি অসমান খণ্ডে বিভক্ত হয় এবং একই সঙ্গে নিউট্রন ও প্রচুর শক্তির উদ্ভব হয়। শৃংখল অভিক্রিয়া (Chain reaction) অনুসৃত হইয়া প্রায় 200টি উপজাত মৌল (Fission products) উৎপন্ন এবং প্রচণ্ড শক্তি উদ্ভূত হয়। এই বিক্রিয়াকে

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{56}Ba + ^{93}_{36}Kr + 2\text{-}3\,^{1}_{0}n + 200 \text{ Mev}$$
(শক্তি)

পারমাণবিক বিখণ্ডন অভিহিত করা হয়। ইহাই পরমাণু শক্তির উৎস।

(ন) **পরমাণু সম্মিলন (Atomic or Nuclear fission) :** ইহা পারমাণবিক বিখণ্ডনের বিপরীত বিক্রিয়া। অতি উচ্চ তাপে (কোটি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড) দুইটি লঘু কেন্দ্রক একত্র যুক্ত হইয়া প্রচণ্ড শক্তি সৃষ্টি করে। হাইড্রোজেনের দুইটি

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + 17 \text{ Mev}$$

ভারী আইসোটোপ সম্মিলিত হইয়া হিলিয়াম ও নিউট্রন উৎপন্ন করে এবং সঙ্গে 17 Mev শক্তি বিচ্ছুরিত হয়। ইহা হাইড্রোজেন বোমা বিস্ফোরণের ভিত্তি। হিসাব করিলে দেখা যায়, পারমাণবিক বিখণ্ডন অপেক্ষা পরমাণু সম্মিলনের শক্তি সৃষ্টির দক্ষতা (efficiency) চারগুণ বেশী।

কয়েকটি প্রাসঙ্গিক **ভৌত ধ্রুবকের (Physical constant)** তালিকা নিচে দেওয়া হইল :

**অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (Avogadro number), N**
**$6{\cdot}023 \times 10^{23}$ প্রতি মোলে (mole)**

**প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক (Planck's constant), $h = 6{\cdot}6256 \times 10^{-27}$ আর্গ/সেকেণ্ড**

**আলোকের গতিবেগ, $c = 2{\cdot}997 \times 10^{10}$ সেণ্টিমিটার/সেকেণ্ড (শূন্যে)**

**পারমাণবিক শক্তির একক Mev :**

$1 \text{ Mev} = 10^{6}$ ev (ইলেকট্রন ভোল্ট)
$= 1{\cdot}602 \times 10^{-6}$ erg (আর্গ)
$= 23{\cdot}06 \times 10^{6}$ Kcal/mole (মোল প্রতি কিলো-ক্যালোরি)

**ইলেকট্রন ভোল্টের সংজ্ঞা = একটি ইলেকট্রনকে 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যে উন্নীত করার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি।**

**পরমাণু ভরসংখ্যার একক (Atomic mass unit = a. m. u.) = $931{\cdot}5$ Mev $= 1{\cdot}66 \times 10^{-24}$ gram.**

## দ্বিতীয় পর্যায়

# ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী

## ( The Trans-Uranium Elements )

# ৫। পটভূমিকা
## ( Background )

বিজ্ঞানের ইতিহাসে আমরা দেখি, অতি পুরাকাল হইতে মানুষের স্বপ্ন ও প্রয়াস ছিল সাধারণ ধাতুকে সোনাতে রূপান্তরিত করা নিছক ঐশ্বর্যলাভের মোহে। পঞ্চদশ শতাব্দী পর্যন্ত অপ-রসায়নবিদ্‌রা (alchemist) নানাভাবে চেষ্টা করিয়াও সাফল্যলাভ করিতে পারেন নাই। তাঁহারা অবশ্য তামা, ব্রোঞ্জ ইত্যাদি সংকর ধাতু উৎপন্ন করিয়াছিলেন, যাহাদের উজ্জ্বলতা সোনার মতো ছিল। অপ-রসায়নবিদ্‌দের পদার্থ-রূপান্তরের স্বপ্ন বাস্তবে রূপায়িত হইল বিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগে পরমাণুবিজ্ঞানীদের সাধনার ফলে।

বিংশ শতাব্দীর চতুর্থ দশকের আগে পর্যন্ত পর্যায়-সারণীতে (Periodic table) নব্বইটি মৌলিক পদার্থের স্থান ছিল। সব চেয়ে ভারী মৌল ছিল ইউরেনিয়াম (Uranium), যাহার পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 92 এবং পারমাণবিক গুরুত্ব 238 ( সঙ্কেত $^{238}{}_{92}U$ ) এবং সবচেয়ে লঘু মৌলিক পদার্থ হইল হাইড্রোজেন (Hydrogen); পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 1 ও পারমাণবিক গুরুত্ব 1। হাইড্রোজেন হইতে ইউরেনিয়াম পর্যন্ত 92টি মৌলিক পদার্থের মধ্যে 88টি প্রকৃতিজাত। বাকী 4টি মৌল ( ক্রমাঙ্ক 43, 61, 85, 87 ) কৃত্রিম এবং গবেষণাগারে সৃষ্ট ( যথাক্রমে টেক্নিসিয়াম, প্রমিথিয়াম, অ্যাস্টাটাইন ও ফ্রান্সিয়াম )। এই শেষোক্ত মৌলগুলি 1937—45 সালে আবিষ্কৃত হয় ও পর্যায়-সারণীর চারটি শূন্যস্থান পূরণ করে ( তৃতীয় পরিচ্ছেদ )।

1934 সালে ফরাসী বিজ্ঞানী জলিও কুরী দম্পতী কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা (Artificial radioactivity) আবিষ্কার করিয়া মৌল পদার্থ রূপান্তরের (Transmutation of elements) পথিকৃৎ হইলেন। পোলোনিয়াম (Polonium) নিঃসৃত আলফা কণা দ্বারা অ্যালুমিনিয়াম ধাতুকে আক্রান্ত করিবার ফলে তেজস্ক্রিয় ফস্‌ফরাস প্রথমে উৎপন্ন হইল, পরে ইহা স্থায়ী সিলিকন পরমাণুতে পরিণত হইল। উক্ত কেন্দ্রক বিক্রিয়ায় (Nuclear reaction) নিউট্রন ও পজিট্রন কণা বিকীর্ণ হইল।

$$^{27}{}_{13}Al + {}^{4}{}_{2}He \rightarrow {}^{30}{}_{15}P^{*} + {}^{1}{}_{0}n \text{ ( নিউট্রন )}$$

( তেজস্ক্রিয় )

$$^{30}{}_{15}P^{*} \rightarrow {}^{30}{}_{14}Si + {}^{0}{}_{1}e \text{ ( পজিট্রন )}$$

তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপাদনের এই প্রণালী অনুসরণ করিয়া পরে প্রায় এক সহস্রের অধিক তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপন্ন করা সম্ভব হইয়াছে। উক্ত আবিষ্কারের প্রায় একই সময়ে দুটি গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কার পরমাণুবিজ্ঞানের অগ্রগতি ত্বরান্বিত করিল। আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের **লরেন্স (E. O. Lawrence)** সাইক্লোট্রন (Cyclotron) যন্ত্র আবিষ্কার করিলেন, যাহা দ্বারা উচ্চশক্তিসম্পন্ন বিদ্যুৎবাহী কণা উৎপন্ন করা সম্ভব হইল। এই সাইক্লোট্রন ভারী মৌলগুলিকে রূপান্তরিত করার ব্যাপারে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করিয়াছে। দ্বিতীয়তঃ ইংলণ্ডের **জেমস্ স্যাড্‌উইক (James Chadwick)** এর দ্বারা তড়িতাধানবিহীন মৌল কণা নিউট্রনের আবিষ্কার উল্লেখযোগ্য। মৌল পদার্থের রূপান্তরে নিউট্রন, উদাসীন (neutral) মৌল কণা হওয়ার জন্য আলফা কণা বা অনুরূপ আধান বিশিষ্ট কণা অপেক্ষা অনেক কার্যকরী। তড়িতাধান শূন্য হওয়ায় নিউট্রন সহজেই পরমাণুর অন্তঃপুরে প্রবেশের অধিকারী এবং কেন্দ্রকের সহিত বিক্রিয়ায় লিপ্ত হইতে পারে।

ইটালীর **আন্‌রিকো ফের্মি (Enrico Fermi)** নিউট্রনের দ্বারা মৌল পদার্থ রূপান্তরের গবেষণায় রত ছিলেন। তাঁহার ধারণা ছিল, অন্যান্য মৌল পদার্থের মতো পর্যায়-সারণীর সর্বাধিক গুরুভার মৌল ইউরেনিয়ামকে ( ক্রমাঙ্ক 92, পাঃ গুরুত্ব 238 ) নিউট্রন দ্বারা আক্রান্ত করিলে উচ্চতর ক্রমাঙ্কের (93, 94 ইত্যাদি ) মৌলের পরমাণু সৃষ্টি করা সম্ভব হইতে পারে। এইভাবে নূতন ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী সৃষ্টি করা সম্ভব। কিন্তু এই পরীক্ষায় ফের্মি ও তাঁহার সহকর্মীরা সবিস্ময়ে লক্ষ্য করিলেন অভূতপূর্ব তেজস্ক্রিয়তার উৎপত্তি। তাঁহারা ব্যাখ্যা দিলেন যে, সম্ভবতঃ একাধিক ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল পদার্থ সৃষ্ট হইয়াছে। কিন্তু প্রকৃত ব্যাখ্যা পাওয়া গেল 1939 সালে যখন **হান ও স্ট্র্যাসম্যান (Hahn and Strassmann)** পারমাণবিক বিখণ্ডন (Nuclear Fission) আবিষ্কার করিলেন। ইউরেনিয়ামের কেন্দ্রক মন্থরগতি নিউট্রনের আঘাতে দুইটি অসমান খণ্ডে দ্বিখণ্ডিত হয়—সঙ্গে কয়েকটি নিউট্রন ও প্রভূত শক্তির সৃষ্টি হয়—উপজাত পদার্থের মধ্যে উল্লেখযোগ্য প্রায় দুইশত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সংমিশ্রণ (Fission Product)।

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{56}Ba + ^{93}_{36}Kr + 2\text{-}3\,^{1}_{0}n + 200Mev$$

আশ্চর্যের বিষয় ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল পদার্থের অনুসন্ধান কার্যে আবিষ্কৃত

হইল এক যুগান্তকারী আবিষ্কার **পারমাণবিক বিখণ্ডন (1939)**। আবার **পারমাণবিক বিখণ্ডনের অন্যতম ফসল ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল-শ্রেণীর আবিষ্কার [ ম্যাক্‌মিলান (McMillan, 1940) ]**। 1940 হইতে 1961 সাল এই দুই দশকের মধ্যে মৌল 93 হইতে 103 অর্থাৎ 11টি মৌলের আবিষ্কার সারা বিজ্ঞানজগৎ, বিশেষতঃ রসায়নবিজ্ঞানকে চমকিত করিল। **পর্যায়-সারণীর শতকরা 15 ভাগ মৌল ( 103 পর্যন্ত ) গবেষণাগারে সৃষ্ট**। অজৈব রসায়ন নবজাগরণে উদ্দীপ্ত হইল —শুধু তাই নয়, রসায়ন ও পদার্থবিদ্যার নব নব দিগন্ত উন্মোচিত হইল। নিখিল বিশ্ববাসীকে চমকিত করিয়া মানবসভ্যতার ইতিহাস উদ্ভাসিত করিয়া আবির্ভূত হইল এক নূতন যুগ—পরমাণু যুগ।

ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর তালিকা নিচে লিপিবদ্ধ হইল ( সারণী 5.1 )।

## সারণী 5.1 : ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী

| পরমাণু-ক্রমাঙ্ক | পারমাণবিক গুরুত্ব | মৌল | সঙ্কেত | আবিষ্কারক | আবিষ্কারের বছর |
|---|---|---|---|---|---|
| 93 | 237 | Neptunium (নেপচুনিয়াম) | Np | McMillan, Abelson (U.S.A.) | 1940 |
| 94 | 242 | Plutonium (প্লুটোনিয়াম) | Pu | Seaborg McMillan, Kennedy, Wahl (U.S.A.) | 1942 |
| 95 | 243 | Americium (আমেরিকিয়াম) | Am | Seaborg, James, Morgan, Ghiorso (U.S.A.) | 1944-45 |
| 96 | 248 | Curium (কুরিয়াম) | Cm | Seaborg, James, Ghiorso (U.S.A.) | 1944 |
| 97 | 249 | Berkelium (বার্কেলিয়াম) | Bk | Seaborg, Thomson, Ghiorso (U.S.A.) | 1949 |
| 98 | 249 | Californium (ক্যালিফোর্নিয়াম) | Cf | Seaborg, Thomson, Street, Ghiorso (U.S.A) | 1950 |
| 99 | 254 | Einsteinium (আইনস্টাইনিয়াম) | Es | Seaborg, Ghiorso, Thomson, Higgins, etc. (U.S.A.) | 1952 |
| 100 | 253 | Fermium (ফের্মিয়াম) | Fm | Seaborg, Ghiorso, Thomson, etc. (U. S. A.) | 1953 |
| 101 | 256 | Mendelevium (মেণ্ডেলিভিয়াম) | Md | Seaborg, Ghiorso, Harvey (U.S.A.) | 1955 |
| 102 | 254 | Nobelium (নোবেলিয়াম) | No | Seaborg, Ghiorso, etc. (U.S.A.) | 1958 |
| 103 | 257 | Lawrencium (লরেন্সিয়াম) | Lw | Ghiorso, Sikkeland, Larsh, Latimer (U.S.A.) | 1961 |

উপরের সারণীতে সর্বাপেক্ষা দীর্ঘজীবী আইসোটোপের পারমাণবিক গুরুত্ব দেওয়া হইয়াছে।

# ৬। ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর আবিষ্কার ও উৎপাদন

## ( Discovery & Production of Trans-Uranium Elements )

### ৬.১ আকরিক

প্রকৃতিতে উল্লেখযোগ্যভাবে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের আকরিক নাই। ইউরেনিয়ামের আকরিকে অতি নগণ্যমাত্রায় ($10^{-12}$%) নেপ্‌চুনিয়াম ও প্লুটোনিয়াম থাকে। তাই উক্ত আকরিক হইতে এই দুইটি মৌল নিষ্কাশন করা যুক্তিসঙ্গত নয়। মহাশূন্যে কিছু নক্ষত্রমণ্ডলীতে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের অস্তিত্বের ইঙ্গিত পাওয়া গিয়াছে জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের মতে।

### ৬.২ মৌল 73 : নেপ্‌চুনিয়াম (Neptunium, Np)

1940 সালে আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের বার্ক্‌লে শহরে ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের বিখ্যাত তেজস্ক্রিয় গবেষণাগারে (Radiation laboratory) **ম্যাক্‌মিলান (E. M. McMillan)** পারমাণবিক বিখণ্ডনের গবেষণায় ব্যাপৃত ছিলেন। তাঁহার গবেষণার বিষয়বস্তু ছিল ইউরেনিয়াম পরমাণুর বিখণ্ডনজাত দুইটি অংশের শক্তি-নিরূপণ। উপজাত বেরিয়াম ক্রিপ্টন

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{56}Ba* + ^{93}_{36}Kr* + 2-3\,^{1}_{0}n + 200\,Mev$$

( বেরিয়াম ) ( ক্রিপ্টন ) ( শক্তি )

উভয়েই তেজস্ক্রিয় (*)।

ম্যাক্‌মিলান একটি পাতলা কাগজের উপর ইউরেনিয়াম অক্সাইডের এক পাতলা আস্তরণ রাখিলেন। এই কাগজখণ্ডের পরে কয়েকখণ্ড সিগারেটের কাগজ ন্যস্ত করা ছিল, যাহাতে প্রথম কাগজ হইতে নির্গত ইউরেনিয়াম-বিভাজনের অংশগুলি সঞ্চিত হইবে। গবেষণাগারের 60" ইঞ্চি সাইক্লোট্রন হইতে নিঃসৃত নিউট্রন রশ্মিকণা দ্বারা ইউরেনিয়াম অক্সাইডের আস্তরণটিকে আক্রান্ত করা হইল। ম্যাক্‌মিলান লক্ষ্য করিলেন যে, উক্ত বিক্রিয়ায় বিখণ্ডন উপজাত মৌলগুলি ছাড়া অন্য একটি তেজস্ক্রিয় মৌল ছিল, যাহা প্রথমোক্ত মৌলগুলির মতো ইউরেনিয়াম অক্সাইডের আস্তরণ হইতে প্রতিক্ষিপ্ত (recoil) হয় নাই। তিনি অনুমান করিলেন যে, ইউরেনিয়ামের

প্রকৃতিজ প্রধান আইসোটোপ (ইউরেনিয়াম-238) এর সঙ্গে নিউট্রন-সংঘাতে নূতন মৌলের উদ্ভব হইয়াছে। তিনি ও তাঁহার সহকর্মী অ্যাবেলসন (P. H. Abelson) রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় সাহায্যে এই নূতন মৌল পৃথক্ করিলেন এবং প্রমাণ করিলেন 93-ক্রমাঙ্ক মৌলের সৃষ্টি হইয়াছে।

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U + \gamma$$

$$^{239}_{92}U \xrightarrow[T_{1/2}=23{\cdot}5 \text{ মিনিট}]{\beta^-} ^{239}_{93}Np \; (T_{1/2}=2{\cdot}35 \text{ দিন})$$

অস্থায়ী ইউরেনিয়াম-239 হইতে বিটা কণা বিচ্ছুরিত হইয়া উচ্চতর ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট মৌল 93 (নেপ্‌চুনিয়াম) উদ্ভূত হয়। ইহার অর্ধায়ুষ্কাল 2·35 দিন। ইউরেনাস গ্রহের পরবর্তী গ্রহ নেপচুন—অতএব এই সাদৃশ্য হইতে ইউরেনিয়ামের পরবর্তী মৌলের নামকরণ হইল নেপ্চুনিয়াম (Neptunium)—সাঙ্কেতিক নাম Np।

রাসায়নিক অনুসন্ধানে দেখা গেল যে, নেপ্‌চুনিয়ামের সঙ্গে ইউরেনিয়ামের রাসায়নিক ধর্মের সাদৃশ্য রহিয়াছে। রেনিয়ামের (Rhenium) [ পর্যায়-সারণীর VII A শ্রেণীর মৌল ] সঙ্গে ইহার সাদৃশ্য থাকিতে পারে, এই ধারণা ভুল প্রমাণিত হইল। ম্যাক্‌মিলান সিদ্ধান্ত করিলেন যে, বিরল-মৃত্তিক মৌলশ্রেণীর ( Rare earth elements : ক্রমাঙ্ক 58—71 ) অনুরূপ এই নূতন মৌলটি একটি মৌলশ্রেণীর—"ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর" (Trans-Uranium elements) পরিবারভুক্ত প্রথম সদস্য।

ঐ সময়ে নেপ্চুনিয়াম এত অল্পমাত্রায় উৎপন্ন হইয়াছিল যে উহা আদৌ তোলনযোগ্য ছিল না। তাই ট্রেসার প্রযুক্তির (Tracer technique) (দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ) সাহায্যে গবেষণা সম্পন্ন হইয়াছিল। এই পদ্ধতিতে রাসায়নিক পৃথকীকরণ প্রক্রিয়ার বিভিন্ন পর্যায়ে নেপ্‌চুনিয়াম পরমাণুর গতিপথ অনুধাবন করা হইত উহার তেজস্ক্রিয়-বিভাজন-হার (Radioactive decay) পর্যবেক্ষণের দ্বারা। এইভাবে নেপ্চুনিয়াম যৌগের দ্রাব্যতা, জারণ-বিজারণ বিভব (Oxidation-Reduction potential), জটিল আয়ন ইত্যাদি অনুসন্ধান করা সম্ভব হইয়াছিল। নেপ্‌চুনিয়ামের চারটি জারণ-স্তর (III, IV, V, VI) প্রমাণিত হইয়াছে—তাদের মধ্যে V জারণস্তর সর্বাপেক্ষা স্থায়ী।

1944 সালে শিকাগো বিশ্ববিদ্যালয়ের সামরিক ধাতুবিদ্যা গবেষণাগারে

(Wartime metallurgical laboratory) প্রথম তোলনযোগ্য নেপ্‌চুনিয়াম উৎপন্ন হইয়াছিল। পরমাণু-চুল্লীতে (Nuclear reactor) ইউরেনিয়াম-238 এর সহিত নিউট্রনের সংঘাতে ইউরেনিয়াম-237 উৎপন্ন হয়—ইহা হইতে $\beta$-কণা বিচ্ছুরিত হওয়ার পর নেপ্‌চুনিয়াম-237 সৃষ্ট হয় ( অর্ধায়ুষ্কাল, $T_{1/2} = 2{\cdot}2 \times 10^6$ বছর )। কেন্দ্রক বিক্রিয়াগুলি এইরূপ :

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{237}_{92}U + 2\ ^{1}_{0}n$$

$$^{237}_{92}U \xrightarrow[T_{1/2} = 6{\cdot}8 \text{ দিন}]{\beta} {}^{237}_{93}Np \ (T_{1/2} = 2{\cdot}2 \times 10^6 \text{ বছর})$$

এই দুইটি বিক্রিয়ার সংক্ষিপ্ত পরিচিতি :

$^{238}U\ (n, 2n)^{237}U$ এবং $^{237}U(\beta)^{237}Np$

## ৬.৩ মৌল 94 : প্লুটোনিয়াম (Plutonium, Pu)

ইহা দ্বিতীয় ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল। নেপ্‌চুনিয়াম আবিষ্কারের উদ্দীপনায় **ম্যাক্‌মিলান** ও আরও কয়েকজন বিজ্ঞানী—**কেনেডি, ওয়াল** ও **সীবর্গ** (**E. M. McMillan, J. W. Kennedy, A. C. Wahl, G. T. Seaborg**) নূতন ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের অনুসন্ধান প্রসারিত করিলেন। তাঁহারা 60″ সাইক্লোট্রন হইতে ভারী হাইড্রোজেন ( ডয়টারন, $^{2}_{1}H$ ) রশ্মি সম্পাতের দ্বারা ইউরেনিয়াম-238 হইতে নেপ্‌চুনিয়াম-238 প্রস্তুত করিলেন, যাহা হইতে $\beta$-কণা নিঃসৃত হইয়া প্লুটোনিয়াম-238 উৎপন্ন হইল।

$$^{238}_{92}U + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{238}_{93}Np + 2\ ^{1}_{0}n$$

$$^{238}_{93}Np \xrightarrow[T_{1/2} = 2{\cdot}10 \text{ দিন}]{\beta} {}^{238}_{94}Pu \ (T_{1/2} = 86{\cdot}4 \text{ বছর})$$

প্রথমোক্ত বিক্রিয়াটিকে সংক্ষেপে লেখা হয় $^{238}U(d, 2n)^{238}Np$ ( d = deuterium, ভারী হাইড্রোজেন )।

ইউরেনিয়াম অক্সাইড যৌগকে 16-Mev ( 160 লক্ষ ইলেকট্রন ভোল্ট ) শক্তিসম্পন্ন ডয়টারন রশ্মিকণা দ্বারা আঘাত করার ফলে দেখা গেল যে উৎপন্ন নেপ্‌চুনিয়াম আইসোটোপে আলফা-তেজস্ক্রিয়তা বৃদ্ধি পাইতেছিল ( ডিসেম্বর, 1940 )। দুই মাস ধরিয়া এই আলফা-তেজস্ক্রিয়

উপজাত অংশটিকে রাসায়নিক পৃথকীকরণের চেষ্টা চলিল। অবশেষে 94-ক্রমাঙ্কের মৌলটিকে আবিষ্কার করা হইল। তেজস্ক্রিয় ট্রেসার প্রযুক্তি দ্বারা প্রমাণিত হইল, এই মৌলের দুইটি প্রধান জারণস্তর (IV, VI) আছে এবং ইহার জারণের জন্য শক্তিশালী জারক দ্রব্যের প্রয়োজন ( মৌল 93-এর তুলনায় )। প্রথম জারণ ক্রিয়া সম্পন্ন করা হইয়াছিল পেরোক্সিডাইসালফেট আয়ন ($S_2O_8^{--}$, peroxydisulfate ion) দ্বারা সিলভার আয়ন ($Ag^+$) অনুঘটকের সাহায্যে ( ফেব্রুয়ারী, 1941)। যুদ্ধকালীন গোপনতা রক্ষার জন্য মৌল 94 এর সাঙ্কেতিক নাম ছিল "তামা" (Copper) আর আসল "তামা" ধাতুকে অভিহিত করা হইত "ঈশ্বরের মতো সৎ তামা" (Honest to God Copper)। অবশেষে 1942 সালে মৌল 94 কে "প্লুটোনিয়াম" (Plutonium) আখ্যা দেওয়া হইল, নেপ্‌চুনিয়ামের নামকরণের অনুরূপভাবে। ইউরেনাস গ্রহের পরবর্তী দ্বিতীয় গ্রহ "প্লুটো" (Pluto)।

প্লুটোনিয়াম আবিষ্কারের অনতিকাল পরে ইহার মূল্যবান আইসোটোপ, প্লুটোনিয়াম-239 আবিষ্কৃত হইল। ইহা নেপ্‌চুনিয়াম-239 এর "তেজস্ক্রিয় কন্যা" (Radioactive daughter)।

$${}^{3}_{92}U + {}^{1}_{0}n \text{-} \qquad {}_{2}U + \gamma$$

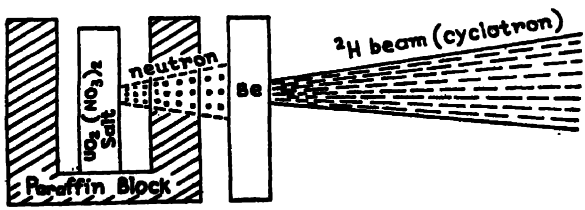
$$\beta \qquad\qquad\qquad \beta$$

$${}^{239}\ {}_{2}U\ T_{1/2} = 23{\cdot}5 \text{ মিনিট} \qquad {}_{93}Np\ T_{1/2} = 2{\cdot}35 \text{ দিন}$$

$${}^{239}_{94}Pu\ (\ T_{1/2} = 24{,}360 \text{ বছর } )$$

এই আবিষ্কার পরমাণুশক্তি বিজ্ঞানের ইতিহাসে এক গুরুত্বপূর্ণ পদক্ষেপ। পারমাণবিক বিখণ্ডনে ইউরেনিয়াম-235 অপেক্ষা প্লুটোনিয়াম-239 বেশী কার্যকরী।

**প্রস্তুত প্রণালী**—একটি বড় মোমের আধারে (paraffin block)




চিত্র 6.1 : প্লুটোনিয়ামের প্রস্তুত প্রণালী।

1·2 কিলোগ্রাম ইউরেনিয়াম নাইট্রেট লবণ ন্যস্ত করা হইল ( চিত্র 6.1 )। এই আধারটির সামনে ছিল বেরিলিয়াম ধাতুর লক্ষ্যবস্তু (target) যাহার উপরে 60″ সাইক্লোট্রনের ডয়টারন রশ্মি (deuteron beam) সম্পাত করা হইল। বেরিলিয়াম হইতে নির্গত নিউট্রন কণা দুইদিন ধরিয়া ইউরেনিয়াম লবণকে আক্রান্ত করিল। নিউট্রনের সংঘাতে উপরোক্ত

$$^{8}_{4}Be + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{9}_{5}B + ^{1}_{0}n$$

বিক্রিয়া অনুযায়ী ইউরেনিয়াম লবণে প্লুটোনিয়াম-239 উদ্ভূত হয়। রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় পৃথকীকরণ করা হইল। তেজস্ক্রিয় ইউরেনিয়াম লবণকে ক্রমাগত ডাই-ইথাইল ইথার (diethyl ether) সহযোগে নিষ্কাশন করা হইল। নেপ্‌চুনিয়াম-239 কে ল্যান্‌থানাম ও সিরিয়াম ফ্লুয়োরাইড বাহকের (carrier) দ্বারা পৃথক্ করা হইল এবং ছয়বার অধঃক্ষেপণ করিয়া (precipitation) ইউরেনিয়াম হইতে সম্পূর্ণরূপে শোধন করা হইল। নেপ্‌চুনিয়াম-239 এর "তেজস্ক্রিয় কন্যা" প্লুটোনিয়াম-239। এইভাবে প্রায় 0·5 মাইক্রোগ্রাম (µg, microgram $= 10^{-6}$ gram) প্লুটোনিয়াম-239 প্রস্তুত করা হইয়াছিল। ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর মধ্যে একমাত্র প্লুটোনিয়ামকেই তোলনযোগ্য (weighable) মাত্রায় উৎপন্ন করা সম্ভবপর হইয়াছে।

প্লুটোনিয়াম-239 এর বিখণ্ডন প্রবণতা (fissionability) ইউরেনিয়াম-235 এর চেয়ে 50% ভাগ বেশী প্রমাণিত হওয়ার পর ইহাকে সামরিক অস্ত্র হিসাবে ব্যবহার করা যাইতে পারে—বিজ্ঞানীদের এই ধারণা বদ্ধমূল হইল। তখন যুদ্ধকালীন গোপনতার পরিবেশে সীবর্গের নেতৃত্বে হ্যান্‌ফোর্ড (Hanford) কারখানায় ব্যাপকহারে প্লুটোনিয়াম উৎপাদনের কাজ চলিল। গবেষণাগারের প্রাথমিক পর্যায়ের অতিউন পরিমাণ স্তর (ultra-micro scale) হইতে কিলোগ্রাম স্তর পর্যন্ত উন্নীত করা অর্থাৎ $10^{9}$ গুণের বেশী মাত্রার উৎপাদন এক অভূতপূর্ব রাসায়নিক কৃতিত্ব। প্লুটোনিয়াম শিল্প সম্বন্ধে আরও বিস্তারিত আলোচনা পরবর্তী পরিচ্ছেদে করা হইবে ( বিসমাথ ফস্‌ফেট পদ্ধতি ও জারণ-বিজারণ চক্র )।

## ৬.৪ মৌল 95 : আমেরিসিয়াম (Americium, Am) ও মৌল 96 : কুরিয়াম (Curium, Cm)

প্লুটোনিয়াম উৎপাদনের পদ্ধতি উদ্ভাবনের পর ইহার পরবর্তী মৌলগুলির অনুসন্ধান কার্য চলিল সীবর্গের নেতৃত্বে। মৌল 95 ও 96 এর অস্তিত্ব

অনুমান করা গেলেও ইহাদের পৃথকীকরণের দুরূহ সমস্যা ছিল। উক্ত গবেষকগোষ্ঠীর নিকট ইহা প্রতীয়মান হইল যে, এই মৌল-দুইটি এক মৌল-শ্রেণীর পরিবারভুক্ত, ইহাদের রাসায়নিক ধর্মের সাদৃশ্য আছে এবং জারণস্তর +3 হইতে +4-এ উন্নীত করা সহজসাধ্য নয়। 1945 সালে প্লুটোনিয়ামকে নিউট্রন দ্বারা আক্রান্ত করিয়া মৌল 95 প্রস্তুত করা হইয়াছিল।

$$^{239}_{94}Pu + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{240}_{94}Pu \ (T_{1/2} = 6580 \text{ বছর}) + \gamma$$

$$^{240}_{94}Pu + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{241}_{94}Pu + \gamma$$

$$^{241}_{94}Pu \xrightarrow[(T_{1/2} = 13{\cdot}2 \text{ বছর})]{\beta^-} {}^{241}_{95}Am \ (T_{1/2} = 458 \text{ বছর})$$

ইহার আগে 1944 সালে প্লুটোনিয়াম-239 হইতে আলফা কণার কেন্দ্রক বিক্রিয়া দ্বারা মৌল 96 আবিষ্কৃত হইল।

$$^{239}_{94}Pu + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{242}_{96}Cm \ (T_{1/2} = 162{\cdot}5 \text{ দিন}) + ^{1}_{0}n$$

কেন্দ্রক বিক্রিয়াটি বার্ক্‌লের গবেষণাগারে অনুষ্ঠিত হইয়াছিল। তারপর শিকাগোর ধাতুবিদ্যা গবেষণাগারে রাসায়নিক পৃথকীকরণ ও সনাক্তকরণ সম্পন্ন হইয়াছিল ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )।

শিকাগোর গবেষণাগারে **কানিংহাম (B. B. Cunningham)** 1945 সালে সর্বপ্রথম বিশুদ্ধ আমেরিকিয়াম-241 হাইড্রোক্সাইড যৌগ প্রস্তুত করিয়াছিলেন। অনুরূপভাবে **ওয়ার্নার ও পার্লম্যান (L. B. Werner and J. Perlman)** 1947 সালে বিশুদ্ধ কুরিয়াম-242 হাইড্রোক্সাইড অধঃক্ষেপ ( মাত্র কয়েক মাইক্রোগ্রাম ) প্রস্তুত করিয়াছিলেন।

বার্ক্‌লের বিজ্ঞানীমণ্ডলী মৌল 95 ও 96 নামকরণ করিলেন স্বদেশ আমেরিকার নামে ( আমেরিকিয়াম ) এবং রেডিয়ামের আবিষ্কর্তা কুরী দম্পতীর নামে ( কুরিয়াম )। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, মৌল 93—96 এর আবিষ্কর্তারা ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর সঙ্গে বিরলমৃত্তিক মৌল-শ্রেণী (Rare earth) রাসায়নিক সাদৃশ্য লক্ষ্য করিয়াছিলেন ( পরিচ্ছেদ ৮ )। নামকরণের সময় তাঁহারা পর্যবেক্ষণ করিয়াছিলেন যে, মৌল 95 এর সদৃশ বিরলমৃত্তিক মৌল। ইউরোপিয়াম (Europium) ( মৌল 63 ) অভিহিত হইয়াছিল, ইউরোপের নামানুসারে এবং মৌল 96 এর সদৃশ বিরল-মৃত্তিক মৌল, গ্যাডোলিনিয়াম (Gadolinium: ক্রমাঙ্ক 64 ) আখ্যাত হইয়াছিল ফিনদেশীয় বিজ্ঞানী গ্যাডোলিনের (J. Gadolin) নামানুসারে।

## ৬.৫ মৌল 97 : বার্কেলিয়াম (Berkelium, Bk) ও মৌল 98 : ক্যালিফোর্নিয়াম (Californium, Cf)

কুরিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলি আবিষ্কারের উৎকট সমস্যা দেখা দিল —কুরিয়ামের তীব্র তেজস্ক্রিয়তার জন্য কুরিয়াম হইতে কন্যা মৌলদের পৃথকী-করণ অত্যন্ত দুরূহ ব্যাপার। ইহার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ছিল উপযুক্ত রাসায়নিক প্রণালীর উদ্ভাবনের সমস্যা। এই সব সমস্যার সমাধান হইল 1949 সালের শেষের দিকে ও 1950 সালের প্রথমভাগে।

আমেরিকিয়াম-241 ( মিলিগ্রাম মাত্রা ) লক্ষ্যবস্তুকে আলফা-কণা দ্বারা আক্রান্ত করিয়া মৌল 97 উৎপন্ন করা হইল একই বিজ্ঞানীগোষ্ঠী সীবর্গ, টম্‌সন ও গিওর্‌সো (Seaborg, S. G. Thompson and A. Ghiorso) দ্বারা।

$$^{241}_{95}Am + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{243}_{97}Bk \; (T_{1/2} = 4.5 \text{ ঘণ্টা}) + 2\,^{1}_{0}n$$

অনতিকাল পরে 1950 সালের ফেব্রুয়ারী মাসে মৌল 98 উৎপন্ন হইল কুরিয়াম-242 (মাইক্রোগ্রাম পরিমাণ) ও 60" সাইক্লোট্রন নিঃসৃত 35 Mev আলফা-কণার কেন্দ্রক বিক্রিয়া হইতে ( সীবর্গ, টম্‌সন, স্ট্রীট ও গিওর্‌সো —**Seaborg, Thompson, Street** and **Ghiorso** )।

$$^{242}_{96}Cm + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{245}_{98}Cf \; (T_{1/2} = 44 \text{ মিনিট}) + ^{1}_{0}n$$

ঐ সময়ে মোট 5000 পরমাণু লইয়া মৌল 98 এর সনাক্তকরণ সম্পন্ন হইয়াছিল। জনৈক বিজ্ঞানী মন্তব্য করিয়াছিলেন যে, ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ব-বিদ্যালয়ের ছাত্রছাত্রীসংখ্যা ঐ সময়ে 5000 এর অনেক বেশী ছিল।

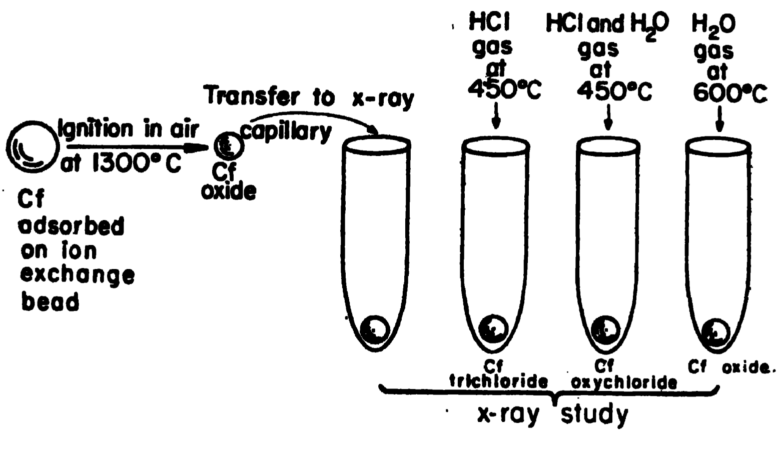
মৌল 97 ও 98 কে রাসায়নিক পৃথকীকরণ ও সনাক্তকরণ সম্ভবপর হইয়াছিল আয়ন বিনিময় প্রযুক্তির (Ion exchange technique) সাহায্যে ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )। আমেরিকিয়াম লক্ষ্যবস্তু হইতে মৌল 97 কে পৃথক্ করা হইয়াছিল দুরূহ রাসায়নিক প্রণালী দ্বারা। আমেরিকিয়ামকে জারিত করা হইয়াছিল VI স্তরে এবং বিরলমৃত্তিক মৌলের ফ্লুয়োরাইড সহযোগে মৌল 97 কে সহাধঃক্ষিপ্ত করা হইয়াছিল। কুরিয়াম লক্ষ্যবস্তু হইতে মৌল 98 কে প্রাথমিকভাবে পৃথক্ করা হইয়াছিল আয়ন বিনিময় পদ্ধতি দ্বারা।

অনুরূপভাবে বিরলমৃত্তিক মৌলের নামকরণের সঙ্গে সামঞ্জস্য রাখিয়া মৌল 97 ও 98 এর নামকরণ করা হইল। বিরলমৃত্তিক মৌল 65, টার্বিয়ামের

(Terbium) নাম দেওয়া হইয়াছিল সুইডেনের ইট্টার্বি (Ytterby) শহরের নামে যেখানে আগে অনেক বিরলমৃত্তিক মৌলের খনিজ পাওয়া গিয়াছিল। মৌল 97 তাই আখ্যাত হইল আবিষ্কারের পীঠস্থান বার্ক্‌লে শহরের নামে—বার্কেলিয়ম (Berkelium)। মৌল 98 অভিহিত হইল ক্যালিফোর্নিয়াম (Californium)—ক্যালিফোর্নিয়া রাজ্যের সম্মানে।

1958 সালে কানিংহ্যাম ও টম্‌সন (B. B. Cunningham & S. G. Thompson) প্লুটোনিয়াম-239 ও নিউট্রনের কেন্দ্রক বিক্রিয়া হইতে অধিকমাত্রায় বার্কেলিয়াম প্রস্তুত করিলেন। 1962 সালে কানিংহ্যাম ও ওয়ালম্যান (Cunningham & Wallmann) 0·02 মাইক্রোগ্রাম ($0{\cdot}02 \times 10^{-6}$ gram) বার্কেলিয়াম-249 ডাই-অক্সাইড যৌগ প্রস্তুত করিয়াছিলেন এবং ইহা হইতে 0·002 মাইক্রোগ্রাম ($2 \times 10^{-9}$ gram) ব্যবহার করিয়াছিলেন আণবিক গঠন পরীক্ষার কার্যে।

1960 সালে কানিংহ্যাম ও ওয়ালম্যান $3 \times 10^{-7}$ গ্রাম ক্যালিফোর্নিয়াম-249 অক্সিক্লোরাইড প্রস্তুত করিয়াছিলেন। তাঁহারা ইহার




চিত্র 6.2 : ক্যালিফোর্নিয়াম যৌগগুলির প্রস্তুত পদ্ধতি।

কেলাস গঠন-বিন্যাস (Crystal structure) রঞ্জন-রশ্মি বিক্ষেপণ পদ্ধতি (X-ray diffraction) দ্বারা পরীক্ষা করিয়াছিলেন। এই পরীক্ষার বিশুদ্ধ অক্সাইড ও ট্রাইক্লোরাইড যৌগ ব্যবহৃত হইয়াছিল ( পরিচ্ছেদ ৭ দ্রষ্টব্য )।

## ৬.৬ মৌল 99 : আইনস্টাইনিয়াম (Einsteinium, Es) ও মৌল 100 : ফের্মিয়াম (Fermium, Fm)

প্রশান্ত মহাসাগরের এক দ্বীপপুঞ্জে থার্মোনিউক্লিয়ার বিস্ফোরণে (Thermonuclear explosion) উদ্ভূত তেজস্ক্রিয় ভস্মরাশি (Radioactive fall-out) হইতে মৌল 99 ও 100 আবিষ্কৃত হইয়াছিল (1952)। এক বিমানের সঙ্গে সংলগ্ন ফিলটার কাগজের সাহায্যে ঘটনাস্থলে মেঘপুঞ্জের উপর দিয়া উড়িয়া যাইবার সময় উক্ত ভস্মরাশি প্রথমে সংগৃহীত করা হইল। পরে অধিকমাত্রায় সংগ্রহ করা হইল ঘটনাস্থলের নিকটবর্তী এক প্রবাল দ্বীপপুঞ্জ হইতে। উল্লিখিত ভস্মরাশি আমেরিকার বিভিন্ন গবেষণাগারে পরীক্ষা করা হইল। প্রথমে শিকাগোর আর্‌গন জাতীয় গবেষণাগারে (Argonne national laboratory) এবং পরে মেক্সিকোর ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের লস এলামস গবেষণাগারে (Los Alamos scientific laboratory)। পরীক্ষার ফলে প্লুটোনিয়াম-244 ও প্লুটোনিয়াম-246 এর অস্তিত্ব দেখা গেল। ইহা হইতে আয়ন বিনিময় পরীক্ষার দ্বারা নূতন মৌল 99 ও 100 এর সন্ধান পাওয়া গেল। 6·6 Mev শক্তি ও 22 দিন অর্ধায়ুষ্কাল বিশিষ্ট আলফা-সক্রিয় মৌল 99 এবং 7·1 Mev শক্তি ও 22 ঘণ্টা অর্ধায়ুষ্কাল বিশিষ্ট আলফা-সক্রিয় মৌল 100 সনাক্তকরণ হইল ( 19 ডিসেম্বর, 1952 ; 1 মার্চ, 1953 )। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, মাত্র 200 পরমাণু লইয়া মৌল 100 সনাক্ত করা হইয়াছিল। পরমাণুর শক্তির ভগীরথ, আইনস্টাইনের সম্মানে মৌল 99 এর নামকরণ হইল আইনস্টাইনিয়াম (Einsteinium, Es) এবং ফের্মির সম্মানে মৌল 100 অভিহিত হইল ফের্মিয়াম (Fermium, Fm)। গবেষণাগারে পরমাণু-চুল্লীতে প্লুটোনিয়াম-239 কে 2/3 বছর নিউট্রন দ্বারা আক্রান্ত করার পর অতি জটিল রাসায়নিক প্রক্রিয়া দ্বারা মাত্র কয়েক মাইক্রোগ্রাম বিশুদ্ধ আইনস্টাইনিয়াম-253 উৎপন্ন করা হইয়াছিল।

## ৬.৭ মৌল 101 : মেণ্ডেলিভিয়াম (Mendelevium, Md)

মৌল 101 আবিষ্কার এক নাটকীয় ঘটনার মতো চমকপ্রদ। ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর ভারী মৌলগুলি পৃথক্ ও সনাক্ত করা উত্তরোত্তর দুরূহ ছিল কারণ ইহাদের অর্ধায়ুষ্কাল (Half-life) হ্রস্ব হইতে হ্রস্বতর হইতেছিল এবং প্রভূত তেজস্ক্রিয় লক্ষ্যবস্তু হইতে উক্ত ক্ষণজীবী মৌলগুলির শুদ্ধিকরণের গুরুতর সমস্যা ছিল। কিন্তু বার্ক্‌লের বিজ্ঞানীগোষ্ঠীর অতন্দ্র সাধনার বলে

এই অসাধ্যসাধনও সম্ভবপর হইল। হিসাব করিয়া দেখা গেল যে, $10^9$ পরমাণু বিশিষ্ট আইনস্টাইনিয়াম-253 লক্ষ্যবস্তুকে যদি 40 Mev শক্তি-বিশিষ্ট আলফা-কণা দ্বারা ( $10^{14}$ কণা প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটার আয়তনে) 27 ঘণ্টা ( $=10^4$ সেকেণ্ড ) অবিচ্ছিন্নভাবে আঘাত করা হয়, তবে মৌল 101 এর 1টি পরমাণু পাওয়া যাইবে।

$$N = N_1 \sigma I t$$

$N =$ মৌল 101 এর পরমাণুসংখ্যা ;

$N_1 =$ লক্ষ্যবস্তুর পরমাণুসংখ্যা $(=10^9)$

$\sigma =$ কেন্দ্রক বিক্রিয়ার প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) ( $=10^{-27}$ বর্গ-সেণ্টিমিটার )

$I =$ আলফা-কণা প্রবাহ মাত্রা ( $=10^{14}$ কণা প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে ) ;

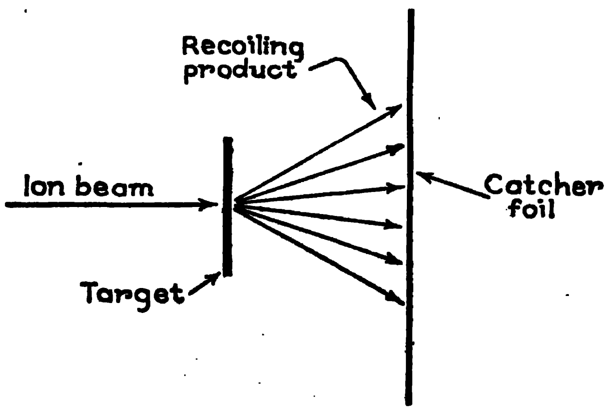
$t =$ আক্রমণের ব্যাপ্তিকাল ( $=10^4$ সেকেণ্ড )

উপরের সমীকরণে যথাযথ মানগুলি বসাইয়া আমরা পাই—

$$N \approx (10^9)(10^{-27})(10^{14})(10^4) = 1$$

অর্থাৎ উপরোক্ত সর্তে মৌল 101 এর উৎপাদন হইবে মাত্র একটি পরমাণু।

ইহা হইতে পরীক্ষার দুরূহতা সহজেই বোধগম্য হইতে পারে। লক্ষ্যবস্তুর $10^9$ পরমাণু হইতে নূতন মৌলের মাত্র একটি পরমাণু পৃথক্ করা এবং 1 ঘণ্টার




চিত্র 6.3 : প্রতিক্ষেপণ পদ্ধতি (Recoil technique)

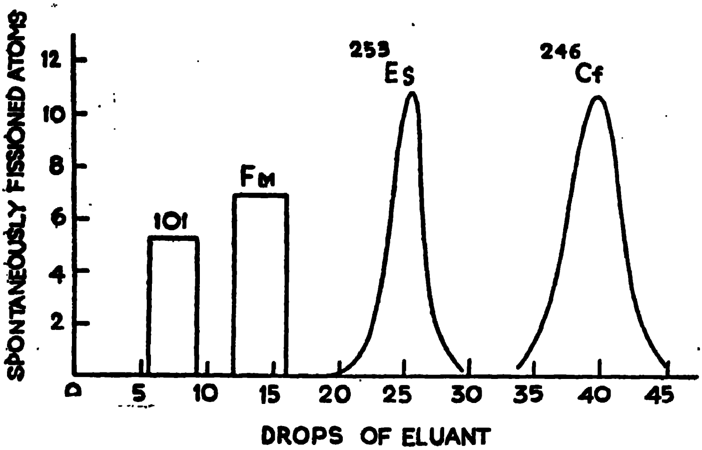
মধ্যে এই পৃথকীকরণ ও সনাক্তকরণের কার্য সমাপ্ত করা ( কারণ অর্ধায়ুষ্কাল অল্প ) বিজ্ঞানীরা এই দুইটি কঠোর কার্যের সম্মুখীন হইলেন। এই দুঃসাধ্য কার্যের জন্য উদ্ভাবিত হইল অভিনব প্রযুক্তিবিদ্যা—**প্রতিক্ষেপণ পদ্ধতি (Recoil technique)**। একটি সোনার পাতে আইনস্টাইনিয়ামের সূক্ষ্ম আস্তরণ ন্যস্ত করা হইল ( চিত্র 6.3 )। পাতটির পশ্চাৎদিকে আলফা রশ্মি নিপাতিত করা হইল। পাতটির অনতিদূরে আর একটি সোনার পাত (Catcher foil) রাখা ছিল ; মৌল 101 এর পরমাণু প্রতিক্ষিপ্ত (recoil) হইয়া সংলগ্ন হইতে পারিত শেষোক্ত সোনার পাতে (Catcher foil)। শেষোক্ত সোনার পাতে কেবল মৌল 101 এর পরমাণু ছিল এবং মূল আইনস্টাইনিয়ামের কোনও পরমাণুর অস্তিত্ব থাকার সম্ভাবনা ছিল না। এই শেষোক্ত সোনার পাতটিকে পরীক্ষান্তে দ্রবীভূত করিয়া আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়া দ্বারা নূতন মৌলের অনুসন্ধান চলিল। পুঙ্খানুপুঙ্খরূপে পরীক্ষার পর পর্যবেক্ষণ করা হইল যে, আয়ন বিনিময় চিত্রলেখে মৌল 100 ও 101 এর অংশ (fraction) আবির্ভাবের সময় স্বতঃস্ফূর্ত পরমাণু বিখণ্ডন-জনিত তেজস্ক্রিয়তা (Spontaneous fission) বৃদ্ধি পাইল। এই পরমাণু বিখণ্ডনের গণনা (fission counts) যাহাতে সকলের গোচরীভূত হয় সেইজন্য গবেষণাগারের গণনাকারক সার্কিটের (counting circuit) সঙ্গে রসায়ন-ভবনের অগ্নিনির্বাপক ঘণ্টা সংলগ্ন করা হইল। প্রতিবার পরমাণু বিখণ্ডনের ঘটনা সংঘটিত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে অগ্নিনির্বাপক ঘণ্টা সজোরে ধ্বনিত হইতে লাগিল। অবশ্য অল্পকাল পরে সরকারী অগ্নিনির্বাপক বিভাগের হস্তক্ষেপে বার্ক্‌লে-বিজ্ঞানীদের উক্ত কৌশল-প্রয়োগ ক্ষান্ত হইল।

1955 সালের 18 ফেব্রুয়ারী সারারাত্রিব্যাপী এক ঐতিহাসিক পরীক্ষা অনুষ্ঠিত হইয়াছিল। তিন ঘণ্টা যাবৎ আলফা রশ্মির আক্রমণ তিন বার উপর্যুপরি পরিচালিত হইল এবং বিক্রিয়াজ পদার্থগুলি আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়ায় সত্বর পৃথক্‌ ও সনাক্ত করা হইল। মৌল 101 এর অবস্থানে মোট 5টি গণনা (Count) এবং মৌল 100 এর অবস্থানে 8টি পরমাণু বিখণ্ডনের কাউণ্ট দেখা গেল ( চিত্র 6.4 )। আয়ন বিনিময় চিত্রলেখ সম্বন্ধে বিশদ আলোচনা পরবর্তী পরিচ্ছেদে করা হইবে।

$$^{253}_{99}Es + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{256}_{101}Md + ^{1}_{0}n$$

$$^{256}_{101}Md \xrightarrow[T_{1/2} = 1.5 \text{ ঘণ্টা}]{\text{electron capture}} ^{256}_{100}Fm$$

$^{256}_{100}Fm \xrightarrow[T_{1/2}=160 \text{ মিনিট}]{}$ স্বতঃস্ফূর্ত বিখণ্ডন (Spontaneous fission)




চিত্র 6.4 : মৌল 101 আবিষ্কারের আয়ন-বিনিময় চিত্রলেখ।

কেন্দ্রক কর্তৃক K-স্তরের ইলেকট্রন অধিকার করাকে Electron capture বা K-capture বলা হয়। এই প্রক্রিয়ায় কেন্দ্রকের আধান হ্রাস পায় এবং নিম্নতর ক্রমাঙ্কের কেন্দ্রকে পরিণত হয়। সাধারণভাবে এই ধরনের বিক্রিয়া লেখা হয় :

$$^{A}_{Z}X + ^{0}_{-1}e \rightarrow ^{A}_{Z-1}Y + \underset{(\text{নিউট্রিনো})}{\nu} + Q \text{ ( শক্তি )}$$

মৌল 101 এর নামকরণ হইল মেণ্ডেলিভিয়াম (Mendelevium) পর্যায়-সারণীর স্রষ্টা রুশ বিজ্ঞানী মেণ্ডেলিভের সম্মানে সাঙ্কেতিক চিহ্ন নির্দিষ্ট হইল Md। পরে অধিকমাত্রায় আইনস্টাইনিয়াম লইয়া কয়েক সহস্র মেণ্ডেলীভিয়ামের পরমাণু উৎপাদন করা হইয়াছিল।

## ৬.৮ মৌল 102 : নোবেলিয়াম (Nobelium, No)

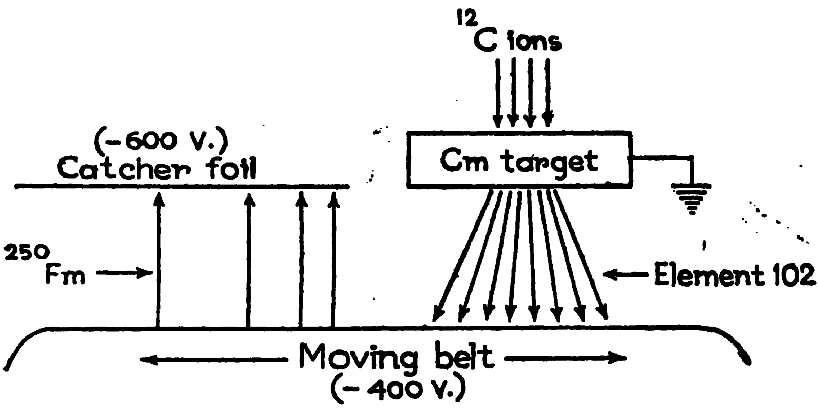
1957 সালে স্টকহল্‌মের পদার্থবিদ্যার নোবেল ইনস্টিটিউটে এক আন্তর্জাতিক বিজ্ঞানীগোষ্ঠী ( ইংল্যাণ্ড, সুইডেন ও আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্র ) মৌল 102 আবিষ্কার ঘোষণা করিলেন। কুরিয়াম-244 ও কার্বন-13 আয়নের

কেন্দ্রক বিক্রিয়া হইতে এই নূতন মৌল উদ্ভূত হইল। 1958 সালে ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের অভিনব যন্ত্র **Heavy Ion Linear Accelerator** ( সংক্ষেপে **HILAC**) এর সাহায্যে মৌল 102 উৎপন্ন হইল কুরিয়াম-246 কার্বন 12 বিক্রিয়া দ্বারা।

$$^{246}_{96}Cm + ^{12}_{6}C \rightarrow ^{254}_{102}No + 4\,^{1}_{0}n$$

$$^{254}_{102}No \xrightarrow{T_{1/2} = 3 \text{ সেকেণ্ড}} ^{250}_{100}Fm + ^{4}_{2}He$$

এক অভিনব পদ্ধতিতে মৌল 102 কে লক্ষ্যবস্তু কুরিয়াম-244 হইতে অপসারণ এবং ইহার "কন্যা মৌল" (daughter element) হইতে পৃথক্ করা হইল ( চিত্র 6.5 )। একটি পাতলা নিকেল পাতের উপর

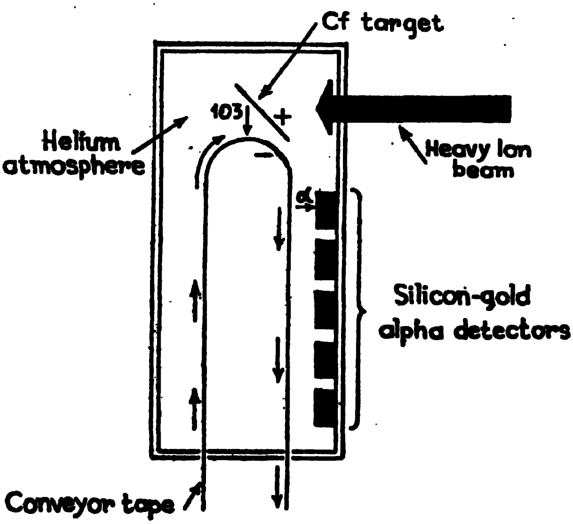



চিত্র 6.5 : মৌল 102 আবিষ্কারের জন্য সরঞ্জাম।

কুরিয়ামের আস্তরণ প্রস্তুত করা হইল এবং ইহাকে হিলিয়াম গ্যাসপূর্ণ আধারে সংরক্ষিত করা হইল। পরে এই কুরিয়াম আস্তরণের কার্বন-12 আয়ন-রশ্মির সম্পাত ঘটাইয়া বিক্রিয়াজ পরমাণুগুলি হিলিয়াম গ্যাসে অধিশোষণ করা হইল। পরাধর্মী এই পরমাণুগুলি একটি উপযুক্ত সঞ্চরণশীল অপরাধর্মী ধাতুর বলয়ে (metallic belt) আকৃষ্ট করা হয়। এই বলয়টি একটি অধিকতর অপরাধর্মী আকর্ষণকারী ধাতুপাতের (catcher foil) নিচে দিয়া যাইবার সময় মৌল 102 পরমাণুর প্রায় অর্ধেকের "কন্যা পরমাণুগুলি" বলয় হইতে আকর্ষণকারী ধাতুপাতে ধাবিত হয়। এই শেষোক্ত ধাতুপাত হইতে নূতন মৌল পরমাণুর পরীক্ষা-নিরীক্ষা চলিল। অ্যালফ্রেড নোবেলের স্মরণে এই নূতন মৌলটির নামকরণ হইল নোবেলিয়াম **(Nobelium)**।

## ৬.৯ মৌল 103 : লরেন্সিয়াম (Lawrencium, Lw)

ভারী ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল প্রস্তুত করণের জন্য বার্কলে-বিজ্ঞানীরা এক নূতন পরমাণু-বিভাজন যন্ত্র উদ্ভাবন করিলেন Heavy Ion Linear




চিত্র 6.6 : মৌল 103 আবিষ্কারের যন্ত্রপাতি।
ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের 60" সাইক্লোট্রন হইতে উদ্ভূত ডয়টারন রশ্মি (60-Mev শক্তি) দেখা যাইতেছে।

Accelerator (HILAC)। ইহার সাহায্যে নোবেলিয়াম উৎপাদন করা হইয়াছিল (চিত্র 6.6)।

এইবার গিওর্সোর (Ghiorso) নেতৃত্বে বিজ্ঞানীরা ক্যালিফোর্নিয়াম-252 ও 110-Mev বোরন আয়ন ($^{11}B$) লইয়া অনুসন্ধান পরিচালনা করিলেন। একটি পাতলা নিকেল ধাতুপাতের উপর 0·3 মাইক্রোগ্রাম ($0·3\times10^{-6}$ গ্রাম) ক্যালিফোর্নিয়ামের তড়িত প্রলেপন (electroplate) দেওয়া হইল। এই লক্ষ্যবস্তুর (target) সহিত 110-Mev বোরন আয়নের কেন্দ্রক বিক্রিয়া পরিচালিত হইল (চিত্র 6.7)। লক্ষ্যবস্তু হইতে মৌল 103 প্রতিক্ষিপ্ত হইয়া হিলিয়াম গ্যাসে আশ্রয় গ্রহণ করে এবং পরে তাম্রপ্রলিপ্ত (copper-plated) প্লাস্টিক ফিতায় সংগৃহীত হয়। উক্ত ফিতা স্বয়ংক্রিয়ভাবে বিশেষ তেজস্ক্রিয়তা নিরূপক যন্ত্রের (Silicon-gold

radiation detector) কাছে চালিত হওয়ার পর উপজাত পরমাণুর তেজস্ক্রিয় বিভাজনের হার ও আলফা-কণার শক্তি পরিমাপ করা যায়।

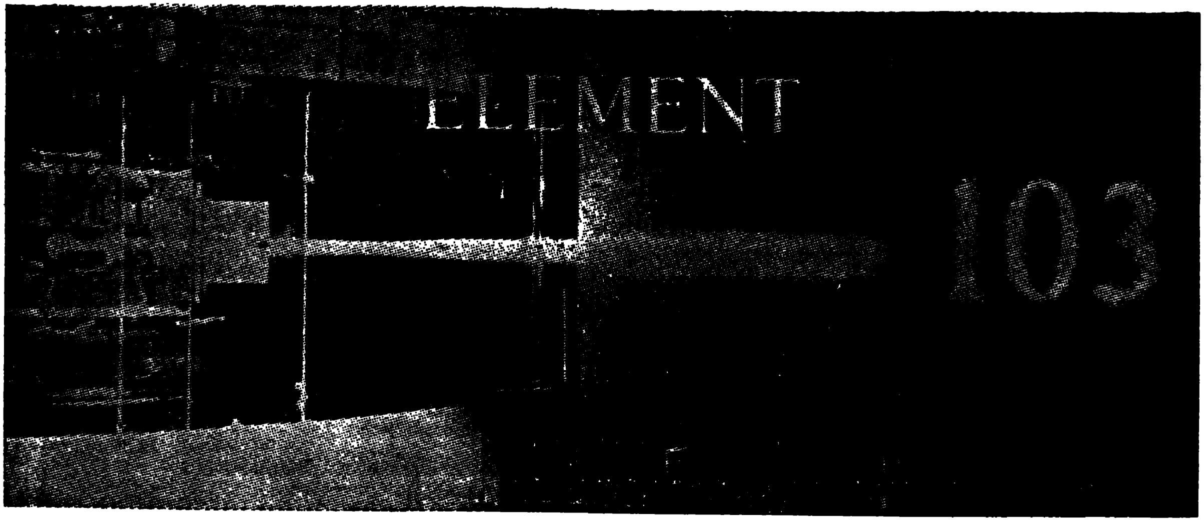
$$^{252}_{98}Cf + ^{11}_{5}B \rightarrow ^{257}_{103}Lw \ (T_{1/2} = 8 \text{ সেকেণ্ড}) + 6\ ^{1}_{0}n$$

$$^{252}_{98}Cf + ^{10}_{5}B \rightarrow ^{257}_{103}Lw \ (T_{1/2} = 8 \text{ সেকেণ্ড}) + 5\ ^{1}_{0}n$$

মৌল 103 এর অর্ধায়ুষ্কাল মাত্র 8 সেকেণ্ড। সাইক্লোট্রনের স্রষ্টা লরেন্সের সম্মানে ইহা **লরেন্সিয়াম (Lawrencium)** নামে অভিহিত।

মৌল 103 আবিষ্কারের সঙ্গে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী (93—103) বিরলমৃত্তিক মৌলশ্রেণীর (58—71) অনুরূপ সম্পূর্ণ হইল।

# DISCOVERY OF Lawrencium




চিত্র 6.7 : মৌল 103 প্রস্তুতের সরঞ্জাম।

# ৭। পরীক্ষা পদ্ধতি ও প্রযুক্তি
## ( Experimental Methods & Techniques )

ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী এক অভূতপূর্ব মৌল সমাবেশ কারণ ইহারা কৃত্রিম, গবেষণাগারে সৃষ্ট, ইহাদের তেজস্ক্রিয়তা অত্যধিক এবং প্লুটোনিয়াম ছাড়া ইহারা অত্যন্ত অল্প পরিমাণে ( 1 হইতে $10^{12}$ পরমাণু ) উৎপন্ন হয়। ইহাদের আবিষ্কার ও রাসায়নিক অনুসন্ধানের জন্য অভিনব পদ্ধতি ও প্রযুক্তি উদ্ভাবিত হইয়াছিল।

### ৭.১ তেজস্ক্রিয় পদার্থ গবেষণার সরঞ্জাম

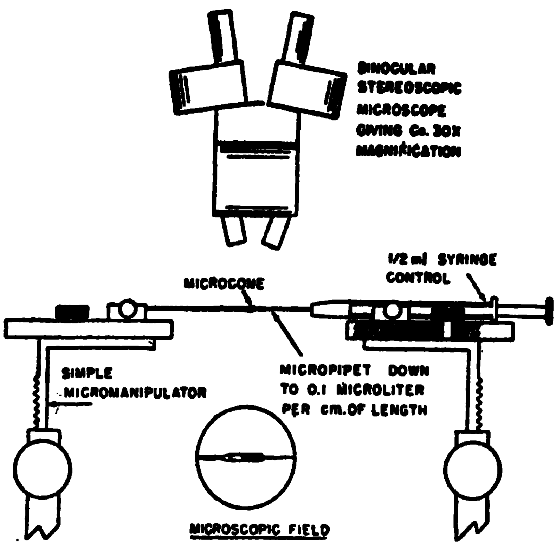
ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী অত্যধিক তেজস্ক্রিয় হওয়ায় ইহাদের নাড়াচাড়া করার জন্য বিশেষ ব্যবস্থা ও সরঞ্জাম ব্যবহার করা অবশ্য প্রয়োজনীয়। হাতে রবারের দস্তানা পরা দরকার এবং অনুসন্ধানের কার্যাদি একটি বিশেষ **দস্তানা-বাক্সের (Gloved box)** মধ্যে সম্পন্ন করা হয়। **সীসা-জানালা (Lead glass window)** সম্বলিত বিশেষ রুদ্ধ প্রকোষ্ঠের অভ্যন্তরে তেজস্ক্রিয় পদার্থ ও পরীক্ষার সমস্ত সরঞ্জাম রাখা হয় এবং **দূর-নিয়ন্ত্রক (remote control) যান্ত্রিক হাতের** সাহায্যে **(master-slave manipulator)** উক্ত প্রকোষ্ঠের বাহির হইতে যাবতীয় পরীক্ষার কার্য পরিচালনা করা হয়। ইহার জন্য বিশেষ প্রশিক্ষণ ও দক্ষতা অর্জন করা আবশ্যক।

একমাত্র প্লুটোনিয়াম ছাড়া এই মৌল শ্রেণীর অন্যান্য মৌলগুলি অত্যন্ত অল্পমাত্রায় ( $1-10^{12}$ পরমাণু বা $10^{-9}$ গ্রাম ) উৎপন্ন হইয়াছিল যাহা আদৌ তোলনযোগ্য বা দৃশ্যমান ছিল না। এত অল্পমাত্রায় রাসায়নিক গবেষণার কাজ সম্পন্ন করিবার জন্য তেজস্ক্রিয় ট্রেসার প্রযুক্তি ব্যবহৃত হইত ( দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ )। তবে আলোচ্য ক্ষেত্রে তেজস্ক্রিয় পরমাণু বা কেন্দ্রকটির (Nuclide) গতিপথ রাসায়নিক প্রক্রিয়ার বিভিন্ন পর্যায়ে অনুধাবন করা হয়, ইহার তেজস্ক্রিয়তা ও শক্তি (energy) পরিমাপনের দ্বারা। অধঃক্ষেপণ প্রক্রিয়ার জন্য তেজস্ক্রিয়তাশূন্য বাহক আইসোটোপ (Non-radioactive

carrier isotope) ব্যবহার করা হয়। দৃষ্টান্তস্বরূপ, প্লুটোনিয়াম ফস্‌ফেট অধঃক্ষেপণের জন্য বিসমাথ ফস্‌ফেট ব্যবহৃত হয়। কিন্তু আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়ার জন্য কোনও বাহক আইসোটোপের প্রয়োজন হয় না। পূর্বেই উল্লিখিত হইয়াছে যে, ট্রেসার প্রযুক্তির সাহায্যে মৌলটির জারণস্তর (oxidation state), যৌগ আয়ন, বিভিন্ন যৌগের দ্রাব্যতা সম্বন্ধে প্রয়োজনীয় তথ্য পাওয়া যায়। অবশ্য কয়েকটি ধর্ম-নিরূপণে যেমন—কেলাসের গঠনবিন্যাস (crystal structure), ধাতু নিষ্কাশন, বর্ণালী লেখ (spectroscopy) ইত্যাদিতে ট্রেসার প্রযুক্তি প্রযোজ্য হয়।

## ৭.২ বিশেষ রাসায়নিক প্রযুক্তি

অদৃশ্যমান ও অতোলনযোগ্য ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের ( ব্যতিক্রম : প্লুটোনিয়াম ) রাসায়নিক অনুসন্ধানের এক বিশেষ প্রযুক্তি উদ্ভাবিত হইল—




চিত্র 7.1 : অতিউন পরিমাণ স্তরে অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া অনুধাবন করিবার যন্ত্রপাতি।

**অতিউন রসায়ন প্রণালী (ultramicro chemical technique) :** উক্ত প্রযুক্তির উদ্ভাবক কানিংহ্যাম ও ওয়ার্নার (Cunningham & Werner, 1942)। অধিকাংশ ক্ষেত্রে দ্রবণের পরিমাণ $10^{-1}$ হইতে

$10^{-5}$ মিলিলিটার; 0·1 – 1 মিলিলিটার ব্যাসযুক্ত কাচের নল হইতে প্রস্তুত পরীক্ষানল (test tube) ও বীকার; 0·1 – 100 মাইক্রোগ্রাম কঠিন বিকারক দ্রব্য ও অধঃক্ষেপ ইত্যাদি পরীক্ষায় ব্যবহার করা হইত। অত্যল্প পরিমাণ ($10^{-9}$ গ্রাম) পরিমাপের জন্য উচ্চ সুবেদিতাসম্পন্ন তৌলযন্ত্র (highly sensitive balance) উদ্ভাবিত হইল এবং পরীক্ষা-নিরীক্ষার কার্য সম্পন্ন হইত অণুবীক্ষণ যন্ত্রের যান্ত্রিক মঞ্চে (mechanical stage) (চিত্র 7.1)।

রঞ্জনরশ্মি বিচ্ছুরণ প্রণালী দ্বারা কেলাস চূর্ণের অণুবিন্যাস নিরূপিত হইত। অত্যল্প পরিমাণের জন্য ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের একক কেলাস (single crystal) প্রস্তুত করা সম্ভবপর ছিল না, তাই কয়েক মাইক্রোগ্রাম (0·01 – 0·1) কেলাস চূর্ণ ব্যবহৃত হইত। দৃষ্টান্তস্বরূপ, আয়ন বিনিময় রঞ্জন কণার (Resin bead) উপর 0·1 – 0·2 মাইক্রোগ্রাম ক্যালিফোর্নিয়াম যৌগের কেলাস গঠন অনুসন্ধান করা হইয়াছিল। একটি পরাধর্মী রঞ্জন কণার উপর ক্যালিফোর্নিয়াম দ্রবণ অধিশোষণ (adsorbed) করা হইল। পরে ইহাকে শুষ্ক করিয়া 1300° সেণ্টিগ্রেড তাপে তপ্ত করা হইল। ফলে ক্যালিফোর্নিয়াম অক্সাইড যৌগ প্রস্তুত হয়। এই অক্সাইড যৌগ সহ রঞ্জন-কণা ট্রাইক্লোরাইড, অক্সিক্লোরাইড এবং শেষে আবার অক্সাইডে পরিণত হয়। এই তিনটি যৌগের কেলাস গঠন বিন্যাস রঞ্জনরশ্মি বিচ্ছুরণ প্রক্রিয়ায় (x-ray diffraction) আলোকপাত করা হইয়াছিল (চিত্র 6.2)।

## ৭.৩ প্লুটোনিয়াম উৎপাদন পদ্ধতি

পূর্ববর্তী পরিচ্ছেদে প্লুটোনিয়াম আবিষ্কার প্রসঙ্গে উল্লেখ করা হইয়াছে প্রথমে প্লুটোনিয়াম-238 এবং শেষে প্লুটোনিয়াম-239 পাওয়া যায় ইউরেনিয়ামের সঙ্গে যথাক্রমে ডয়টারন ও নিউট্রনের কেন্দ্রক বিক্রিয়া দ্বারা।

$$^{238}_{92}U \xrightarrow[+^{1}_{0}n]{^{2}_{1}H} {}^{238}_{93}Np \xrightarrow{\beta^-} {}^{238}_{94}Pu$$

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{^{1}_{0}n} {}^{239}_{92}U \xrightarrow[+\gamma]{\beta^-} {}^{239}_{93}Np \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}_{94}Pu$$

প্লুটোনিয়াম-239 অতি সহজেই পরমাণু বিখণ্ডন ক্রিয়া সম্পন্ন করে। তাই বিজ্ঞানীদের ধারণা হইল, ইহাকে পরমাণু শক্তির উৎস হিসাবে ব্যবহার করা যাইতে পারে। ইহার ফলস্বরূপ, সীবর্গের নেতৃত্বে হ্যানফোর্ড কারখানায়

প্লুটোনিয়াম শিল্পপ্রকল্প প্রচলিত হইল। অজৈব রসায়নের ইতিহাসে ইহা এক যুগান্তকারী ঘটনা।

নিউট্রনের বিক্রিয়ায় ইউরেনিয়াম হইতে ( বা প্লুটোনিয়াম হইতে ) অনেক উপজাত দ্রব্য উৎপন্ন হয়। পারমাণবিক বিখণ্ডনের সঙ্গে প্রায় দুই শত উপজাত আইসোটোপ (**Fission Product**) উদ্ভূত হয়। ইহাদের তালিকা— বিশেষতঃ দীর্ঘজীবী এবং উচ্চ উৎপাদন মাত্রা বিশিষ্ট পদার্থগুলি নিচে দেওয়া হইল।

## সারণী 7.1 : দীর্ঘজীবী বিখণ্ডনজাত পদার্থ

( উচ্চ উৎপাদন মাত্রা )

| বিখণ্ডনজাত মৌল | উৎপাদন মাত্রা, % | অর্ধায়ুকাল | বিটা-কণার শক্তি, Mev | গামা রশ্মির শক্তি Mev |
|---|---|---|---|---|
| $^{85}Kr$ | 0·24 | 9·4 বছর | 0·695 ; 0·15 | 0·54 |
| $^{89}Sr$ | 4·6 | 53 দিন | 1·463 | — |
| $^{90}Sr$ | 5·3 | 19·9 বছর | 0·61 | — |
| $^{91}Y$ | 5·4 | 61 দিন | 1·537 | 1·2 ; 0·2 |
| $^{95}Zr$ | 6·4 | 65 দিন | 0·84 ; 0·371 | 0·721 |
| $^{99}Tc$ | 6·2 | $2·12 \times 10^5$ বছর | 0·290 | — |
| $^{103}Ru$ | 3·7 | 39·8 দিন | 0·698 ; 0·217 | 0·498 |
| $^{106}Ru$ | 0·5 | 1·0 বছর | 0·39 | — |
| $^{131}I$ | 2·8 | 8·14 দিন | 0·608 ; 0·815 | 0·722 ; 0·637 |
| $^{133}Xe$ | 6 | 5·27 দিন | 0·345 | 0·08 |
| $^{137}Cs$ | 6·2 | 33 বছর | 0·523 ; 1·2 | 0·662 |
| $^{140}Ba$ | 6·1 | 12·8 দিন | 0·48 ; 1·022 | 0·304 ; 0·537 |
| $^{141}Ce$ | 6 | 33·1 দিন | 0·442 ; 0·581 | 0·145 |
| $^{143}Pr$ | 6 | 13·8 দিন | 0·932 | — |
| $^{144}Ce$ | 5·3 | 282 দিন | 0·170 ; 0·300 | 0·033 ; 0·054 |
| $^{147}Nd$ | 2·6 | 11·3 দিন | 0·38 ; 0·60 | 0·309 ; 0·520 |
| $^{147}Pm$ | 2·6 | 2·6 বছর | 0·223 | — |

ইউরেনিয়াম-235 এর বিখণ্ডনজাত মৌলগুলির মধ্যে শতকরা 97·3 ভাগ লঘু বর্গের (light group) এবং শতকরা 97·1 ভাগ গুরু বর্গের (heavy group) মৌল সনাক্ত করা হইয়াছে। প্রকৃতপক্ষে প্রায় দুই শতাধিক উপজাত মৌল (fission product) প্রায় পঞ্চাশটি বিখণ্ডন শৃংখল (fission chain) হইতে উদ্ভূত হওয়ার তথ্য পাওয়া গিয়াছে। এই জটিলতম সংমিশ্রণ হইতে প্লুটোনিয়াম শোধন করা অত্যন্ত দুরূহ কার্য। কিন্তু এই অসাধ্যসাধন করিলেন সীবর্গ্ ও তাঁহার সহকর্মীরা বিসমাথ ফস্‌ফেট সহাধঃক্ষেপণ, দ্রাবক নিষ্কাশন (solvent extraction), আয়ন বিনিময় (ion exchange) ইত্যাদি প্রযুক্তি দ্বারা। পৃথকীকরণের নীতিগুলি নিচে আলোচিত হইল। স্মরণ রাখা দরকার, আলোচ্য সংমিশ্রণে আছে ইউরেনিয়াম, নেপ্‌চুনিয়াম, প্লুটোনিয়াম এবং পারমাণবিক বিখণ্ডনজাত মৌলগুলি।

**(ক) জারণস্তরের স্থায়িত্ব (Stability of Oxidation States)**—ইউরেনিয়াম ও ইউরেনিয়ামোত্তর আয়নগুলির জারণস্তরের স্থায়িত্বের ক্রম এইরূপ :

$$UO_2^{2+} = NpO_2^{2+} > PuO_2^{2+} > AmO_2^{2+}$$

[ জারণস্তর VI ]

$$Am^{3+} > Pu^{3+} \gg Np^{3+} = U^{4+}$$

উপরোক্ত ক্রমগুলি হইতে সহজেই বোঝা যায়, উপযুক্ত জারক বা বিজারক দ্রব্যের সাহায্যে এই মৌলগুলি পৃথক্ করা সম্ভব এবং তারপর অধঃক্ষেপ কিংবা দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতি প্রয়োগ করা যায়। প্লুটোনিয়ামকে সহজেই সোডিয়াম বিসমুথেট (sodium bismuthate), পটাশ পার্মাঙ্গানেট (potassium permanganate) বা ডাইক্রোমেট (dichromate) দ্বারা জারিত করা যায় ( জারণস্তর IV→VI )। আবার প্লুটোনিয়াম (VI)-কে আয়রন (II) অথবা নাইট্রাইট আয়ন (nitrite) সহযোগে বিজারিত করা যায় (VI→IV)।

**(খ) জৈব দ্রাবকে নিষ্কাশন যোগ্যতা (Extractability in organic solvents)**—আলোচ্য মৌলগুলির জলীয় নাইট্রেট দ্রবণে $MO_2^{2+}$ আয়নগুলি জৈব দ্রাবকে নিষ্কাশনযোগ্য। চতুর্থ জারণস্তরের আয়নগুলি, $M^{4+}$ নাইট্রিক অ্যাসিড দ্রবণ (6M) হইতে ট্রাইবুটাইল ফস্‌ফেট (Tributyl phos-

phate)—কেরোসিন দ্রবণে নিষ্কাশিত হয়। এইভাবে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড (10 – 16 Molar) হইতে $M^{3+}$ আয়নগুলি জৈব দ্রাবকে নিষ্কাশনযোগ্য।

(গ) **সহাধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া**—$M^{3+}$ ও $M^{4+}$ আয়নগুলি অ্যাসিড দ্রবণ হইতে ফ্লুয়োরাইড কিংবা ফস্‌ফেট হিসাবে সহাধঃক্ষিপ্ত হয়। উচ্চতর জারণ-স্তরের আয়ন $MO_2^{2+}$ এই অবস্থায় অধঃক্ষিপ্ত হয় না—ইহাদের অধঃক্ষেপ সালফেট যৌগ আয়নের আকারে নিবৃত্ত করা যায়।

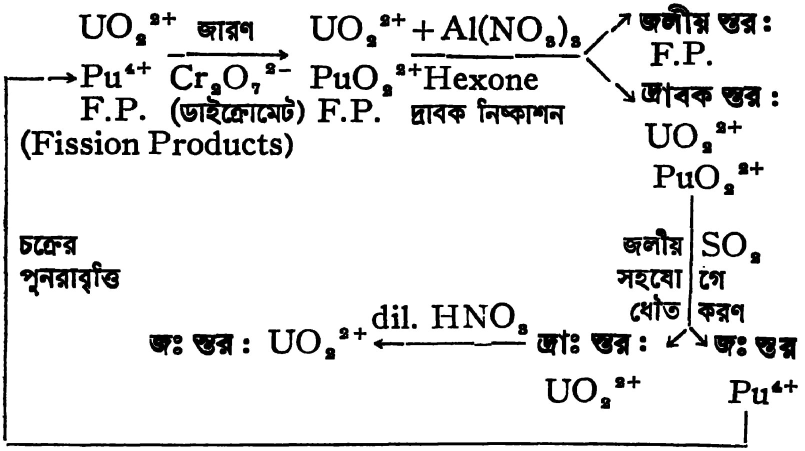
সহাধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া দ্বারা সর্বপ্রথম প্লুটোনিয়াম উৎপাদন সম্পন্ন হইয়াছিল। বিসমাথ ফস্‌ফেট (bismuth phosphate) এই ঐতিহাসিক গুরুত্বপূর্ণ সহাধঃক্ষেপক (coprecipitant)। ইহা প্লুটোনিয়াম (IV) কে (জারণস্তর IV) মাত্রিকভাবে (quantitatively) অধঃক্ষিপ্ত হইবার সহায়তা করে। এই সহাধঃক্ষেপণ অনতিগাঢ় নাইট্রিক বা সালফিউরিক অ্যাসিড মাধ্যমে সম্ভব। এই অবস্থায় ইউরেনিয়াম ফস্‌ফেট অধঃক্ষিপ্ত হয় না। অতএব ইউরেনিয়াম-প্লুটোনিয়াম পৃথকীকরণ সম্ভবপর। পারমাণবিক বিখণ্ডনের উপজাত মৌলগুলির অতি সামান্য অংশ বিসমাথ ফস্‌ফেট অধঃক্ষেপের সহিত বাহিত হয়। অতএব এই জটিল সংমিশ্রণ হইতে প্লুটোনিয়াম শোধনের জন্য প্রয়োজন বিসমাথ ফস্‌ফেট সহাধঃক্ষেপণ এবং জারণ-বিজারণ চক্রের পুনরাবৃত্তি। এই চক্রের শেষ পর্যায়ে বিসমাথ ফস্‌ফেটের পরিবর্তে ল্যান্‌থানাম ফ্লুয়োরাইড বাহক প্রয়োগ করা হয়।

(ঘ) **আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়া (Ion Exchange Technique)**—ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর (বিশেষতঃ ভারী মৌলগুলির) আবিষ্কারে আয়ন বিনিময় প্রযুক্তির এক বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা ছিল। ইহার সমধিক গুরুত্বের জন্য পৃথক্‌ভাবে এই পরিচ্ছেদে আলোচনা করা হইবে।

পরমাণু-চুল্লীর ব্যবহৃত ইউরেনিয়াম জ্বালানী দণ্ড (fuel rod) হইতে প্লুটোনিয়াম উৎপাদন করা হয়। অ্যালুমিনিয়ামের আবরণীসহ জ্বালানী দণ্ড নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করা হয়। দ্রাবক নিষ্কাশন, সহাধঃক্ষেপণ, জারণ-বিজারণ চক্রের সাহায্যে বিখণ্ডন উপজাত মৌলগুলির অধিকাংশই দূরীকরণ হয়। প্রারম্ভিক নাইট্রিক অ্যাসিড দ্রবণে প্লুটোনিয়মের জারণ হয় না, অতএব IV জারণস্তর বিরাজ করে।

উপরোক্ত নীতির ভিত্তিতে কয়েকটি পৃথকীকরণ পদ্ধতির সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হইল। প্রবাহ-চিত্র (Flow sheet) সহযোগে এইগুলি বিবৃত হইল।

**(১) হেক্সোন পদ্ধতি (Hexone or Methyl isobutyl ketone method)**—হেক্সোন (বা মিথাইল আইসোবুটাইল কিটোন) দ্রাবকে ইউরেনিয়াম (VI) ও প্লুটোনিয়াম (VI) নিষ্কাশিত হয়, সুতরাং বিখণ্ডনজাত মৌল সংমিশ্রণ পৃথক্ হইয়া যায়। এইবার জৈব দ্রাবক স্তরকে সালফার ডাই-অক্সাইড জলীয় দ্রবণ দ্বারা ধৌত করিলে প্লুটোনিয়াম VI হইতে IV স্তরে বিজারিত হয় এবং জলীয় স্তরে চলিয়া আসে যাহার ফলে ইউরেনিয়াম হইতে পৃথক্ হইয়া যায়। এখন প্লুটোনিয়াম IV কে প্রারম্ভিক পর্যায়ে মিশ্রিত করিলে চক্রের পুনরাবৃত্তি ঘটে এবং বিশুদ্ধ প্লুটোনিয়াম উৎপন্ন হয়।




**(২) ট্রাইবুটাইল ফস্ফেট পদ্ধতি (Tributyl phosphate or TBP Method)**—এই ক্ষেত্রে ট্রাইবুটাইল ফস্ফেট দ্রাবক কেরোসিন দ্রবণে ব্যবহৃত হয়। অ্যাসিডের গাঢ়ত্বের উপর মৌলের নিষ্কাশন নির্ভর করে। 6 N নাইট্রিক অ্যাসিড দ্রবণে নিষ্কাশন ক্রম এইরূপ :

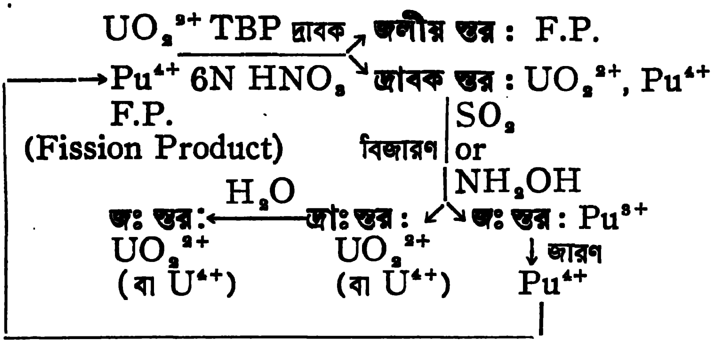
$$Pu^{4+} > PuO_2^{2+} ; \ Np^{4+} = NpO_2^{+} \gg Pu^{3+}$$

$$UO_2^{2+} > NpO_2^{2+} > PuO_2^{2+}$$

6 N অ্যাসিড-মাধ্যম হইতে $M^{3+}$ আয়নগুলির নিষ্কাশন যোগ্যতা অত্যন্ত অল্প কিন্তু 12 N হাইড্রোক্লোরিক অথবা 16 N নাইট্রিক অ্যাসিড মাধ্যম হইতে ইহাদের নিষ্কাশন বর্ধিত হয় এবং এই নিষ্কাশন ক্রম এইরূপ :

$$Np < Pu < Am < Cm < Bk$$

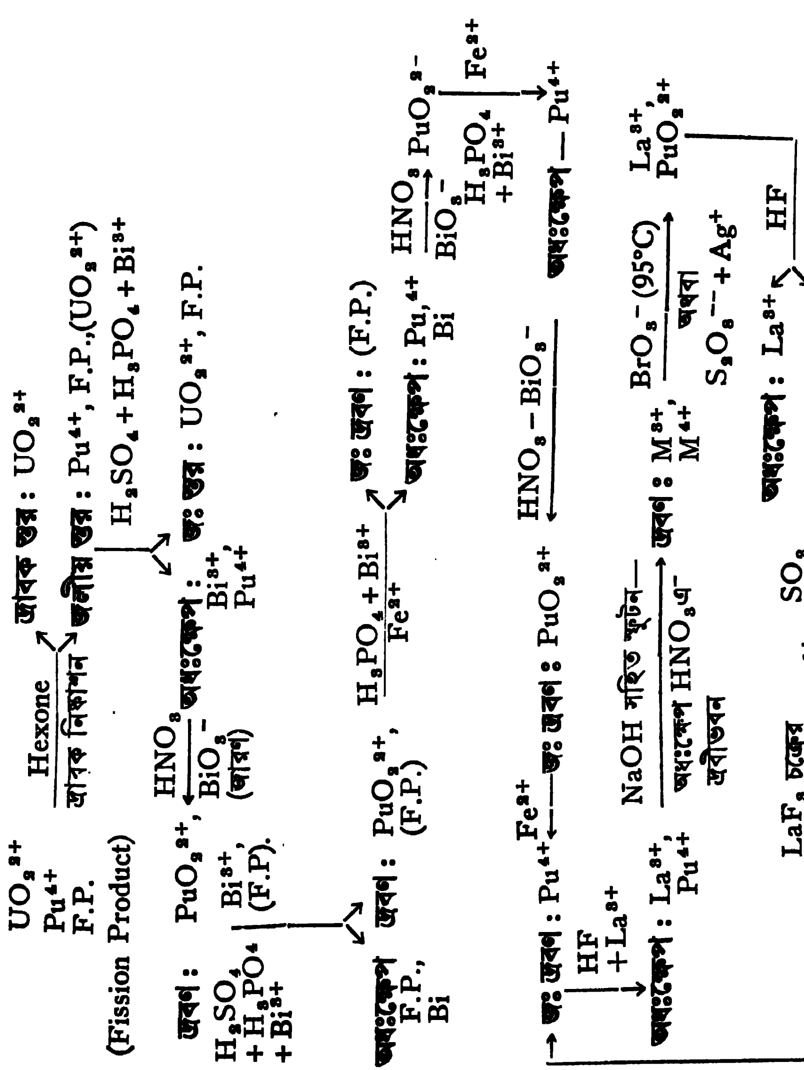
ইউরেনিয়াম-প্লুটোনিয়াম পৃথকীকরণের জন্য প্রথমে দ্রবণে প্লুটোনিয়ামকে চতুর্থ জারণস্তরে (IV) পরিণত করার জন্য বিজারক বিকারক হিসাবে নাইট্রাইট আয়ন যোগ করা হয়। প্লুটোনিয়াম IV এর চেয়ে প্লুটোনিয়াম VI এর নিষ্কাশনযোগ্যতা কম। পূর্বোক্ত পদ্ধতির মতো দ্রাবক স্তর হইতে প্লুটোনিয়ামকে বিজারক বিক্রিয়ার দ্বারা জলীয় স্তরে আনা হয়।




(৩) **বিসমাথ ফস্‌ফেট—ল্যান্‌থানাম ফ্লুয়োরাইড চক্র (Bismuth phosphate—Lanthanum fluoride cycle)**—ইউরেনিয়াম-প্লুটোনিয়ামের প্রারম্ভিক দ্রবণে নাইট্রাইট দ্বারা প্লুটোনিয়ামকে বিজারিত করা হয়। প্রথম পর্যায়ে হেক্সোন দ্বারা নিষ্কাশন করিয়া ইউরেনিয়ামকে পৃথক্ করা হয়; জলীয় স্তর হইতে প্লুটোনিয়ামকে (IV) বিসমাথ ফস্‌ফেট সহযোগে সহাধঃক্ষিপ্ত করা হয়। দ্বিতীয় পর্যায়ে এই সহাধঃক্ষেপকে কয়েকবার দ্রবীভূত ও পুনরায় অধঃক্ষিপ্ত করিয়া শোধন করা হয়। অধঃক্ষেপকে দ্রবীভূত করার জন্য নাইট্রিক অ্যাসিড ব্যবহার করা দরকার; জারক হিসাবে সোডিয়াম বিসমুথেট এবং বিজারক হিসাবে আয়রন (II) প্রযুক্ত হয়। তৃতীয় পর্যায়ে বিসমাথ ফস্‌ফেটের বিকল্প হিসাবে ল্যান্‌থানাম ফ্লুয়োরাইড ব্যবহার করা হয়। এই সময়ে প্লুটোনিয়ামকে তৃতীয় জারণস্তরে (III) পরিণত করা হয়, উপযুক্ত বিজারকের ( $Fe^{2+}$ ইত্যাদি ) সাহায্যে। ল্যান্‌থানাম ফ্লুয়োরাইড সহাধঃক্ষেপকে দ্রবীভূত করার জন্য সোডিয়াম হাইড্রোক্সাইডের সহিত স্ফুটন এবং নাইট্রিক অ্যাসিডে উত্তপ্ত করিতে হয়। শেষ পর্যায়ে এই সহাধঃক্ষেপণ কয়েকবার করা হয় এবং ল্যান্‌থানাম ফ্লুয়োরাইড চক্রের পুনরাবৃত্তি করা হয়।

প্লুটোনিয়ামের উৎপাদন শিল্প এই পদ্ধতির উপর প্রতিষ্ঠিত।

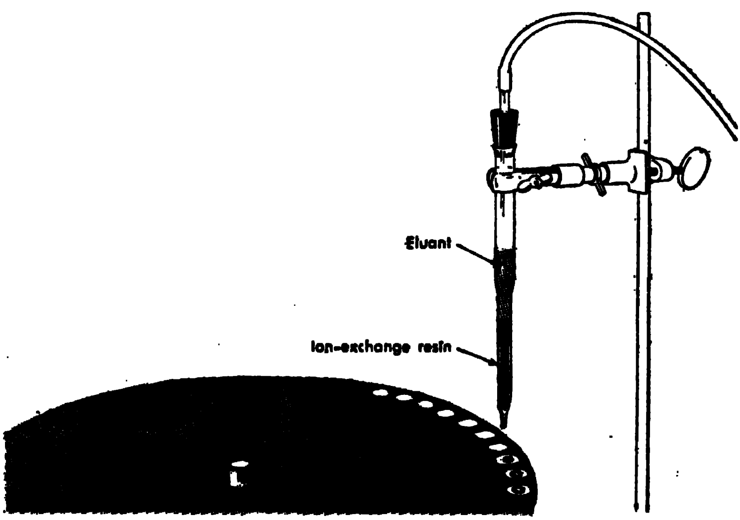
চিত্র


$UO_2^{2+}$, $Pu^{4+}$, F.P. (Fission Product)
Hexone
দ্রাবক নিষ্কাশন
জৈবিক স্তর : $UO_2^{2+}$
জলীয় স্তর : $Pu^{4+}$, F.P., ($UO_2^{2+}$)
$H_2SO_4 + H_3PO_4 + Bi^{3+}$
অধঃক্ষেপ : $Bi^{3+}$, $Pu^{4+}$
জঃ স্তর : $UO_2^{2+}$, F.P.
দ্রবণ : $PuO_2^{2+}$, $Bi^{3+}$, (F.P).
$HNO_3$
$BiO_3^-$ (জারণ)
$H_2SO_4 + H_3PO_4 + Bi^{3+}$
অধঃক্ষেপ F.P., Bi
দ্রবণ : $PuO_2^{2+}$, (F.P.)
$H_3PO_4 + Bi^{3+}$
$Fe^{2+}$
জঃ দ্রবণ : (F.P.)
অধঃক্ষেপ : $Pu^{4+}$, Bi
$HNO_3$
$BiO_3^-$
$PuO_2^{2-}$
$H_3PO_4 + Bi^{3+}$
$Fe^{2+}$
অধঃক্ষেপ — $Pu^{4+}$
$HNO_3 - BiO_3^-$
জঃ দ্রবণ : $PuO_2^{2+}$
$Fe^{2+}$
জঃ দ্রবণ : $Pu^{4+}$
HF + $La^{3+}$
অধঃক্ষেপ : $La^{3+}$, $Pu^{4+}$
NaOH সহিত ফুটন—অধঃক্ষেপ $HNO_3$এ দ্রবীভবন
দ্রবণ : $M^{3+}$, $M^{4+}$
$BrO_3^-$ (95°C) অথবা $S_2O_8^{--} + Ag^+$
$La^{3+}$, $PuO_2^{2+}$
HF
অধঃক্ষেপ : $La^{3+}$
জঃ দ্রবণ : $PuO_2^{2+}$
$SO_2$
$Pu^{4+}$
$LaF_3$ চক্রের পুনরাবৃত্তি

## ৭.৪ আয়ন-বিনিময় প্রযুক্তি (Ion Exchange Technique)

ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর আবিষ্কারের মূল ভিত্তি ইহার মৌলগুলির সহিত বিরলমৃত্তিক মৌলশ্রেণীর (Rare earths : Lanthanide series) রাসায়নিক সাদৃশ্য। প্রথমোক্ত শ্রেণী মূলতঃ অ্যাক্টিনাইড শ্রেণী ( ক্রমাঙ্ক 90—103 ) যাহা বিরলমৃত্তিক মৌলশ্রেণীর ( ক্রমাঙ্ক 58—71 ) অনুরূপ। উভয় শ্রেণীর মধ্যে পৃথকীকরণ অত্যন্ত দুরূহ। আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়া ইতিমধ্যে শেষোক্ত শ্রেণীর মৌলগুলির পৃথকীকরণে অভূতপূর্ব সাফল্য লাভ করিয়াছিল। তাই ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির একটির পর একটির আবিষ্কারের সঙ্গে সঙ্গে আলোচ্য প্রযুক্তি নিয়োগ করা হইল। মাত্র কয়েকটি পরমাণু যেখানে সম্বল, সেইখানে এই প্রযুক্তির কার্যকারিতা অত্যধিক। বিশেষতঃ কুরিয়ামোত্তর মৌলগুলির ( ক্রমাঙ্ক 97—103 ) আবিষ্কার এই প্রযুক্তির সাহায্যেই সম্ভবপর হইয়াছিল। আয়ন-বিনিময় রজন স্তম্ভ (Ion exchange resin column) হইতে এই মৌলগুলির নির্গমনের ক্রম এবং চিত্রলেখে (curve) অবস্থান সঠিকভাবে ভবিষ্যদ্বাণী করা হইয়াছিল।

আয়ন-বিনিময় রজন (Ion exchange resin) এক বিশেষ জৈব বহুযোগ (polymer) পদার্থ ( আণবিক গুরুত্ব 400—600 ) যাহার




চিত্র 7.2 : আয়ন-বিনিময় যন্ত্র

শৃংখল (chain) বা বলয়ের (ring) বিভিন্ন অংশে ধনাত্মক (cation) ( যথা, সালফনিক অ্যাসিড, $-SO_3H$ ) বা ঋণাত্মক (anion) ( যথা, অ্যামিন ক্লোরাইড, $-NH_3^+Cl^-$ ) আয়ন থাকে। ইহাদের যথাক্রমে ধনাত্মক আয়ন-বিনিময়-কারক ও ঋণাত্মক আয়ন-বিনিময়-কারক রজন (Cation and anion exchange resins) অভিহিত করা হয়। প্রথমোক্ত রজনের সঙ্গে জলীয় দ্রবণে ধনাত্মক আয়নের বিনিময় হয় এবং শেষোক্ত রজনের সঙ্গে ঋণাত্মক আয়নের বিনিময় ঘটে। এই বিনিময়-বিক্রিয়ার (exchange reaction) ফলে রজনের মূল গঠন ( $RSO_3^-$, $RNH_3^+$ ইত্যাদি ) অব্যাহত থাকে, কেবল ইহার সংলগ্ন আয়নের ($H^+Cl^-$ ইত্যাদি ) পরিবর্তন হয়।

$$\underset{\substack{\text{কঠিন}\\\text{রজন স্তর}\\\text{( অদ্রাব্য )}}}{RSO_3^-\,H^+} + \underset{\text{দ্রবণ}}{Na^+} \rightleftharpoons \underset{\substack{\text{কঠিন}\\\text{রজন স্তর}\\\text{( অদ্রাব্য )}}}{RSO_3^-\,Na^+} + \underset{\text{দ্রবণ}}{H^+}$$

$$\underset{\substack{\text{কঠিন}\\\text{রজন স্তর}\\\text{( অদ্রাব্য )}}}{RNH_3^+Cl^-} + \underset{\text{দ্রবণ}}{OH^-} \rightleftharpoons \underset{\substack{\text{কঠিন}\\\text{রজন স্তর}\\\text{( অদ্রাব্য )}}}{RNH_3^+OH^-} + \underset{\text{দ্রবণ}}{Cl^-}$$

উপরোক্ত বিনিময়-বিক্রিয়ায় রজনের মূল গঠন অক্ষুণ্ণ থাকে কেবলমাত্র জলীয় দ্রবণের আয়নের ( যেমন $Na^+$ অথবা $OH^-$) সহিত রজনের বিনিময়-যোগ্য আয়নের ( যেমন $H^+$ অথবা $Cl^-$ ) বিনিময়ের ফলে রজন স্তর হইতে $H^+$ অথবা $Cl^-$ জলীয় দ্রবণে স্থানান্তরিত হয় এবং জলীয় দ্রবণের $Na^+$ অথবা $OH^-$ রজন স্তরে স্থান গ্রহণ করে। বিনিময়-বিক্রিয়ান্তে রজন স্তরের নূতন আয়নকে উপযুক্ত তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ (electrolyte) অথবা যৌগ আয়ন উৎপাদনকারী বিকারক (complexing agent) দ্বারা অপসারণ করা যায়। বিরলমৃত্তিক মৌল আয়নের (3+) মতো ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল আয়নের (3+ : তৃতীয় জারণস্তর ) সহিত আয়ন-বিনিময় রজনের ( ধনাত্মক ) আয়ন-বিনিময় ঘটে যখন রজনের কণার সহিত উক্ত মৌল আয়নের দ্রবণ মিশ্রিত করা হয়। পরে উক্ত রজন-দ্রবণের সংমিশ্রণ উপযুক্ত রজনপূর্ণ কাচের স্তম্ভে (resin column) ঢালিয়া দেওয়া হয়। অবশেষে উপযুক্ত বিকারকের

(complexing agent) প্রবাহের দ্বারা উক্ত মৌলগুলি একের পর এক নির্দিষ্ট ক্রমে নির্গত হয়।

$$3\,R^{-}NH_4^{+} + M^{3+} \rightleftharpoons R_3M + 3NH_4^{+}$$

রজন স্তর — দ্রবণ — রজন স্তর — দ্রবণ

$$M^{3+} + HA^{-} \rightleftharpoons MA_4^{-}$$

দ্রবণ — বিকারক — দ্রবণ যৌগ আয়ন

এখানে $M^{3+}$ = বিরল-মৃত্তিক আয়ন বা ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল আয়ন; $R^{-}NH_4^{+}$ = অ্যামোনিয়াম ধনাত্মক আয়ন সম্বলিত ধনাত্মক রজন, যেমন, ডাওয়েক্স-50 (Dowex-50); $A^{-}$ = যৌগ আয়ন উৎপাদনকারী বিকারক, যেমন, ক্লোরাইড, নাইট্রেট, সাইট্রেট (citrate), ল্যাক্‌টেট (lactate), আলফা হাইড্রোক্সি আইসোবিউটিরেট (α-hydroxy isobutyrate), এথিলিন ডাইএমিন টেট্রাঅ্যাসিটেট (ethylene diamine tetra-acetate)।

উপরোক্ত বিকারক দ্রবণ অধিকাংশ ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট $pH(=-\log[H^{+}])$-এ নিয়ন্ত্রিত করা হয়। উপযুক্ত বিকারক দ্রবণপ্রবাহের (elution) ফলে মৌলশ্রেণী দুইটির নির্গমনের ক্রম দেখানো হইল—ইহা সোদক আয়নীয় ব্যাসার্ধের (hydrated ionic radius) ক্রমের অনুরূপ।

**বিরলমৃত্তিক মৌলশ্রেণী :**

Lu > Yb > Tm > Er > Ho > Dy > Tb > Gd > Eu
(ক্রমাঙ্ক 71) (70) (69) (68) (67) (66) (65) (64) (63)
> Sm > Pm > Nd > Pr > La
(62) (61) (60) (59) (58)

**ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী :**

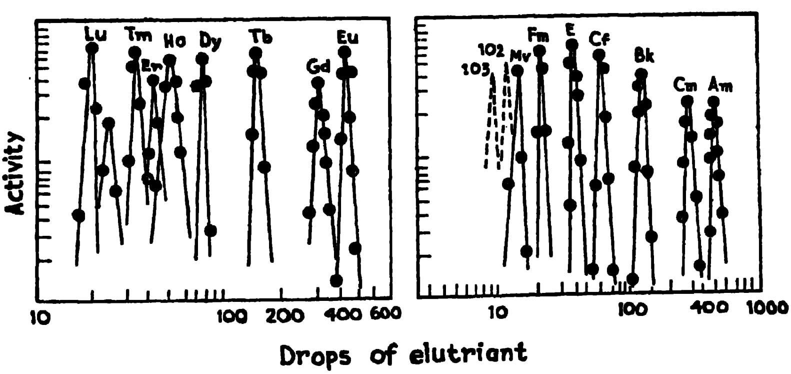
Lw > No > Md > Fm > Es > Cf > Bk
(ক্রমাঙ্ক 103) 102) (101) (100) (99) (98) (97)
> Cm > Am > Pu > Np
(96) (95) (94) (93)

যৌগ আয়ন গঠন—এই পৃথকীকরণ প্রক্রিয়ায় এক গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। বিভিন্ন মৌলের যৌগ আয়নের স্থায়িত্বের মাত্রা (অস্থায়িত্ব ধ্রুবক,

Instability constant) বিভিন্ন স্থায়িত্বের এই বিভিন্নতাই পৃথকীকরণের মূল ভিত্তি। বিরলমৃত্তিক মৌলশ্রেণীর সর্বাপেক্ষা ভারী মৌল লুটেসিয়াম্ (ক্রমাঙ্ক 71) প্রথমে নির্গত হয়। অনুরূপভাবে সর্বাপেক্ষা ভারী ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল, 103 ক্রমাঙ্কের মৌল প্রথমে নির্গত হইবে, ইহা পূর্বাহ্নেই ভবিষ্যদ্বাণী করা হইয়াছিল। এমন কি, আবিষ্কারের পূর্বেই মৌল 97—103 এর অবস্থান আয়ন-বিনিময় চিত্রলেখে (Ion exchange curve) তত্ত্বগতভাবে নির্দিষ্ট হইয়াছিল এবং এই ভবিষ্যদ্বাণী ব্যবহারিক পরীক্ষায় সমর্থিত হইয়াছিল।

পরমাণু বিখণ্ডনের উপজাত দ্রব্য (Fission Product) হিসাবে বিরলমৃত্তিক মৌলগুলি থাকে—এইগুলি স্বভাবতঃই ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির উৎপাদনের সময় বর্তমান থাকে। কাজেই এই অপজাত দ্রব্যের (বিরলমৃত্তিক মৌল) অপসারণ এবং ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির পৃথকীকরণ এই দুইটি সমস্যা বার্কলের বিজ্ঞানীগোষ্ঠীকে জর্জরিত করিয়াছিল। ইহার সমাধান হইয়াছিল আয়ন-বিনিময় প্রযুক্তির সুনিপুণ প্রয়োগের দ্বারা।

গাঢ় হাইড্রোক্লোরিড অ্যাসিডের সহিত বিক্রিয়ায় ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলি সহজেই ঋণাত্মক বা অপরাধর্মী ক্লোরোযৌগ আয়ন (chloro-complexes)




চিত্র 7.3 : ল্যান্থানাইড (III) আয়ন (বামদিকের চিত্র) এবং অ্যাক্টিনাইড (III) আয়নের (ডানদিকের চিত্র) ডাওয়েক্স্—50 পরাধর্মী রজন হইতে নিঃসরণ। অ্যামোনিয়াম—আলফা-হাইড্রোক্সি-আইসোবিউটিরেট-এর বাফার দ্রবণ দ্বারা পৃথকীকরণ সাধিত হইয়াছিল। মৌল 102 ও 103 এর অবস্থান তত্ত্বগতভাবে চিত্রলেখে নির্দিষ্ট হইয়াছিল।

সৃষ্টি করে বিরলমৃত্তিক মৌলদের তুলনায়। অতএব ধনাত্মক আয়ন-বিনিময় রজন হইতে প্রথমোক্ত আয়নগুলি গাঢ় হাইড্রোক্লোরিড অ্যাসিডের প্রবাহের দ্বারা বর্গ হিসাবে (group) নিঃসৃত হয়। উৎকৃষ্টতর পদ্ধতি হইল ঋণাত্মক আয়ন-বিনিময় রজন হইতে 10M লিথিয়াম ক্লোরাইড প্রবাহ (95° সেন্টিগ্রেড তাপে) দ্বারা উক্ত আয়নগুলির নিষ্ক্রমণ। তারপর এই আয়নগুলির পারস্পরিক পৃথকীকরণ সাধিত হয় সাইট্রেট বা অ্যামোনিয়াম-আলফা হাইড্রোক্সিবিউটিরেট দ্বারা ধনাত্মক রজন স্তম্ভ হইতে (cation exchange resin column)। চিত্র 7.3-তে ল্যান্থানাইড (3+) আয়ন ও অ্যাক্টিনাইড (3+) আয়নদের Dowex 50 রজন স্তম্ভ (ধনাত্মক) হইতে আলফা-হাইড্রোক্সিআইসোবিউটিরেট (α-hydroxyisobutyrate) (নির্দিষ্ট pH মাত্রা) দ্বারা পৃথকীকরণের চিত্রলেখ দেখানো হইল। মৌল 102 ও 103 আবিষ্কারের পূর্বে চিত্রলেখে অবস্থান নির্দিষ্ট করা হইয়াছিল (ভগ্ন রেখা দ্বারা চিহ্নিত)। এই চিত্র হইতে উপরোক্ত দুই মৌলশ্রেণীর ঘনিষ্ঠ সাদৃশ্য প্রমাণিত হইয়াছে। আয়ন-বিনিময় স্তম্ভ হইতে পৃথকীকরণের পর অ্যাক্টিনাইড আয়নগুলিকে সাধারণতঃ কোনও অদ্রাব্য ফ্লুয়োরাইড অধঃক্ষেপে সংগৃহীত করা হয়।

# ৮। পর্যায়-সারণীতে স্থান
## ( Position in the Periodic Table )

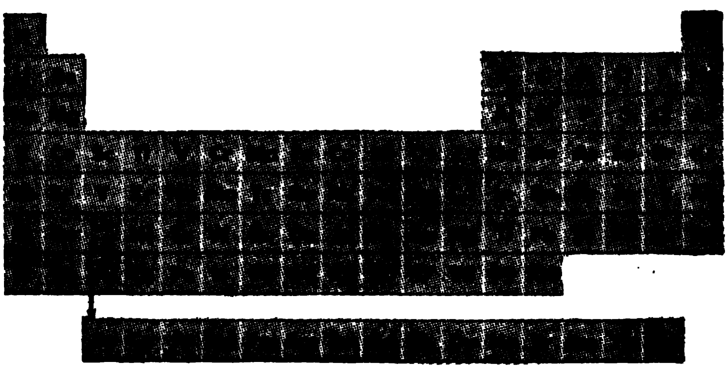
### ৮.১ ক্রমবিবর্তনের পটভূমিকা

ষোড়শ শতাব্দীতে অ্যালকেমিস্টগণ (alchemist) মাত্র নয়টি মৌলের পরিচয় জানিতেন—কার্বন (C), গন্ধক (S), লোহা (Fe), তামা (Cu), রূপা (Ag), টিন (Sn), সোনা (Au), পারদ (Hg) এবং সীসা (Pb)। তাঁহাদের স্থূল ধরনের যন্ত্রপাতি ছিল—বকযন্ত্র (retort), খলনুড়ি (mortar and pestle) ইত্যাদি। কিন্তু তাঁহাদের অবদান রসায়নের মূলভিত্তি রচনা করিয়াছিল। সপ্তদশ শতাব্দীর মধ্যভাগে তেরোটি মৌল আবিষ্কৃত হইয়াছিল। উনবিংশ শতাব্দীতে আরও ৬০টি মৌল সনাক্ত হইল। এই সময়ে প্রখ্যাত রুশ রাসায়নিক, মেণ্ডেলিভ (Mendeleev) পর্যায়-সারণীর (Periodic Table) উদ্ভাবন করিয়া রসায়ন-জগতে এক অপূর্ব শৃংখলার ইতিহাস রচনা করিলেন। মৌলগুলির এক সুষ্ঠু ও বিজ্ঞানসম্মত বিন্যাস সম্ভবপর হইল। উপরন্তু অনাবিষ্কৃত কোনও মৌলের সঠিক স্থান নির্ণয় ও ইহার ধর্মসমূহ ভবিষ্যদ্বাণী করাও সম্ভব হইল। বিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগে বিজ্ঞানীদের নিকট অনেক উন্নত ধরনের যন্ত্রপাতি ছিল যাহাদের দ্বারা নূতন মৌল আবিষ্কারের দুরূহ কার্য সিদ্ধ হইয়াছিল। সাইক্লোট্রন, পরমাণুচুল্লী (Reactor), অ্যাক্সিলারেটর (Accelerator, বিশেষতঃ HILAC) ইত্যাদি অত্যাধুনিক যন্ত্রপাতি ছাড়া ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর আবিষ্কার সম্ভবপর হইত না।

দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে পর্যন্ত 88টি মৌলের পরিচয় জানা ছিল—শেষ মৌল ইউরেনিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 92)। এই 92টি মৌলের মধ্যে 4টি শূন্যস্থান ছিল—ক্রমাঙ্ক 43, 61, 85 ও 87 ইহাদের জন্য। ইহাদের বলা হইত "নিরুদ্দেশ মৌল" (Missing elements) কারণ কোনও আকরিকে ইহাদের সন্ধান পাওয়া যায় নাই ( তৃতীয় পরিচ্ছেদ )। বস্তুতঃ ইহারা তেজস্ক্রিয় এবং কৃত্রিম উপায়ে ইহাদের গবেষণাগারে প্রস্তুত করিতে হইয়াছিল। 1937—1945 সালের মধ্যে ইহারা আবিষ্কৃত হইয়াছিল। একই সময়ে ইউরেনিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলির অনুসন্ধান চলিতেছিল।

বিংশ শতাব্দীর তৃতীয় দশকে বিরলমৃত্তিক মৌলগুলি (ক্রমাঙ্ক 57—71) রাসায়নিক ধর্ম ও ইলেকট্রন বিন্যাস অনুযায়ী একই সঙ্গে এক পৃথক্ শ্রেণীতে পর্যায়-সারণীর নিচে বিন্যস্ত হইল। ইহাদের স্থান নির্দিষ্ট হইল মৌল 56 ( বেরিয়াম ) ও 72 ( হ্যাফ্‌নিয়াম ) এর মধ্যস্থলে। কিন্তু ইউরেনিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলি সম্বন্ধে অনেক অনিশ্চয়তা ছিল। দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে পর্যন্ত অনেকের ধারণা ছিল যে, থোরিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 90 ), প্রোটোঅ্যাক্টিনিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 91 ) ও ইউরেনিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 92 ) এর সাদৃশ্য ছিল হ্যাফ্‌নিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 72 ), ট্যান্টালাম ( ক্রমাঙ্ক 73 ) ও টাংস্টেন ( ক্রমাঙ্ক 74 ) এর সহিত। অতএব মৌল 75 ( রেনিয়াম ) এর সহিত মৌল 93 এর সাদৃশ্য থাকিতে পারে।

যখন 1940-41 সালে মৌল 93 ও 94 আবিষ্কৃত হইল তখন পর্যায়-সারণীতে তাহাদের স্থান সম্বন্ধে সংশয়ের অবকাশ ছিল। আগেকার ধারণা অনুযায়ী ইহাদের রেনিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 75 ) ও অস্‌মিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 76)-এর



চিত্র 8.1 : পর্যায়-সারণী ( দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে )।

অনুরূপ হওয়া উচিত। কিন্তু কার্যতঃ দেখা গেল, ইউরেনিয়ামের সঙ্গে ইহাদের সাদৃশ্য আছে কিন্তু রেনিয়াম, অস্‌মিয়ামের সঙ্গে কোনও সাদৃশ্য নাই। আবার, মৌল 95 ও 96-এর পর্যায়-সারণীতে স্থান সম্বন্ধে বিতর্কের অবকাশ ছিল—ইহাদের প্ল্যাটিনাম ধাতু ইরিডিয়াম ও প্ল্যাটিনামের অনুরূপ হওয়ার সম্ভাবনা, কিন্তু এই ধারণা ভুল প্রমাণিত হইল।

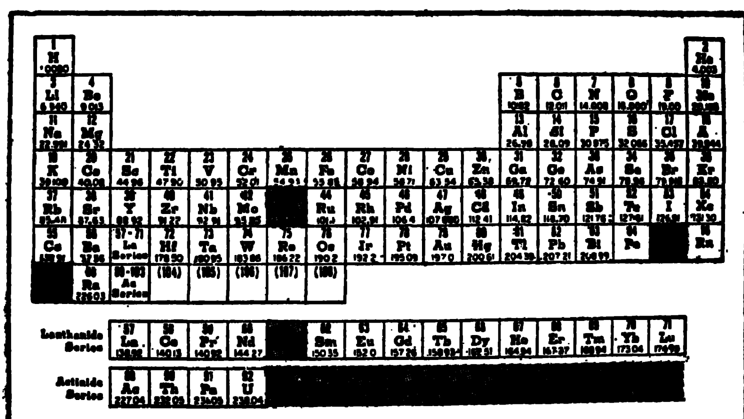
1944 সালে সীবর্গ "অ্যাক্টিনাইড তত্ত্ব" (Actinide hypothesis) প্রকাশিত করিলেন। তাঁহার মতে এযাবৎ অ্যাক্টিনিয়াম ও তাহার পরবর্তী মৌলগুলির পর্যায়-সারণীতে সঠিক স্থান নির্দিষ্ট করা হয় নাই। তিনিই প্রথমে আলোকপাত করিলেন যে অ্যাক্টিনিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলি বিরলমৃত্তিক মৌলের (Lanthanide series) অনুরূপ একটি স্বতন্ত্র মৌলশ্রেণী (Actinide), মৌল 90—103 এই নূতন মৌলগোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত। এই তত্ত্ব প্রচলিত হইবার পর মৌল 95 ইত্যাদি আবিষ্কারের পথ অনেক সুগম হইয়াছিল।

পর্যায়-সারণীর বিবর্তনের ধারা ( চিত্র 8.1, সারণী 8.1 ও চিত্র 8.2 ) প্রতিফলিত হইয়াছে। ইহারা যথাক্রমে দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে, 1944 সালে এবং বর্তমান পর্যায়-সারণী নির্দেশ করে।

**সারণী 8.1. পর্যায়-সারণীতে অ্যাক্টিনাইড মৌলশ্রেণীর স্থান** ( 1944 সালের ধারণা )। অনাবিষ্কৃত মৌলগুলি বন্ধনী সাহায্যে সূচিত হইল।

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 57 La | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu |
| 89 Ac | 90 Th | 91 Pa | 92 U | 93 Np | 94 Pu | (95) | (96) | (97) | (98) | (99) | (100) | (101) | (102) | (103) |

পর্যায়-সারণীতে মৌলের সঠিক স্থান নির্দেশের মূল ভিত্তি হইল মৌলের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম, ইলেকট্রন বিন্যাস, ইত্যাদি।




চিত্র 8.2 : বর্তমান পর্যায়-সারণী ( অনাবিষ্কৃত মৌলগুলির সম্ভাব্য স্থান প্রদর্শিত হইয়াছে )।

## ৮.২ ইলেকট্রন বিন্যাস

বিরলমৃত্তিক মৌলগুলি ( Lanthanide series বা Rare earth series ) এক বিশেষ সন্ধিগত মৌল গোষ্ঠীভুক্ত (Inner transition series) যাহাদের রাসায়নিক ধর্মে ও ইলেকট্রন বিন্যাসে ঘনিষ্ঠ সাদৃশ্য বিরাজমান। ইহাদের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাসের সংকেত $4f^{0-14}\ 5s^2\ 5p^6\ 5d^1\ 6s^2$ অর্থাৎ ইহাদের ইলেকট্রনের বহিস্তরের 5s, 5p ও 6s অনুস্তর (sub-shell) পূর্ণ থাকে কিন্তু অভ্যন্তরের 5d ও 4f অনুস্তর অপূর্ণ থাকে। এই 4f অনুস্তর ক্রমশঃ পূর্ণ হয় সিরিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 58 ) হইতে লুটেসিয়াম ( ক্রমাঙ্ক 71 ) পর্যন্ত।

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় বিরলমৃত্তিক শ্রেণীর অর্থাৎ অ্যাক্টিনাইড মৌলশ্রেণীর (Actinide series) ইলেকট্রন বিন্যাসের সাধারণ সংকেত $5f^{0-14}\ 6s^2 6p^6 6d^1 7s^2$ এবং ইহারা দ্বিতীয় আভ্যন্তরীণ সন্ধিগত মৌলগোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত। এইক্ষেত্রে প্রথমদিকে 6d অনুস্তরে ইলেকট্রন প্রবেশ করে ; পরে 6s, 6p ও 7s পূর্ণ অনুস্তরগুলির উপস্থিতিতে 5f অনুস্তরে ইলেকট্রন প্রবেশ করে। 5f ও 6d অনুস্তরের শক্তির মাত্রা প্রায় সমতুল্য। এইহেতু অ্যাক্টিনাইড মৌলশ্রেণীর প্রথমভাগে তৃতীয় জারণস্তরের ঊর্ধ্বে জারিত হওয়ার সম্ভাবনা যথেষ্ট। কিন্তু পরের দিকে 5f অনুস্তরে অনুপ্রবেশের জন্য বহিস্তরের শক্তির কোন তারতম্য দেখা যায় না। কাজেই ইহাদের রাসায়নিক ধর্ম একরকম থাকে। নিম্নের সারণীতে অ্যাক্টিনাইড ও ল্যান্থানাইড গোষ্ঠীর মৌলগুলির যোজ্যতাস্তরের (Valence shell) ইলেকট্রন বিন্যাস দেওয়া হইল। বন্ধনীর মধ্যে প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাসগুলি ভবিষ্যদ্বাণী করা হইয়াছিল।

বায়বীয় পরমাণু (gaseous atom) বর্ণালী হইতে অ্যাক্টিনিয়াম, থোরিয়াম, ইউরেনিয়াম ও আমেরিকিয়াম পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস নির্ণীত হইয়াছিল। পরমাণু রশ্মি (atomic beam) পরীক্ষা হইতে প্রোটো-অ্যাক্টিনিয়াম, নেপ্‌চুনিয়াম, প্লুটোনিয়াম এবং কুরিয়ামের ইলেকট্রন বিন্যাস নির্ধারিত হইয়াছিল।

অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির পারস্পরিক সাদৃশ্য যথেষ্ট, তা ছাড়া ইহাদের সহিত ল্যান্থানাইড মৌলগুলির সাদৃশ্য বর্তমান। ইহাদের সাধারণ ধর্মগুলি উল্লেখযোগ্য। (1) জলীয় দ্রবণে পরাধর্মী আধান বিশিষ্ট আয়ন ($3^+$) থাকে যাহা যোগ আয়ন ও জৈব যোগের সঙ্গে চিলেট (chelate) যোগ উৎপন্ন

**সারণী 8.2 : অ্যাক্টিনাইড ও ল্যান্থানাইড গোষ্ঠীর ইলেকট্রন বিন্যাস ( বায়বীয় পরমাণু )**

| পরমাণু ক্রমাঙ্ক | মৌল | ইলেকট্রন ≠ বিন্যাস | পরমাণু ক্রমাঙ্ক | মৌল | ইলেকট্রন ≠ বিন্যাস |
|---|---|---|---|---|---|
| 89 | Actinium | $6d\ 7s^2$ | 57 | Lanthanum | $5d\ 6s^2$ |
| 90 | Thorium | $6d^2\ 7s^2$ | 58 | Cerium | $4f\ 5d\ 6s^2$ |
| 91 | Protoactinium | $5f^2\ 6d\ 7s^2$ | 59 | Praseodynium | $4f^3\ 6s^2$ |
| 92 | Uranium | $5f^3\ 6d\ 7s^2$ | 60 | Neodynium | $4f^4\ 6s^2$ |
| 93 | Neptunium | $5f^4\ 6d\ 7s^2$ | 61 | Promethium | $4f^5\ 6s^2$ |
| 94 | Plutonium | $5f^6\ 7s^2$ | 62 | Samarium | $4f^6\ 6s^2$ |
| 95 | Americium | $5f^7\ 7s^2$ | 63 | Europium | $4f^7\ 6s^2$ |
| 96 | Curium | $5f^7\ 6d\ 7s^2$ | 64 | Gadolinium | $4f^7\ 5d\ 6s^2$ |
| 97 | Berkelium | $5f^8\ 6d\ 7s^2$ ($5f^4\ 7s^2$) | 65 | Terbium | $4f^9\ 6s^2$ |
| 98 | Californium | ($5f^{10}\ 7s^2$) | 66 | Dysprosium | $4f^{10}\ 6s^2$ |
| 99 | Einsteinium | ($5f^{11}\ 7s^2$) | 67 | Holmium | $4f^{11}\ 6s^2$ |
| 100 | Fermium | ($5f^{12}\ 7s^2$) | 68 | Erbium | $4f^{12}\ 6s^2$ |
| 101 | Mendelevium | ($5f^{13}\ 7s^2$) | 69 | Thulium | $4f^{13}\ 6s^2$ |
| 102 | Nobelium | ($5f^{14}\ 7s^2$) | 70 | Ytterbium | $4f^{14}\ 6s^2$ |
| 103 | Lawrencium | ($5f^{14}\ 6d\ 7s^2$) | 71 | Lutetium | $4f^{14}\ 5d\ 6s^2$ |

≠ বহির্যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন (Outer valence shell electron)

করে। (2) সালফেট, নাইট্রেট, হ্যালাইড ও সালফাইড যৌগগুলি জলে দ্রবণীয় এবং ফ্লুয়োরাইড ও অক্সালেট যৌগ অদ্রবণীয়। (3) অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির প্রথম কয়েকটি মৌল সহজে ইলেকট্রন ত্যাগ করে এবং উচ্চতর জারণস্তরে উন্নীত হইয়া থাকে, কারণ ইহাদের আভ্যন্তরীণ 5f অনুস্তরের ইলেকট্রন শিথিলভাবে সংলগ্ন থাকে, তাছাড়া 7s, 6d ও 5f অনুস্তরের শক্তি প্রায় সমান। থোরিয়াম (IV), প্রোটোঅ্যাক্টিনিয়াম (V), ইউরেনিয়াম (VI), নেপচুনিয়াম (V), প্লুটোনিয়াম (IV), ইত্যাদি জারণস্তরগুলি

সুপরিচিত। ভারী মৌলগুলির ( ক্রমাঙ্ক 96—103 ) সহিত ল্যান্‌থানাইড গোষ্ঠীর মৌলগুলির সাদৃশ্য ঘনিষ্ঠতর।

মৌল 97, কুরিয়ামের ($5f^7$) ইলেকট্রন বিন্যাসের স্থায়িত্ব সবিশেষ উল্লেখযোগ্য। ইহার সহিত গ্যাডোলিনিয়াম ($4f^7$) তুলনীয়। কুরিয়াম $-3^+$ এবং গ্যাডোলিনিয়াম $-3^+$ বিশেষভাবে স্থায়ী। কারণ নিয়মানুযায়ী অর্ধপূর্ণ ( এইক্ষেত্রে $4f^7$, $5f^7$ ) এবং সম্পূর্ণ ($4f^{14}$, $5f^{14}$) ইলেকট্রন অনুস্তরের স্থায়িত্ব অন্যান্য অনুস্তর অপেক্ষা বেশী। এই স্থায়িত্বশীল ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভের জন্য প্রতিবেশী মৌলগুলির প্রবণতা সমধিক। মৌল 97, বার্কেলিয়াম অতিরিক্ত ইলেকট্রন বর্জন করিয়া $5f^7$ বিন্যাস লাভ করে এবং উক্ত প্রক্রিয়ায় IV জারণস্তরে উন্নীত হয়। অনুরূপভাবে $f^{14}$ ইলেকট্রন বিন্যাস বিশিষ্ট মৌলগুলি স্থায়ী—তাই আগের মৌলের ( 102-নোবেলিয়াম ; 70-ইটারবিয়াম ) II জারণস্তর লক্ষণীয় ; ইহাদেরও $f^{14}$ ইলেকট্রন অনুস্তর বর্তমান।

অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর পরবর্তী মৌলগুলির প্রথমে 6d অনুস্তর এবং পরে 7p অনুস্তর পূর্ণ হইবে। শেষ মৌলটি হইবে একটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস ( ক্রমাঙ্ক 118 )। কিন্তু এই মৌলগুলির অর্ধায়ুষ্কাল এতই ক্ষণস্থায়ী হইবে যে, ইহাদের আবিষ্কার করা অত্যন্ত দুরূহ ( চিত্র 8.2 )। ইহাদের যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হইল।

**সারণী 8.3 : মৌল 104—118 এর ইলেকট্রন বিন্যাস ( যোজ্যতা স্তর )**

| মৌল | ইলেকট্রন বিন্যাস |
|---|---|
| 104 | $5f^{14}\ 6d^2\ 7s^2$ |
| 105 | $5f^{14}\ 6d^3\ 7s^2$ |
| 106 | $5f^{14}\ 6d^4\ 7s^2$ |
| ⋮ | ⋮ |
| 112 | $5f^{14}\ 6d^{10}\ 7s^2$ |
| 113 | $5f^{14}\ 6d^{10}\ 7s^2\ 7p^1$ |
| 114 | $5f^{14}\ 6d^{10}\ 7s^2\ 7p^2$. |
| ⋮ | ⋮ |
| 118 | $5f^{14}\ 6d^{10}\ 7s^2\ 7p^6$ |

## ৮.৩ ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম

ল্যান্থানাইড ও অ্যাক্টিনাইড এই দুই মৌলগোষ্ঠীর মূলগত রাসায়নিক সাদৃশ্যকে কেন্দ্র করিয়া উহাদের ইলেকট্রন বিন্যাস ও পর্যায়-সারণীতে স্থান সমর্থিত হইয়াছে। ইহার ফলশ্রুতি আয়ন-বিনিময় প্রক্রিয়া দ্বারা অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর পৃথকীকরণ ও সনাক্তকরণ এবং ভারী মৌলগুলির আবিষ্কার। নিম্নে কয়েকটি প্রয়োজনীয় ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের আলোচনা করা হইল।

(ক) **ধাতব অবস্থা এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ**—ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির পরাধর্মিতা (electropositivity) অত্যধিক। গলিত লবণের (molten salt) তড়িৎবিশ্লেষণ বা হ্যালাইড লবণের ক্যালসিয়াম অথবা বেরিয়াম দ্বারা বিজারণ প্রক্রিয়ায় মৌলগুলি ধাতব অবস্থায় উৎপন্ন হয়। নেপ্‌চুনিয়াম ও প্লুটোনিয়ামের কেলাস গঠন বেশ জটিল—ইহাদের সহিত ল্যান্থানাইড গোষ্ঠীর সাদৃশ্য নাই। কেবল আমেরিকিয়ামের কেলাস গঠনের সঙ্গে শেষোক্ত গোষ্ঠীর সাদৃশ্য বর্তমান। প্লুটোনিয়ামের ধাতুনিষ্কাশন-জনিত ধর্ম অস্বাভাবিক। সাধারণ তাপমাত্রা হইতে গলনাঙ্ক পর্যন্ত ইহার ছয়টি রূপভেদ (allotrope) আছে।

কঠিন অবস্থায় ত্রিযোজী (tripositive) অ্যাক্টিনাইড আয়নের আচরণ অনুরূপ। চতুর্যোজী অ্যাক্টিনাইড আয়নের (tetrapositive) সহিত সিরিয়াম IV আয়নের সাদৃশ্য আছে। ইহাদের অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া অনুরূপ। অ্যাসিড দ্রবণে ফ্লুয়োরাইড ও অক্সালেট যৌগগুলি অদ্রবণীয় কিন্তু নাইট্রেট, সালফেট, পারক্লোরেট ও সালফাইড যৌগগুলির জলে দ্রাব্যতা আছে।

কেলাস গঠনের তথ্য হইতে অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির আয়নীয় ব্যাসার্ধ নির্ণীত হইয়াছে। **"ল্যান্থানাইড সংকোচনের" (Lanthanide contraction)** অনুরূপ আচরণ অ্যাক্টিনাইড গোষ্ঠীর মধ্যে দেখা যায়—ইহার নাম **"অ্যাক্টিনাইড সংকোচন" (Actinide contraction)**। পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে আয়নীয় ব্যাসার্ধের হ্রাস ঘটে। ইহার ব্যাখ্যা ইলেকট্রন বিন্যাস হইতে পাওয়া যায়। পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে কেন্দ্রকের আধান বৃদ্ধি পায়। অ্যাক্টিনাইড মৌলের পরমাণুতে আভ্যন্তরীণ 5f অনুস্তরে ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধি হয় অথচ বহির্যোজ্যতাস্তর (outer valence shell) অক্ষুণ্ণ থাকে। ফলে শেষোক্ত অনুস্তরের সংকোচন ঘটে এবং পারমাণবিক আয়তন ও ব্যাসার্ধের সংকোচন পরিলক্ষিত হয়। এই ঘটনা সাধারণ বা

আদর্শ মৌলের (Normal or Representative elements) আচরণের বিপরীত ( ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে আয়নীয় ব্যাসার্ধের বৃদ্ধি )। নিম্নের সারণীতে অ্যাক্টিনাইড ও অনুরূপ ল্যান্থানাইড আয়নের ব্যাসার্ধ তুলনামূলকভাবে দেওয়া হইল।

**সারণী 8.4 : অ্যাক্টিনাইড ও ল্যান্থানাইড মৌলগোষ্ঠীর আয়নীয় ব্যাসার্ধ (A)**

| অ্যাক্টিনাইড গোষ্ঠী | | | | ল্যানথানাইড মৌলশ্রেণী | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Ac^{3+}$ | 1·11 | $Th^{4+}$ | 0·99 | $La^{3+}$ | 1·061 | $Ce^{4+}$ | 0·92 |
| $U^{3+}$ | 1·03 | $Pu^{4+}$ | 0·96 | $Ce^{3+}$ | 1·034 | $Pr^{4+}$ | 0·90 |
| $Np^{3+}$ | 1·01 | $U^{4+}$ | 0·93 | $Pr^{3+}$ | 1·013 | | |
| $Pu^{3+}$ | 1·00 | $Np^{4+}$ | 0·92 | $Nd^{3+}$ | 0·995 | | |
| $Am^{3+}$ | 0·99 | $Pu^{4+}$ | 0·90 | $Sm^{3+}$ | 0·964 | | |
| $Cm^{3+}$ | 0·98 | $Am^{4+}$ | 0·89 | $Eu^{3+}$ | 0·950 | | |
| | | | | $Gd^{3+}$ | 0·938 | | |

(খ) **জারণস্তর (Oxidation states)**—অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর সাধারণ জারণস্তর 3+(III) ; থোরিয়াম ও প্রোটোঅ্যাক্টিনিয়াম ইহার ব্যতিক্রম। থোরিয়াম ও প্লুটোনিয়ামের IV জারণস্তর সর্বাপেক্ষা স্থায়ী। অন্যান্যদের স্থায়ী জারণস্তর এইরূপ—ইউরেনিয়াম, VI ; নেপ্‌চুনিয়াম, V এবং আমেরিকিয়াম হইতে ফের্মিয়াম, III.

**সারণী 8.5 : অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর জারণস্তর**

| মৌল | Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| পঃ-ক্রমাঙ্ক | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
| জারণস্তর | 3 | (3)<br>4 | —<br>4<br>5 | 3<br>4<br>5<br>6 | 3<br>4<br>5<br>6 | 3<br>4<br>5<br>6 | 3<br>4<br>5<br>6 | 3<br>4 | 3<br>4 | 3 | 3 | 3 |

রেখাঙ্কিত সংখ্যাগুলি সর্বাপেক্ষা স্থায়ী জারণস্তর নির্দেশ করে।

জলের অ্যাসিড দ্রবণে III হইতে VI জারণস্তরের যে আয়নগুলি পরিলক্ষিত হয়, তাহারা হইল $M^{3+}$, $M^{4+}$, $MO_2^+$, $MO_2^{2+}$। বিভিন্ন আয়নীয় অবস্থার বর্ণ, ধর্ম, প্রস্তুতি ইত্যাদি নিম্নের সারণীতে প্রদত্ত হইল।

**সারণী 8.6 : জলীয় দ্রবণে প্রধান অ্যাক্টিনাইড আয়নগুলি***

| আয়তন | বর্ণ † | প্রস্তুত পদ্ধতি | স্থায়িত্ব |
|---|---|---|---|
| $U^{3+}$ | লাল-বাদামী | $UO_2^{2+}$+Na (Zn)/Hg | জলে ধীরে জারিত হয়, বাতাসে দ্রুত জারিত হয় ($U^{4+}$). |
| $Np^{3+}$ | বেগুনী আভা | $H_2$(Pt) দ্বারা বিজারণ | জলে স্থায়ী ; বাতাসে জারিত হয় ($Np^{4+}$). |
| $Pu^{3+}$ | বেগুনী-নীল | উচ্চতর জারণস্তর $SO_2$, $NH_2OH$ দ্বারা বিজারণ | জলে ও বাতাসে স্থায়ী ; সহজে জারণযোগ্য ($Pu^{4+}$). |
| $Am^{3+}$ | গোলাপী | $I^-$, $SO_2$ দ্বারা বিজারণ | স্থায়ী ; সহজে জারিত হয় না। |
| $U^{4+}$ | সবুজ | $U^{3+}$+ air বা $O_2$ | স্থায়ী ; বাতাসে ধীরে জারিত হয় ($UO_2^{2+}$). |
| $Np^{4+}$ | হলুদ-সবুজ | $NpO_2^+(H_2SO_4)+SO_2$ | স্থায়ী ; বাতাসে ধীরে জারিত হয় ($NpO_2^+$). |
| $Pu^{4+}$ | তামাটে | $PuO_2^{2+}+SO_2$ বা $NO_2^-$ | 6M অ্যাসিডে স্থায়ী ; কম অ্যাসিডে বিয়োজন : $\rightarrow Pu^{3+}+PuO_2^{2+}$. |
| $Am^{4+}$ | গোলাপী-লাল | $Am(OH)_4$(15M $NH_4F$) | 15M $NH_4F$ এ স্থায়ী; $I^-$ দ্বারা বিজারিত হয়। |
| $Cm^{4+}$ | ঈষৎ হলদে | $CmF_4$(15M CsF) | 25° সে.. 1 ঘণ্টা স্থায়ী। |
| $NpO_2^+$ | সবুজ | $Np^4$+ তপ্ত $HNO_3$ | স্থায়ী ; গাঢ় অ্যাসিডে বিয়োজন ঘটে। |
| $UO_2^{2+}$ | হলদে | $U^{4+}+HNO_3$ ( জারণ ) | অত্যন্ত স্থায়ী। |
| $NpO_2^{2+}$ | গোলাপী | নিম্নতর জারণস্তরকে $Ce^{4+}$, $MnO_4^-$, $O_3$ ইত্যাদি দ্বারা জারণ | স্থায়ী ; সহজে বিজারিত হয়। |
| $PuO_2^{2+}$ | হলুদ-গোলাপী | | |
| $AmO_2^{2+}$ | বাদামী | | |

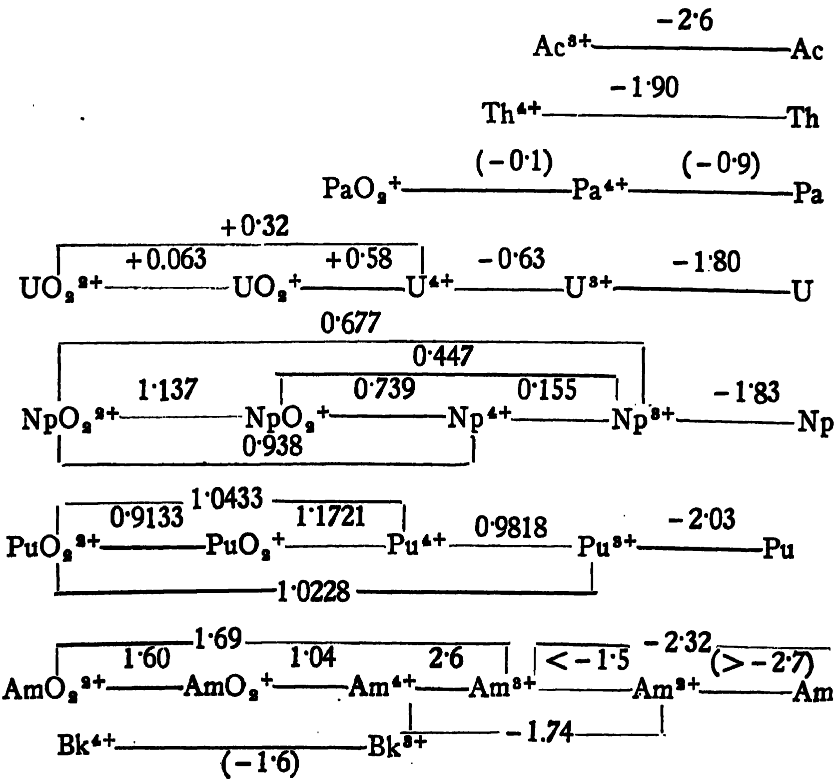
* $Ac^{3+}$, $Th^{4+}$, $Cm^{3+}$ এবং Pa আয়নগুলি বর্ণহীন।

†আয়নের গাঢ়ত্ব ও প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর জলীয় দ্রবণের আয়নগুলির বর্ণবৈচিত্র্য সন্ধিগত মৌলশ্রেণীর (transition series) বৈশিষ্ট্য ইহা বলাই বাহুল্য।

জারণস্তরের প্রকৃত মাপকাঠি মৌলগুলির প্রমাণ-বিজারণ-বিভব (standard reduction potential)। অ্যাসিড দ্রবণে (1M $HClO_4$) প্রমাণ-বিজারণ-বিভবের তালিকা প্রদত্ত হইল। ইহা হইতে স্পষ্ট প্রমাণিত হয় যে, পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে মৌলের পরাধর্মিতা (electropositivity) বর্ধিত হয় এবং উচ্চতর জারণস্তরের স্থায়িত্ব হ্রাস পায়।

**সারণী 8.7 : 1M $HClO_4$ দ্রবণে অ্যাক্টিনাইড মৌলের প্রমাণ-বিজারণ-বিভব, Volt. ( 25° সে. ).**




* বন্ধনী-মধ্যস্থ সংখ্যাগুলি গণনাকৃত।

মৌলের IV—III এবং VI—V বিজারণ বিক্রিয়াগুলি উভমুখী (reversible) এবং দ্রুতগতি সম্পন্ন—

$$M^{4+} + e \rightleftharpoons M^{3+} \; ; \; MO_2^{2+} + e \rightleftharpoons MO_2^{+}$$

এই বিক্রিয়া এক ইলেকট্রনযুক্ত জারক বা বিজারক দ্বারা সহজেই সাধিত হয়। কিন্তু দুই ইলেকট্রন-বিশিষ্ট বিক্রিয়াগুলি উভমুখী হয় না।

$$MO_2^{+} + 2e \rightleftharpoons M^{3+} \; ; \; MO_2^{2+} + 2e \rightleftharpoons M^{4+}$$

এবং ইহাদের বিক্রিয়ার হার কম কারণ এই বিক্রিয়ার সহিত ধাতু-অক্সিজেন-যোজক (M—O bond) দীর্ঘ করিবার প্রশ্ন সংশ্লিষ্ট। জারণ-বিজারণ বিক্রিয়াগুলির হারের ক্রম এইরূপ ঃ

$$U > Np > Pu > Am$$

প্লুটোনিয়াম এবং ইহার পরবর্তী মৌলগুলির জলীয় দ্রবণে যৌগ আয়ন, আর্দ্রবিশ্লেষণ (hydrolysis), বহুযৌগ আয়ন (polymer) এবং স্বতঃবিয়োজন (disproportionation) ইত্যাদি প্রক্রিয়ার জন্য জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় জটিলতা দেখা যায়। তাছাড়া তেজস্ক্রিয়তা বিকিরণের জন্য জলবিভাজন (radiolysis) হওয়াতে H, OH, $H_2O_2$ ইত্যাদি উপজাত দ্রব্য জলীয় দ্রবণে বর্তমান থাকে, যাহার ফলে উচ্চতর জারণস্তরগুলি—যেমন, প্লুটোনিয়াম V, VI, আমেরিকিয়াম IV, VI বিজারিত হইয়া থাকে। অর্থাৎ প্লুটোনিয়ামের অ্যাসিড় জলীয় দ্রবণে চারটি জারণস্তরের (III, IV, V, VI) সহাবস্থানে থাকে।

আর্দ্রবিশ্লেষণ ও জটিল আয়ন গঠন ঘনিষ্ঠভাবে সংশ্লিষ্ট। $M^{4+}$ আয়নগুলির সর্বাধিক আর্দ্রবিশ্লেষণের প্রবণতা আছে। প্লুটোনিয়াম-IV আয়ন আর্দ্রবিশ্লেষিত হইয়া বহুযৌগ পরাধর্মী আয়নে পরিণত হয় যাহার আণবিক গুরুত্ব $=10^{10}$। আর্দ্রবিশ্লেষণ বা জটিল আয়ন গঠনের মাত্রার ক্রম এইরকম :

$$M^{4+} > MO_2^{2+} > M^{3+} > MO_2^{+}$$

ইহা বস্তুতঃ নির্ভর করে আয়নীয় আধান ও ব্যাসার্ধের উপর।

জটিল আয়ন গঠনে অপরাধর্মী আয়নদের ক্রম হইল :

$$F^{-} > NO_3^{-} > Cl^{-} > ClO_4^{-} \; ;$$

$$CO_3^{--} > C_2O_4^{--} > SO_4^{--}$$

ল্যান্থানাইড আয়নদের তুলনায় অ্যাক্টিনাইড আয়নদের জটিল আয়নের স্থায়িত্ব বেশী। জৈব বিকারকের সঙ্গে অ্যাক্টিনাইড আয়নের বিক্রিয়া বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। বিশেষতঃ ইহার কার্যকারিতা প্লুটোনিয়াম উৎপাদনে প্রমাণিত হইয়াছে। ট্রাইবুটাইল ফস্‌ফেটের (TBP) কেরোসিন দ্রবণ প্লুটোনিয়াম নিষ্কাশনে ও পৃথকীকরণে অতি প্রয়োজনীয় (সপ্তম পরিচ্ছেদ)।

# ৯। ব্যবহারিক প্রয়োগ
## ( Practical application )

ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর অনুসন্ধান যদিও মৌলিক গবেষণার বিষয়বস্তু ছিল, কিন্তু ইহাদের আবিষ্কার মৌলিক গবেষণাগারের সীমানা অতিক্রম করিয়া মানবসভ্যতার ইতিহাসে এক নূতন যুগের সূচনা করিল— পরমাণু যুগ (Atomic/Nuclear age)। যুদ্ধকালীন আবিষ্কারের জন্য অবশ্য ইহার সর্বপ্রথম প্রয়োগ ছিল মারণাত্মক অস্ত্র নির্মাণের জন্য।

দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের সময়ে প্রথমে প্রকৃতিজ ইউরেনিয়াম-238 হইতে ইহার 235 আইসোটোপ পৃথকীকরণের প্রচেষ্টা চলিয়াছিল, যেহেতু ইউরেনিয়াম-235 এর বিখণ্ডন প্রবণতা (fissionability) অনেক বেশী। প্লুটোনিয়াম-239 আবিষ্কারের পর দেখা গেল যে, ইহার উৎকর্ষতা ইউরেনিয়াম-235 এর চেয়ে বেশী। প্রকৃতিজ ইউরেনিয়াম-238 হইতে মন্থরগতি (slow) নিউট্রনের সংঘাতে প্লুটোনিয়াম-238 উৎপন্ন করা সম্ভব ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )।

ইউরেনিয়াম আইসোটোপ পৃথকীকরণ এক দুরূহ প্রযুক্তির ব্যাপার ছিল। বায়বীয় ইউরেনিয়াম হেক্সাফ্লুয়োরাইড ($UF_6$) আংশিক ঊর্ধ্বপাতন পদ্ধতি অনুসৃত হইয়াছিল। কিন্তু ইউরেনিয়াম-প্লুটোনিয়াম পৃথকীকরণ অপেক্ষাকৃত সহজসাধ্য রাসায়নিক প্রক্রিয়া দ্বারা সাধিত হইয়াছিল ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )। ট্রেসার পদ্ধতিলব্ধ গবেষণার তথ্যগুলি হইতে বিরাট কারিগরী শিল্পের অভ্যুদয় হইল। প্লুটোনিয়াম উৎপাদনের প্রথম কারখানা নির্মিত হইয়াছিল ওয়াশিংটনের হ্যানফোর্ডে (Hanford engineering works)। এইখানে প্রথমে বিসমাথ ফস্‌ফেট পদ্ধতি প্রয়োগ করা হইয়াছিল ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )।

পরমাণু বিখণ্ডনে উপজাত পদার্থগুলির ওজন ইউরেনিয়াম ও আক্রমণকারী নিউট্রনের ওজনের চেয়ে কম। এই হ্রাসপ্রাপ্ত ভরের জন্য আইনস্টাইন সূত্র অনুযায়ী ($E=mc^2$) শক্তি উৎপন্ন হয়।

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 2-3\,^{1}_{0}n + 200\text{ Mev}$$

প্রত্যেক ইউরেনিয়াম কেন্দ্রক হইতে 200 Mev শক্তি ( বিশ কোটি ইলেকট্রন ভোল্ট ) উৎসারিত হয়। অর্থাৎ 1 গ্রাম ইউরেনিয়াম-235 বিখণ্ডনের ফলে $2 \times 10^7$ কিলো-ক্যালোরি তাপশক্তি উৎপন্ন হয়। এই তাপ $10^{-6}$ সেকেণ্ডের মধ্যে উদ্ভূত হয়, তাই প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটে এবং তাপ-মাত্রা এক কোটি ডিগ্রী হইতে পারে। এইভাবে পরমাণু বোমার বিস্ফোরণ ঘটে। 1 কিলোগ্রাম ইউরেনিয়াম-235 এর বিস্ফোরক শক্তি প্রায় 18,700 টন—প্রচণ্ড বিস্ফোরক ট্রাই-নাইট্রো-টলিন (trinitrotoluene, TNT) এর সমকক্ষ। পক্ষান্তরে শৃংখল অভিক্রিয়া (chain reaction) নিয়ন্ত্রিত করিতে পারিলে 1 কিলোগ্রাম ইউরেনিয়াম হইতে 26 লক্ষ কিলোগ্রাম কয়লার তাপশক্তি আহরণ করা যায় এবং 2 কোটি কিলোওয়াট-ঘণ্টা (Kilowatt-hours) বিদ্যুৎ শক্তি উৎসারিত হয়। পরমাণু শক্তির এই দুই বিরাট দিক্—ধ্বংসাত্মক ও শান্তিপূর্ণ নিম্নে আলোচিত হইল।

## ৯.১ পারমাণবিক বিস্ফোরণ—অনিয়ন্ত্রিত শৃংখল অভিক্রিয়া (Uncontrolled or runaway chain reaction)

প্রথম পারমাণবিক বিস্ফোরণ সংঘটিত হইয়াছিল 1945 সালে 16 জুলাই তারিখে আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের নিউ মেক্সিকোর অ্যালামোগোরডোর মরুভূমি প্রান্তরে। ইহা একটি পরীক্ষামূলক বিস্ফোরণ—যুদ্ধকালীন গোপনতার জন্য ইহা প্রচারিত হয় নাই। প্রকাশ্য বিস্ফোরণ ঘটিল একমাস পরে অগস্ট মাসে জাপানের হিরোসিমা ও নাগাসাকি শহরে। পারমাণবিক বিস্ফোরণের তাণ্ডবলীলায় সারা পৃথিবী শিহরিয়া উঠিল ; মহাযুদ্ধের গতি স্তব্ধ হইল।

পারমাণবিক বিস্ফোরণের মূল সর্ত হইল উচ্চশক্তিসম্পন্ন ও ক্ষিপ্রগতি নিউট্রনের প্রজনন যাহাতে শৃংখল অভিক্রিয়া অত্যন্ত দ্রুতগতিতে অগ্রসর হইতে পারে। নিউট্রন শ্লথ বা মন্থরগতি হইলে শৃংখল অভিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণাধীন থাকে—ইহা পরমাণু-চুল্লীর নীতি।

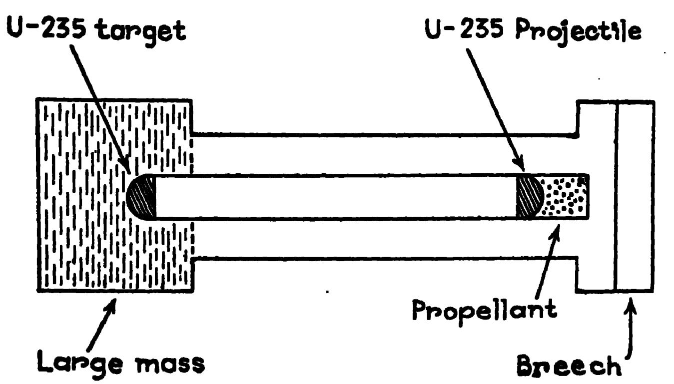
নিউট্রনের জনন-গুণিতক (Reproduction factor),

$$K = \frac{\text{n-তম চক্রে নিউট্রনের সংখ্যা}}{\text{(n − 1)-তম চক্রে নিউট্রনের সংখ্যা}}$$

K-এর মান $> 1$ হইলে পারমাণবিক বিস্ফোরণ এবং $K = 1$ হইলে নিয়ন্ত্রিত শৃংখল অভিক্রিয়া ঘটে ( নিউট্রনের সাম্যাবস্থা )।

ইউরেনিয়াম বা প্লুটোনিয়ামের ওজন ও আয়তনের উপর কেন্দ্রক বিখণ্ডনের দক্ষতা নির্ভর করে। যদি প্লুটোনিয়ামের পরিমাণ অল্প হয় অর্থাৎ ইহার উপরিতলের ক্ষেত্রফল ও আয়তনের অনুপাত বেশী হয়, নিউট্রনের পলায়ন-জনিত সংখ্যা ও বিখণ্ডনজাত নিউট্রনের সংখ্যার অনুপাত সমানুপাতিক ভাবে এত বেশী হইবে যে শৃংখল অভিক্রিয়া পরিচালনার জন্য যথেষ্ট নিউট্রন থাকিবে না এবং ফলে শৃংখল অভিক্রিয়া ক্ষুণ্ণ হইবে আর বিস্ফোরণ ঘটিবে না। পক্ষান্তরে প্লুটোনিয়াম-239 (অথবা ইউরেনিয়াম-235 বা -233) এর আকার বর্ধিত করিলে সিস্টেম (system) হইতে নিউট্রনের আপেক্ষিক ক্ষয় কমিবে এবং এমন একটি অবস্থায় উপনীত হইবে যখন শৃংখল অভিক্রিয়া সুষ্ঠু ভাবে চলিবে। এই অবস্থার জন্য যে ভরের প্রয়োজন তাহা প্লুটোনিয়াম অথবা ইউরেনিয়ামের **ক্রান্তিক ভর (critical mass)** নামে অভিহিত। এই "ক্রান্তিক ভরের" অধিক ভর (super-critical) হইলে বিস্ফোরণ ঘটিবে এবং কম (sub-critial) হইলে কোনও বিস্ফোরণ হইবে না। "ক্রান্তিক ভর" নির্ভর করে কয়েকটি সর্তের উপর—যথা, বস্তুর আকার (shape), গঠন (composition) এবং অপদ্রব্যের উপস্থিতি (impurity) যাহা নিউট্রন শোষণ করিতে পারে। পারমাণবিক জ্বালানীকে (nuclear fuel) উপযুক্ত নিউট্রন প্রতিফলক দ্বারা আবৃত করিলে নিউট্রন ক্ষয়ের সম্ভাবনা রোধ করা যাইবে এবং ক্রান্তিক ভরের পরিমাণ হ্রাস পাইবে।

পারমাণবিক বিস্ফোরণ দুইটি পদ্ধতিতে সংঘটিত হয়। (1) ঊনক্রান্তি ভর বিশিষ্ট (sub-critical mass) দুই খণ্ড অর্ধাবৃত্তাকার বা গোলার্ধ




চিত্র 9.1 : পরমাণু বোমার সম্ভাব্য আভ্যন্তরীণ সমাবেশ।

আকারের পারমাণবিক জ্বালানীকে পৃথক্‌ভাবে চিত্র 9.1 অনুযায়ী রাখা হয়। একটি গোলার্ধ ভারী উপকরণের মধ্যে নিহিত—ইহা বন্দুকের নলের লক্ষ্য-প্রান্ত (target end)। অন্য গোলার্ধ ক্ষেপণকারী (projectile) অংশ যাহা লক্ষ্যপ্রান্ত বিদ্ধ করিতে সক্ষম। কোনও শক্তিশালী রাসায়নিক বিস্ফোরকের সাহায্যে ক্ষেপণকারী অংশটিকে $10^{-6}$ সেকেণ্ডের কম সময়ের মধ্যে লক্ষ্যপ্রান্ত গোলার্ধে আঘাত করা হয়। তখন "অতিক্রান্তিক ভর" (over-critical mass) সৃষ্ট হয় এবং তৎক্ষণাৎ প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটে। (2) উন-ক্রান্তিক ভরের জ্বালানীকে (ইউরেনিয়াম/প্লুটোনিয়াম) সজোরে চাপ দেওয়া হয়। ইহাতে জ্বালানী বস্তুর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়; উপরিতলের আয়তন কম হওয়ায় নিউট্রন প্রজননের সংখ্যা দ্রুত হারে বর্ধিত হয় এবং বিস্ফোরণ ঘটে।

জাপানের হিরোসিমা ও নাগাসাকি শহরে যে দুইটি পারমাণবিক বোমা (প্লুটোনিয়াম) বিস্ফোরণ হইয়াছিল (6 অগস্ট, 1945 সাল) তাহার বিস্তৃত বিবরণ সারা পৃথিবীতে বিভীষিকার করাল ছায়ার সঞ্চার করিয়াছিল। হিরোসিমা শহরের 4·5 বর্গ-মাইল এলাকা সম্পূর্ণ ধূলিসাৎ হইল। 2-3 মাইলের মধ্যে সমস্ত অগ্নিদগ্ধ হইয়া ভস্মের স্তূপে পরিণত হইল। ফুটন্ত ধূলারাশি 20,000 ফুট এবং ছত্রাকের আকারে ধূসর মেঘপুঞ্জ 40,000 ফুট উচ্চে উলম্বিত হইয়াছিল নিমেষের মধ্যে। জনসংখ্যার দুই-তৃতীয়াংশ অর্থাৎ প্রায় তিন লক্ষ অধিবাসী নিহত হইল। এই সমস্ত ঘটনা এক সেকেণ্ডের মধ্যে সম্পূর্ণ হইল। এই শহর-দুইটির আশেপাশের এলাকার দুই পুরুষের অধিক শিশু ও নর-নারী বিস্ফোরণ-উপজাত তেজস্ক্রিয় ভস্মরাশির **(Badioactive Fallout)** কবলে আক্রান্ত ও বিধ্বস্ত হইল।

প্লুটোনিয়াম-বোমার চেয়ে প্রলয়ঙ্কর বোমা উদ্ভাবিত হইয়াছে—হাইড্রোজেন বোমা। ইহার বিক্রিয়া পারমাণবিক বিখণ্ডনের বিপরীত নীতি অর্থাৎ পরমাণু সম্মিলনের (fusion) উপর প্রতিষ্ঠিত। দুই লঘু কেন্দ্রক—যথা, হাইড্রোজেনের ভারী কেন্দ্রক উচ্চ তাপে (প্রায় 10 কোটি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড) একত্র যুক্ত হইয়া প্রচণ্ড শক্তি উৎপন্ন করে।

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n + 3.2 \text{ Mev}$$

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{1}H + ^{1}_{1}H + 4 \text{ Mev}$$

$$^{3}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + 17 \text{ Mev}$$

$$^{3}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + 11 \text{ Mev}$$

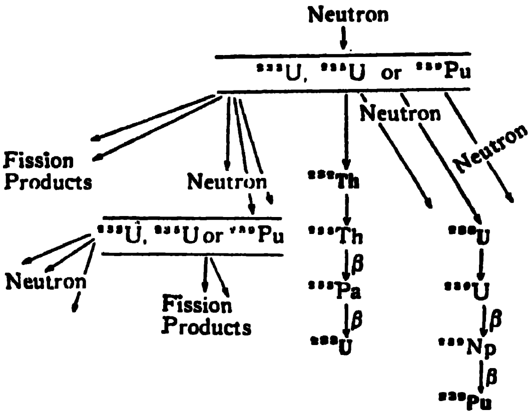
পারমাণবিক বিখণ্ডনের সাহায্যে প্রথমে উচ্চতাপের সৃষ্টি করা হয়। পরের পর্যায়ে হাইড্রোজেন পরমাণু সম্মিলন অনুষ্ঠিত হয়। কাজেই পারমাণবিক বিখণ্ডন প্রক্রিয়া দ্বারা হাইড্রোজেন বোমা বিস্ফোরণ উদ্বুদ্ধ হয়। তাই মারণাত্মক অস্ত্র হিসাবে ইহা প্লুটোনিয়াম বোমার চেয়ে অনেক বেশী শক্তিশালী।

## ৯.২ পারমাণবিক বা কেন্দ্রক শক্তির (Nuclear power) উৎপাদন—নিয়ন্ত্রিত শৃঙ্খল অভিক্রিয়া (Controlled chain reaction)

শৃঙ্খল অভিক্রিয়া সংযত বা নিয়ন্ত্রিত করিবার মূল মন্ত্র : $K=1$ (৯.১ দ্রষ্টব্য)। পারমাণবিক বিখণ্ডনজাত তাপশক্তি নিষ্কাশিত করা যায় উপযুক্ত তাপ-পরিবাহী তরল পদার্থ দ্বারা—ইহাতে বাষ্প উৎপন্ন হয় এবং পরে টারবাইনের দ্বারা বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়। ইহাই পরমাণু বিদ্যুৎচুল্লী (Power reactor) নির্মাণের মূল নীতি—উক্ত চুল্লী হইতে কয়েক কোটি ওয়াট বিদ্যুৎশক্তি নিরবচ্ছিন্নভাবে সরবরাহ করা যাইতে পারে। শৃঙ্খল অভিক্রিয়া সংযত করিবার জন্য প্রয়োজন নিউট্রন শোষণকারী ক্যাড্মিয়াম দণ্ড (Control rod)। আবার, বিখণ্ডনজাত নিউট্রনের গতির তীব্রতা মন্দীভূত করার জন্য পরিমিতকারী বস্তু (Moderator) ব্যবহৃত হয়; যথা, সাধারণ জল, ভারী জল (Heavy water, $D_2O$), বেরিলিয়াম, গ্রাফাইট ইত্যাদি। শেষোক্ত বস্তুর অহিত সংঘর্ষে, ক্ষিপ্রগতি নিউট্রন মন্থরগতি বা থার্মাল (Thermal) নিউট্রনে পরিণত হয়। ইহাতে শৃংখল অভিক্রিয়া সুষ্ঠুভাবে পরিচালিত হয়।

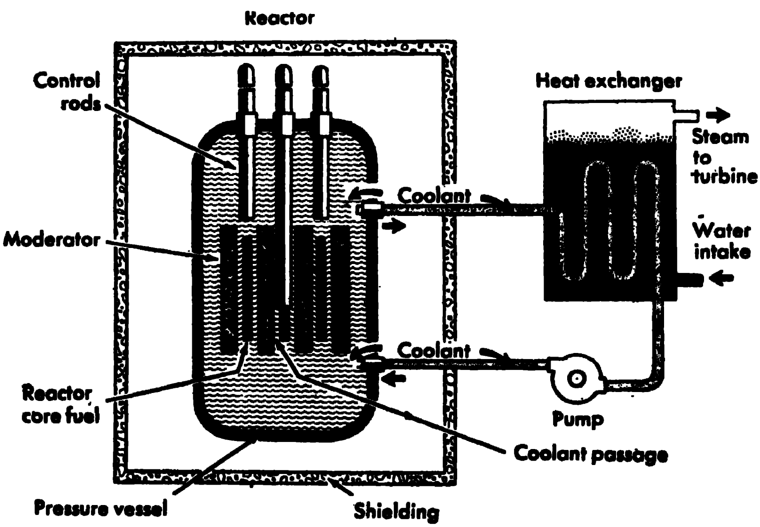
পরমাণু-চুল্লীর প্রধান উপকরণ পারমাণবিক জ্বালানী (Nuclear fuel), পরিমিতকারী বস্তু (Moderator) এবং নিয়ন্ত্রক দণ্ড (Control rod)। জ্বালানী হিসাবে প্লুটোনিয়াম-239, ইউরেনিয়াম-235 ও -233 ব্যবহৃত হইয়া থাকে। ইউরেনিয়ামের প্রাকৃতিক আকরিকে ইউরেনিয়াম-238 (99·3%) এবং ইউরেনিয়াম-235 (0·7%) থাকে। সাধারণ পরমাণু-চুল্লীতে ইউরেনিয়াম-235-গাঢ়ীকৃত (enriched) প্রকৃতিজ ইউরেনিয়াম-238 ব্যবহার করা হয়। আবার, প্লুটোনিয়াম-239 ও ইউরেনিয়াম-233 প্রস্তুত করা হয় যথাক্রমে ইউরেনিয়াম-238 ও থোরিয়াম-232 হইতে। যে বিশেষ পরমাণু-চুল্লীতে একাধারে পারমাণবিক বিখণ্ডন এবং নূতন জ্বালানী উৎপাদন

করা হয়, তাহাকে "প্রজনন-চুল্লী" (Breeder reactor) অভিহিত করা হয়। নিচের প্রবাহচিত্রে প্রজনন-চুল্লীর কার্যপদ্ধতি ব্যাখ্যা করা হইল।




পরমাণুচুল্লীর তাপ নিষ্কাশনের জন্য প্রয়োজন বিশেষ তাপ পরিবাহী তরল পদার্থ—যেমন, সাধারণ জল, ভারী জল, গলিত ধাতু (সোডিয়াম, বা নাইট্রোজেন গ্যাস, ইত্যাদি)। একটি পরমাণুবিদ্যুৎচুল্লীর চিত্র (9.2) দেওয়া হইল।

পরমাণুচুল্লীর অন্তঃপুরের উপকরণগুলি উচ্চতাপ ও তেজস্ক্রিয় বিকিরণের




চিত্র 9.2 : একটি পরমাণু-বিদ্যুৎচুল্লীর (Power Reactor) চিত্র।

প্রভাবাধীন থাকে। তাই এই উপকরণগুলির নির্বাচন অত্যন্ত কঠোর সর্তসাপেক্ষ। ইহাদের কম নিউট্রন শোষণ ক্ষমতা, উচ্চ গলনাঙ্ক, অধিক তাপ-পরিবাহিতা, তেজস্ক্রিয়তা ও অবক্ষয়তা (corrosion)-প্রতিরোধশক্তি ইত্যাদি থাকা চাই। অন্যদিকে, ইহাদের সহজেই কারিগরী কাজের উপযোগী আকারে রূপায়িত করা যাইবে—ইহাও একটি অতিপ্রয়োজনীয় সর্ত। এই সর্ত পালন করে কয়েকটি বিশেষ ধাতু বা তাহাদের সঙ্কর (alloy)। ধাতুদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য—জারকনিয়াম (গলনাঙ্ক 1900°C), নায়োবিয়াম (গলনাঙ্ক 1950°C), লোহা (গলনাঙ্ক 1535°C), মলিব্‌ডেনাম (গলনাঙ্ক 2620°C), ক্রোমিয়াম (গলনাঙ্ক 1083°C) এবং টাইটানিয়াম (গলনাঙ্ক 1800°C)।

বর্তমান মানবসভ্যতার শক্তির চাহিদা দ্রুতহারে বৃদ্ধি পাইতেছে। বর্তমানের শক্তির উৎস—কয়লা, পেট্রোলিয়াম ও প্রাকৃতিক গ্যাস—আগামী 100 বছরে নিঃশেষ হইতে পারে। তখন শক্তির চাহিদা মিটাইবে পরমাণুশক্তি যাহা কয়েক হাজার বছর মানবসভ্যতার চক্র সুষ্ঠুভাবে আবর্তন করিবে। তারপর সমুদ্র ও মহাসমুদ্র হইতে আহৃত ভারী হাইড্রোজেন ($^2H$) অনন্তশক্তির উৎস হিসাবে ব্যবহৃত হইবে, পরমাণুসম্মিলন প্রক্রিয়ার সাহায্যে।

যেখানে চিরাচরিত জীবাশ্ম-জ্বালানী (fossil fuel) কয়লা যথেষ্ট পরিমাণে পাওয়া যায়, সেইসব অঞ্চলে পরমাণুশক্তির অধিক প্রচলন হইবে না। কিন্তু দূরদূরান্ত জনবসতি-বিরল অঞ্চলে—যথা, সুমেরু বা কুমেরু প্রদেশে পরমাণুশক্তি সম্যক কার্যকরী হইবে। ডুবোজাহাজ, বাণিজ্য-জাহাজ ইত্যাদি পরমাণুশক্তি চালিত হইলে দীর্ঘকাল কার্যকরী থাকিবে। তাছাড়া মহাকাশযানে, যোগাযোগকারী উপগ্রহ ইত্যাদিতে পরমাণুশক্তির বহুল প্রচলন হইবে।

ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর ব্যবহারিক প্রয়োগের চমৎকারিত্ব এইখানেই সীমাবদ্ধ নয়। প্লুটোনিয়াম-238, কুরিয়াম-242, কুরিয়াম-244 গাঢ়ীভূত শক্তির উৎস হিসাবে জনপ্রিয়তা অর্জন করিবে। এই মৌলগুলি হইতে উচ্চশক্তিসম্পন্ন আলফা-কণা নিঃসৃত হয়। উপযুক্ত আধারে এই মৌলগুলির মাত্র কয়েক গ্রাম আবদ্ধ থাকিলে প্রচুর তাপশক্তির সৃষ্টি করে যাহা হইতে তাপীয় বিদ্যুতিন প্রক্রিয়ার (thermionic device) সাহায্যে বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করা সম্ভব। এইভাবে ক্ষুদ্র আধারে প্লুটোনিয়াম-238 ট্রানজিট (Transit) কৃত্রিম উপগ্রহে ব্যবহৃত হইয়াছে। ক্যালিফোর্নিয়াম-252

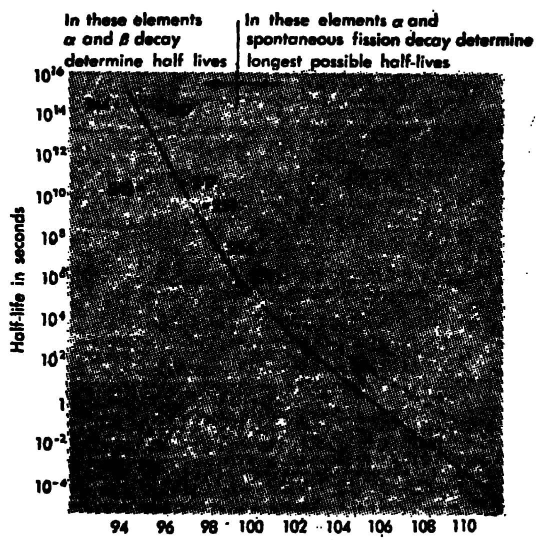
গাঢ়ীভূত নিউট্রনের উৎস হিসাবে ব্যবহৃত হয়। এই ধরনের আইসোটোপ স্বতঃস্ফূর্ত বিখণ্ডনের (spontaneous fission) ফলে প্রচুর নিউট্রন সৃষ্টি করে। এইগুলিকে সুবহ নিউট্রন উৎস হিসাবে নানাবিধ কাজে প্রয়োগ করা যায়।

পরমাণু-চুল্লী হইতে উদ্ভূত নিউট্রনের প্রবাহে অজস্র তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপাদন করা যায়। *ইহাদের বহুমুখী প্রয়োগ পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে ( দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ )।*

# ১০। ভাবী ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলি
## ( The Future Trans-uranium Elements )

মৌল 103, লরেন্সিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলি সম্বন্ধে বিজ্ঞানীরা নানা জল্পনা-কল্পনা করিতেছেন। পর্যায়-সারণীর প্রসার কতদূর হইতে পারে, সীমারেখা কোন্ প্রান্তে থামিতে পারে ইত্যাদি বিষয়ে নানা তাত্ত্বিক গবেষণা হইয়াছে এবং এখনও চলিতেছে। কয়েক বছর আগে রাশিয়ান বিজ্ঞানীরা মৌল 104 ঘোষণা করিয়াছিলেন কুরচাটোভিয়াম (Kurchatovium) নামে। ইহা প্রস্তুত করা হইয়াছিল কার্বন আয়ন দ্বারা ক্যালিফোর্নিয়ামকে আক্রান্ত করিয়া। কিন্তু পরবর্তী পরীক্ষায় ইহা সমর্থিত হয় নাই।

ভারী ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির অর্ধায়ুষ্কাল পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে




চিত্র 10.1 : মৌল 94—110 এর অর্ধায়ুষ্কালের চিত্রলেখ।

অত্যন্ত দ্রুত হারে হ্রাস পাইতে থাকে ( চিত্র 10.1 )। চিত্রটি হইতে স্পষ্ট দেখা যায় যে, মৌল 110 এর অর্ধায়ুষ্কাল $10^{-4}$ সেকেণ্ড হইবে। এইখানেই

অত্যন্ত ভারী মৌলগুলির রূপদানের প্রধান অন্তরায়। ইহাদের সঠিক সংখ্যা ভবিষ্যদ্বাণী করাও সহজসাধ্য নয়। যে মৌলের কেন্দ্রকে অযুগ্ম (odd) প্রোটন বা নিউট্রন থাকে, তাহাদের অর্ধায়ুষ্কাল দীর্ঘ হইবে এবং তাহাদের আবিষ্কারের পথ সুগম হইতে পারে। ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির আবিষ্কারের পদ্ধতি ভারী মৌলগুলির ক্ষেত্রে পরিবর্তিত করা হইয়াছিল। দৃষ্টান্তস্বরূপ, লরেন্সিয়ামের ক্ষেত্রে প্রতিক্ষেপণ প্রক্রিয়া (Recoil technique) কার্যকরী হইয়াছিল। পরবর্তী মৌলগুলির ক্ষেত্রেও ইহা প্রযোজ্য হওয়া উচিত। বার্ক্‌লের বিজ্ঞানীরা এই পথ অনুসরণ করিতেছেন।

মৌল 103 এর পরবর্তী মৌলগুলি উৎপাদনের জন্য ভারী আয়নকে ক্ষেপণক (projectile) হিসাবে ব্যবহার করা প্রয়োজন। বিশেষ অ্যাক্‌সিলারেটার **(Heavy Ion Linear Accelerator, HILAC)** এর সাহায্যে হিলিয়াম হইতে নিওন পর্যন্ত ভারী আয়ন ক্ষেপণক হিসাবে ব্যবহৃত হইতেছে বার্ক্‌লেতে ( 1958 সাল হইতে )। রাশিয়াতেও একই প্রচেষ্টা চলিতেছে। লক্ষ্য বস্তু (target) যথেষ্ট পরিমাণে প্রস্তুত করার সমস্যা খুবই উৎকট। পক্ষান্তরে মৌল উৎপাদনের পরিমাণ বৃদ্ধি করার জন্য ভারী আয়নের ক্রমাঙ্ক কম হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ মৌল 106 উৎপাদন বৃদ্ধির জন্য ক্ষেপণক হিসাবে নিওন ( ক্রমাঙ্ক 10 ) এর অপেক্ষা নাইট্রোজেন আয়ন ( ক্রমাঙ্ক 7 ) অধিকতর বাঞ্ছনীয়।

$$^{99}Es + {}^{7}N \rightarrow {}^{106}X$$

$$^{96}Cm + {}^{10}Ne \rightarrow {}^{106}X$$

মৌল 104 (Y) ও 105 (Z) উৎপাদনের সম্ভাব্য বিক্রিয়া এইরূপ :

$$^{98}Cf + {}^{6}C \rightarrow {}^{104}Y$$

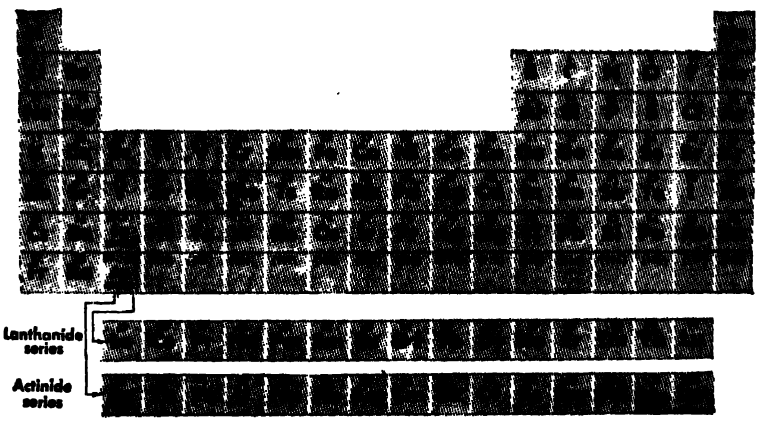
$$^{98}Cf + {}^{7}N \rightarrow {}^{105}Z$$

অত্যন্ত ভারী কেন্দ্রক, যেমন মৌল 137, প্রস্তুত করার জন্য প্রয়োজন অত্যন্ত উচ্চ নিউট্রন প্রবাহ ( $10^{30}$ নিউট্রন প্রতি বর্গ-মিটারে প্রতি সেকেণ্ডে ) যাহা পাওয়া সম্ভব একমাত্র নক্ষত্রমণ্ডলে। পৃথিবীতে এই পরিমাণ নিউট্রন-প্রবাহ উৎপন্ন করা দুষ্কর। এখনও পর্যন্ত পরমাণু-চুল্লীর সর্বোচ্চ নিউট্রন প্রবাহের মাত্রা $10^{16}$ নিউট্রন প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে প্রতি সেকেণ্ডে।

সম্প্রতি ( 29 জুন, 1976 ) নোবেল পুরস্কার বিজয়ী অধ্যাপক ডাইর‍্যাক (Paul Dirac) ঘোষণা করিয়াছেন—মৌল 116, 124 ও 126 এর

আবিষ্কার। তাঁহার সহকর্মী জেণ্ট্রি (R. V. Gentry) ও কাহিল (T. A. Cahill) ফ্লোরিডায় গবেষণাগারে প্রাকৃতিক আকরিক হইতে উক্ত মৌলগুলি আবিষ্কার করিয়াছেন—অর্ধায়ুষ্কাল 50 কোটি বছর ( $5 \times 10^9$ বছর )। বিশদ বিবরণ এখনও প্রকাশিত হয় নাই।

লরেন্সিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলির পর্যায়-সারণীতে স্থান, চিত্র 10.2-তে প্রদর্শিত হইয়াছে। রাসায়নিক ধর্মের ভবিষ্যদ্বাণীর ভিত্তিতে এই স্থান নির্ধারিত হইয়াছে। এই চিত্রে দেখা যায়, সপ্তম পর্যায়ে (period) মৌল 104-এর




চিত্র 10.2 : বর্তমান পর্যায়-সারণীতে মৌল 104—108-এর স্থান।

স্থান হইবে হ্যাফ্‌নিয়ামের নিচে ( চতুর্থ শ্রেণী, group IV), 105 এর স্থান ট্যাণ্টালামের নিচে ( পঞ্চম শ্রেণী ), 106 এর স্থান টাংস্টেনের নিচে ( ষষ্ঠ শ্রেণী ), ইত্যাদি। মৌল 104 হইতে 6d অনুস্তরে ইলেকট্রনের যোগদান চলিবে এবং ইহা সম্পূর্ণ হইবে মৌল 112 তে। মৌল 113 হইতে 7p অনুস্তরে ইলেকট্রন যোগদান সুরু হইবে এবং সমাপ্ত হইবে নিষ্ক্রিয় গ্যাস 118 তে। পর্যায়-সারণীর এই অবস্থান অনুযায়ী জলীয় দ্রবণে মৌল 104 এর চতুর্থ জারণস্তর ( হ্যাফ্‌নিয়ামের অনুরূপ ), 105 এর পঞ্চম জারণস্তর ( ট্যাণ্টালামের অনুরূপ ) এবং 106 এর (টাংস্টেনের অনুরূপ) ষষ্ঠ জারণস্তর থাকিবে।

পৃথিবীর শ্রেষ্ঠ গবেষণাগারগুলিতে উক্ত মৌলগুলির অনুসন্ধান এখনও চলিতেছে। ইহাদের আবিষ্কার ও সনাক্তকরণে যে দুস্তর বাধা স্বাভাবিকভাবেই আছে, সেইগুলি হয়তো বিজ্ঞানীদের অক্লান্ত সাধনার ফলে অতিক্রান্ত হইবে অদূর

ভবিষ্যতে। পর্যায়-সারণীর শেষ সীমা কোথায় এই প্রশ্নের উত্তর আশা করা যায় আগামী কয়েক বছরের মধ্যেই মিলিবে।

**প্রাসঙ্গিক গ্রন্থ, প্রবন্ধাদি ( পরিচ্ছেদ ৫—১০ ):**

1. G. T. Seaborg—"Man-made Trans-uranium Elements", Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. (1963)

2. G. T. Seaborg—"The Trans-uranium Elements", Smithsonian Report, 247 (1960)

3. R. M. Latimer—Science Teacher, *28,* No 7, (1961)

4. G. T. Seaborg—Journal of Chemical Education, *36*, 38 (1959)

5. F. G. Werner and J. A. Wheeler—Physics Review, *109*, 126 (1958)

6. B. B. Cunningham—Microchemical Journal, 69 (1961)

7. B. B. Cunningham—Journal of Chemical Education, *36*, 31 (1959)

8. F. A. Cotton and G. Wilkinson—"Advanced Inorganic Chemistry", 2nd ed., Wiley, N. Y. (1966)

—

# বর্ণানুক্রমিক সূচী

অতিউন রসায়ন-প্রণালী, 76
অর্ধায়ুকাল, 11, 109—111
অনুশীলনী, 26

আইনষ্টাইন, 4, 67
আইনষ্টাইনিয়াম, 67
আইরিন্ কুরী, 10, 55
আইসোটোপ, 50
— লঘুকরণ পদ্ধতি, 18
আলফা রশ্মি ( কণা ), 11, 50
আলোক-সক্রিয়, 16
আলোক-নিষ্ক্রিয়, 16
আয়ন-বিনিময় প্রক্রিয়া, 80
— প্রযুক্তি, 84—88
— রঞ্জন, 84—88
আন্‌রিকো ফের্মি, 56
আপেক্ষিক প্রাচুর্য, 2-3
আমেরিকিয়াম, 63-64
অ্যাক্টিনাইড্ মৌলশ্রেণী, 91, 93—100
— সংকোচন, 95
— আয়ন, 97
— ইলেকট্রন-বিন্যাস, 92—94
— প্রমাণ বিজারণ বিভব, 98-99
অ্যাক্সিলারেটর, 10
অ্যাষ্টাটাইন, 45-46
অ্যাবেলসন, 60
অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, 52

ইউরেনিয়াম, 1, 51, 56, 92—100, 101—108
— শ্রেণী, 7
ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী, 55—101, 109—112
ইলেকট্রন, 49
— বিন্যাস, 92—94
উইলার্ড লিবি, 21
উদ্বুদ্ধ সক্রিয়তা বিশ্লেষণ, 19
উল্কাপিণ্ড, 7
উপরিতলের রসায়ন, 12
ওয়াল, 61
ওয়ালম্যান, 66
ওয়াল্‌ডেন্ বিবর্তন, 16
ওয়ার্নার, 64, 76
কন্যা মৌল, 71
কার্বন-নাইট্রোজেন চক্র, 4
কানিংহাম, 64, 66, 76
করিয়েল, 44
কেন্দ্রক, 48
কেন্দ্রক-বিক্রিয়া, 3, 9, 50
কেন্দ্রক ক্ষেপণক, 10, 110
কুরী, 110
কুরিয়াম, 63-64, 86-87, 92-93
কেটেল, 44
কাহিল, 111

ক্রান্তিক ভর, 103
ক্যালিফোর্নিয়াম, 65-66, 72, 86-87, 92—94, 110
গামা রশ্মি, 11, 50
গ্রেগুনিন, 44
গিওর্‌সো, 72
জলবিভাজন, 12, 99
জর্জ গ্যামো, 3
জাগতিক, 2
জারণস্তর, 51, 79, 96
জোলিও কুরী দম্পতী, 10, 55
টেক্‌নিসিয়াম, 41—43
ট্রেসার-প্রযুক্তি, 12—26
( তেজস্ক্রিয় ট্রেসার-প্রযুক্তি )
ট্রাইবুটাইল ফস্‌ফেট্ পদ্ধতি, 81-82
টম্‌সন্, 65
ডয়টারন রশ্মি, 61—63, 72
তাপকেন্দ্রক বিস্ফোরণ, 6
তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ, 9—40
তেজস্ক্রিয় কার্বন (তারিখ নির্ণয়), 21-22
তেজস্ক্রিয় ভস্মরাশি, 67, 104
তেজস্ক্রিয় মৌলশ্রেণী, 11
তেজস্ক্রিয়া, 11-12
তেজস্ক্রিয়ামিতি পদ্ধতি, 18
নিউট্রন, 49
নিউট্রিনো, 49
নিরুদ্দেশ মৌল, 41—47
নেপচুনিয়াম্, 59—61
নোবেলিয়াম, 70-71
পজিট্রন, 49
পরমাণু চুল্লী, 10, 105—107
পরমাণু বোমা, 103-104
পরমাণু ভরসংখ্যা, 48
পর্যায়-সারণী, 1, 89—100
পরিভাষা, 48
পল ডাইর‍্যাক, 110
পারমাণবিক গুরুত্ব, 48
পারমাণবিক বিখণ্ডন, 51, 57
— উপজাত
আইসোটোপ, 78, 87
পারমাণবিক বিস্ফোরণ, 102—105
পার্লম্যান, 64
প্লুটোনিয়াম, 61—63
— উৎপাদন শিল্প, 77
প্রতিক্ষেপণ পদ্ধতি, 68-69
প্রোটন, 4, 49
প্রোটন-প্রোটন চক্র, 3
পেরে, 47
প্রমাণ বিজারণ বিভব, 98
পৃথকীকরণের পরীক্ষা, 17
প্রজনন-চুল্লী, 106
ফের্মিয়াম্, 67, 69
ফ্রান্সিয়াম, 46-47
ফ্রেড্ হয়েল, 3
বয়েড্, 44
বার্কেলিয়াম্, 65
বাহক আইসোটোপ, 76
ব্যাপন, 12

বিটা রশ্মি, 11, 49
বিটাট্রন, 10
বিনিময় বিক্রিয়া, 14
বিস্মাথ ফস্‌ফেট্‌ পদ্ধতি, 82-83

ভেদন ক্ষমতা, 11

মহাজাগতিক, 2
ম্যাক্‌মিলান, 59
ম্যারিন্‌স্কি, 44
মেণ্ডেলিভিয়াম্‌, 67—70
মেসন, 49
মৌল রূপান্তর প্রক্রিয়া, 9

রাদারফোর্ড, 4, 9

লরেন্স, 73
লরেন্সিয়াম্‌, 72-73
ল্যান্‌থানাম ফ্লুওরাইড্‌ চক্র, 82-83
ল্যান্‌থানাইড্‌ মৌলশ্রেণী,
( গোষ্ঠী ), 92—96

শৃংখল অভিক্রিয়া,
অনিয়ন্ত্রিত, 102—105
— নিয়ন্ত্রিত, 105—107

হেক্সোন পদ্ধতি, 81
হেন্‌রি বেক্‌রেল, 9
হ্যান্‌-ষ্ট্রাস্‌ম্যান, 56
হাইল্যাক (HILAC), 89, 110

স্বতঃস্ফূর্ত বিখণ্ডন, 69-70, 108
সহাধঃক্ষেপণ-বিক্রিয়া, 80
সম্মিলন বিক্রিয়া, 5, 82
সাইক্লোট্রন, 10
সিন্‌ক্রোট্রন, 10
সীবর্গ, 58, 61, 63, 65, 91
সেগ্রে, 41-42