প্রাক্‌কথন

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

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

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

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

অধ্যাপক (ড.) শুভ শঙ্কর সরকার
উপাচার্য

পুনর্মুদ্রণ ঃ নভেম্বর, 2016

বিশ্ববিদ্যালয় মঞ্জুরি কমিশনের দূরশিক্ষা ব্যুরোর বিধি অনুযায়ী ও অর্থানুকূল্যে মুদ্রিত।

Printed in accordance with the regulations and financial assistance of the Distance Education Bureau of the University Grants Commission.

পরিচিতি

বিষয় : রসায়নবিদ্যা **সাম্মানিক স্তর**

পাঠক্রম : পর্যায় : ECH 01 : 02

	রচনা	**সম্পাদনা**
একক 6	ড. মনতোষ দাশগুপ্ত	অধ্যাপক অশোক চৌধুরী
একক 7	ঐ	ঐ
একক 8	ড. পার্থ সেন	ড. মনতোষ দাশগুপ্ত
একক 9	ঐ	ঐ
একক 10	ড. মনতোষ দাশগুপ্ত	অধ্যাপক অশোক চৌধুরী

প্রজ্ঞাপন

এই পাঠ-সংকলনের সমুদয় স্বত্ত্ব নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের দ্বারা সংরক্ষিত। বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃপক্ষের লিখিত অনুমতি ছাড়া এর কোনও অংশের পুনর্মুদ্রণ বা কোনওভাবে উদ্ধৃতি সম্পূর্ণ নিষিদ্ধ।

মোহন কুমার চট্টোপাধ্যায়
নিবন্ধক

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়

ECH 01

সাধারণ রসায়ন

(স্নাতক পাঠক্রম)

পর্যায়

2

একক	**6**	আণব প্রতিসরণ, আলোক-সক্রিয়তা	7-26
একক	**7**	দ্বিমেরু ভ্রামক	27-53
একক	**8**	আণব বর্ণালি ও পদার্থের গঠন	54-110
একক	**9**	রামন বর্ণালি ও পদার্থের গঠন	111-128
একক	**10**	কেন্দ্রকীয় রসায়ন	129-192

একক 6 □ আণব প্রতিসরণ, আলোক-সক্রিয়তা

গঠন

6.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

6.2 আণব প্রতিসরণ

6.2.1 যুত ও গঠনগত ধর্ম

6.2.2 প্রয়োগ

6.2.3 ব্যতিক্রান্ত ফল

6.2.4 প্রতিসরাঙ্ক মিপিন ঃ পুল ফ্রিশ প্রতিসরমাপক

6.2.5 প্রতিসরণীয় বিচ্ছুরণ

6.2.6 রেফ্যারকোর

6.3 আলোক-সক্রিয়তা

6.3.1 সমতল সমবর্তিত আলোক

6.3.2 আলোক-সক্রিয়তার প্রকৃতি

6.3.3 দক্ষিণ ও বাম-আবর্ত্তী আলোক-সক্রিয় পদার্থ সমূহ

6.3.4 আবর্তন কোণ পরিমাপন

6.3.5 আলোক-সক্রিতার পরিমাণ নিয়ন্ত্রক উপাদানসমূহ

6.3.6 আপেক্ষিক ও আণব আবর্তন

6.3.7 রাসায়ণিক গঠন ও আলোক-সক্রিয়তা

6.3.8 আলোক-সক্রিয় উপর্যুপাতের নীতি।

6.3.9 আলোক-সক্রিয় বিচ্ছুরণ

6.4 সারাংশ

6.5 প্রান্তিক-প্রশ্নাবলি

6.6 উত্তরমালা

6.7 গ্রন্থপঞ্জী।

6.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা

অণুর গঠন—তাদের আকার (Size), আকৃতি (shape), পরমাণুগুলির সজ্জা (array), ত্রিমাত্রিক বিন্যাস (distribution)-বর্তমানে সুবেদী যন্ত্রের সাহায্যে সূক্ষ্ম ভৌত পদ্ধতিতে নির্ণয় করা সম্ভব। ECH 0-6 পাঠ্যাংশের প্রথম পর্যায়ের একক 5-এ আপনারা দেখেছেন কীভাবে ইলেক্ট্রন ও রঞ্জেন রশ্মির ব্যতিচার (diffraction) অণুসরণ করে কেলাসের পরমাণুসমূহের বিন্যাস ও আন্তর্ণারমাণবিক দূরত্ব নির্ণয় করা সম্ভব। বর্তমান অধ্যায়ে আমরা আরও দুটি এরূপ ভৌত পদ্ধতির আলোচনা করব, দেখব কীভাবে আণবিক গঠন নির্ণয়ে এদের প্রয়োগ করা যায়। তবে একটা কথা মনে রাখবেন, সঠিকতম গঠন নির্ণয়ের জন্য একাধিক পদ্ধতির প্রয়োগের মাধ্যমে অণুপুঙ্খ বিশ্লেষণ প্রয়োজন। নতুবা আপাত বিরোধী সিদ্ধান্তে উপনীত হবার সম্ভাবনা থাকে।

উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি সম্যক্ পাঠ ও আলোচনা করে আপনারা

- আণব প্রতিসরণ ও আলোক সক্রিয়তা সম্বন্ধে ধারণা পাবেন।
- কীভাবে এরা নির্ণীত হয়, তাও জানতে পারবেন।
- দেখবেন ও জানবেন কীভাবে এদের প্রয়োগ করে কোন অণুর অভ্যন্তরীণ গঠন সম্বন্ধে ধারণা পাওয়া যায়।
- আপনারা নতুন এক ধরনের ধর্মের এক ধরনের ধর্মের কথা জানতে পারবেন, এর অভিধা যুত ধর্ম (additive property)।
- 'অপ্রতিসম' কার্বণ বলতে কী বোঝায়, তা জানবেন। আরও বুঝবেন যে এই 'অপ্রতিসম কার্বণ' পরমাণু কথাটা ঠিক নয়।
- ফন্ট হক ও লা বেল-এর আবিষ্কার সম্বন্ধে অবহিত হবেন। আশ্চর্যের কথা এই আবিষ্কারের সময় ফন্ট্ হকের বয়স ছিল মাত্র আঠারো।
- আলোক-সক্রিয় উপর্যুগাত ও আলোক-সক্রিয় বিচ্ছুরণ সম্বন্ধে ধারণা পাবেন।

6.2 আণব প্রতিসরণ (Molar Refraction)

আলোকের প্রতিসরণের ক্ষেত্রে স্নেল-এর সূত্র আপনারা জানেন, এ প্রসঙ্গে আলোক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক সম্বন্ধেও আপনাদের স্পষ্ট ধারণা হয়েছে। পরবর্তী কালে আলোকের প্রকৃতি ব্যাখ্যা প্রসঙ্গে ম্যাক্সওয়েল (Maxwell, 1880) তড়িচ্চম্বকীয় তত্ত্ব দেন। তা থেকে লোরেন্জ্ (Lorenz) ও লোরেন্ৎজ্ (Lorentz) স্বাধীনভাবে মাধ্যমের ঘনত্ব (d) ও প্রতিসরাঙ্ক (n) মধ্যে নিচের সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা করেন ঃ

$$\frac{n^2-1}{n^2+2}\cdot\frac{1}{d}=Rs$$

Rs-কে পদার্থটির আপেক্ষিক প্রতিসরণ (specific refraction) বা আণব প্রতিসরাংক (molar refractivitiy) বলে; এটি তাপমাত্রা নিরপেক্ষ, কিন্তু ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘের উপর নির্ভরশীল (কারণ n-এর মান তরঙ্গদৈর্ঘের উপর নির্ভর করে)। লক্ষ্য করা গেছে যে তরল ও গ্যাসীয় অবস্থায় কোন পদার্থের আণব প্রতিসরণের মান প্রায় অভিন্ন।

আপেক্ষিক প্রতিসরণকে পদার্থের আণবিক ওজন দিয়ে গুণ করলে পাওয়া যায় আণব প্রতিসরণ (R_M)

$R_M = Rs \times M$ (M = আণবিক ওজন)

$$=\frac{n^2-1}{n^2+2}\cdot\frac{M}{d}$$

জানেনই তো যে 'n' দুই মাধ্যমে আলোর গতিবেগের অণুপাত ($a_{n_b}=\frac{V_a}{V_b}$, $a_{n_b}=a$ মাধ্যমের সাপেক্ষে b মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক; V = সংশ্লিষ্ট মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ), আর সেজন্য n-এর কোন মাত্রা। একক নেই। তাই R_M-এর একক 'মি.^{3} প্রতি কেজি মোলে'। R_M-এর মান সঠিক পেতে হলে n-এর মান নির্ভুল ভাবে নির্ণীত হতে হবে। নিমজ্জনে প্রতিসরমাপক (immersion refractometer) বা পুলফ্রিশ (Pulfrich) প্রতিসরমাপক দিয়ে n মাপা সম্ভব।

6.2.1 যুত ও গঠনগত ধর্ম

আণব প্রতিসরণ অংশত যুতধর্ম এবং অংশত গঠনগত ধর্ম। সমগণ সমূহের আণব প্রতিসরণ নির্ণয় করে দেখা যায় যে তারপর দুটি সমগণের মধ্যের পার্থক্য সমান হয়। এ থেকেই প্রমাণ হয় যে আণব প্রতিসরণ যুতধর্ম, অর্থাৎ এই পার্থক্য একটি $-CH_2-$ মূলকের পর্যায়ক্রমিক বৃদ্ধির জন্য ঘটে। $-CH_2-$ মূলকের অণুদান 4.618 (Na-D অর্থাৎ 589 nm আলোকের জন্য)

> পদার্থের যে সবধর্ম তার গঠনের উপর নির্ভর করে তাদের বলে **গঠনগত ধর্ম**।
>
> পদার্থের যে সবধর্ম তার একক সমূহের সংশ্লিষ্ট ধর্ম যোগ করে পাওয়া যায় তাদের বলে **যুত ধর্ম**।

এবার আসুন আমরা অঙ্ক কষে দেখি কীভাবে এই যুতধর্মের ধারণার প্রয়োগ করা যায়।

দেখা গেল হেক্সেন (C_6H_{14})-এর আণব প্রতিসরণ 29.908;

$\therefore$ 29·900 – (6 × 4·618) = 2·200

$\therefore$ H-এর প্রতিসরণ তুল্যাংক (refraction equivalent R_b) = (2·200) ÷ 2 = 1·100.

তাহলে C-এর R_b কত হবে? হবে, (4·618 – 2·200) বা 2·418.

এভাবেই বিভিন্ন পরমাণু ও বন্ধের R_b বের করা যায়। সারণি 6·1-এর একটা তালিকা দেওয়া হল।

প্রতিসরণ তুল্যাংক

সারণি 6·1

মৌল/বন্ধ	মান	মৌল	মান	মৌল/বন্ধ	মান
H	1·100	O	2·211	N	2·499
		(CO গ্রুপে)		(2° N অ্যাক্ষিণে)	
C	2·418	O	1·644	(3° অ্যাক্ষিণে)	2·840
Cl	5·967	(ইথারে)			
		O		C = C	1·733
Br	8·860	(OH গ্রুপে)	1·522		
		N		C ≡ C	2·398
I	13·900	(1° অ্যাক্ষিণে)	2·322	বেঞ্জিন বলয়	খুব কম

সারণি 6·2 এ উল্লিখিত 6·1· সারণিতে দেওয়া উপাত্ত ব্যবহার করে গণনালব্ধ ও পরীক্ষালব্ধ মানদ্বয়ের নৈকট্য বিবেচনা করে বোঝা যাবে যে আণব প্রতিসরণ যে যুত ধর্ম—এই ধারণা যুক্তিযুক্ত।

সারণি 6·2

যৌগ	বেঞ্জিন	সাইক্লো হেক্সেন	$CH_3(COOH)$	$(CH_3)_2CO$	$CHCl_3$	diallyl	allye alcohal	$(C_2HS)_2O$
গণনালব্ধ	26·31	27·67	12·91	16·07	21·42	28·78	17·11	22·32
পরীক্ষালব্ধ	26·15	27·71	12·93	16·15	21·40	28·77	16·97	22·48

দ্বি-বা ত্রি-বন্ধের উপস্থিতি আণব প্রতিসরণের মান বাড়িয়ে দেয়; একেন্ত বোঝা যায় যে যুতধর্মের ক্ষেত্রে এদেরও অনুদান আছে। বেঞ্জিণ বলয়ের কিন্তু বিশেষ প্রভাব নেই।

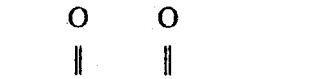
6·2·2 প্রয়োগ

কোন কোন ধরণের, বিশেষ করে টার্পিণ যৌগসমূহের ক্ষেত্রে আণব প্রতিসরণ প্রয়োগ করে তাদের গঠনের উপর কিন্তু তথ্য যোগানের প্রয়াস হয়েছে। উদাহরণ স্বরূপ সমাবয়ব α– ও β–টার্পিণসমূহের উল্লেখ করা

যায়। এদের অণুতে দুটি দ্বি-বন্ধ আছে। β– গঠন অপেক্ষা α– গঠনের আণব প্রতিসরণের মান এক এককের ও বেশি; এ থেকে অণুবন্ধী (conjugated) দ্বি-বন্ধের উপস্থিতি টের পাওয়া যায়।

আরেকটা উদাহরণ ঃ ফিটো-ইনোল গতিশীল সমারয়কতা (টটোমেরিজ্‌ম্‌)-এর ক্ষেত্রে ঃ এটি বেশ কৌতুহলোদ্দীপক। প্রত্যাশিত যে টটোমার দুটির Rm বিভিন্ন হবে; কারণ ইনোল গঠনে একটি দ্বি-বন্ধ আছে। কাজেই পরীক্ষালব্ধ Rm-এর মান থেকে বোঝা যাওয়া উচিত, যৌগটি কী অবস্থায় আছে। D–রেখার জন্য এ্যাসিটোস্যাসিটিক এস্টারের কিটো ও ইনোল গঠণের Rm-মান

যথাক্রমে 31·57 ও 32·62



31·57

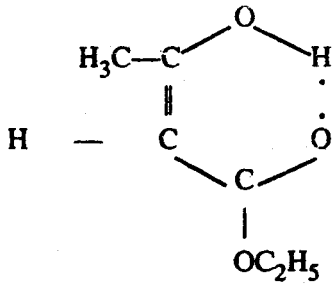
32·62

এখন, ইনোলিক গঠণে দ্বিবন্ধ দুটি অণুবন্ধী অবস্থায় আছে, তাই আশা করা যায় যে এর Rm মানের প্রায় 1·8 একরে মত বৃদ্ধি ঘটবে।

β–ইথক্সি ক্রোটোণিক অ্যাসিডের গণনা ও পরীক্ষালব্ধ মানের পার্থক্য থেকে এটা আন্দাজ করা যায়। সুতরাং ইনোল গঠণের Rm. এর মান হওয়া উচিত (32·62 + 1·8) বা 34·42 কিন্তু এ্যাসিটোস্যাসিটিক এস্টারের Rm-এর পরীক্ষালব্ধ মান 32·00।

$$\therefore \text{সাম্যাবস্থার মিশ্রণে ইনোল গঠণের শতকরা মাত্রা} = \frac{32\cdot00-31\cdot57}{34\cdot42-31\cdot57}\times 100 = 15$$

কিন্তু অন্যভাবে পাওয়া মানের চেয়ে এটা কিছু বেশি। এর কারণ হিসাসে বলা হয়েছে যে কিটো গঠণের গণনালব্ধ মান 0·2 একক বেশি। তাছাড়া ইনোল গঠণে H-বন্ধ হেতু একটা বলয় গঠন আছে (নিচে দেখুন) –Rm-এর উপয় এর প্রভাব অনিশ্চিত।

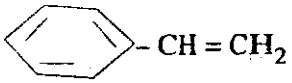


6·2·3 ব্যতিক্রান্ত ফল (anomalous results)

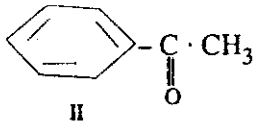
কোন মুক্ত শৃঙ্খল গঠণ যুক্ত অণুতে অণুবন্ধী (Conjugated) দ্বিবন্ধ থাকলে, আণব প্রতিসরণের মান গণনালব্ধ। মানের চেয়ে বেশি হয়। এই আচরণকে ঈক্ষণিক ব্যতিক্রম (Optical anomaly) বলা হয়েছে। এর ফলে মান

সাধারণতঃ বেড়ে যায় বলে একে ঈক্ষণিক উল্লসন (optical exaltation) ও বলা হয়ে থাকে। উদাহরণ আইসো ডাই অ্যালাইল $CH_3—CH = CH – CH = CH – CH_3$-এর D- রেখার জন্য পরীক্ষালব্ধ আণব প্রতিসরণ R_D গণনালব্ধ মানের চেয়ে 1·76 একক বেশি, কিন্তু এর সমাবয়ব ডাই-অ্যালাইন $CH_2 = CH — CH_2 — CH_2 — CH = CH_2$ (যাতে অণুবন্ধী দ্বি-বন্ধ নেই)-এর পরীক্ষালব্ধ মান 0·12 একক কম। যদি অণুবন্ধী দ্বি-বন্ধ বলয় গঠন করে (যেমন বেঞ্জিণ/সাইক্লো আক্টাটেট্রাইন), এই ঈক্ষণিক উল্লসন অন্তর্হিত হয়। যদি এই অণুবন্ধী তন্ত্র (system) আংশিক ভাবে বলয়ের মধ্যে ও আংশিকভাবে পার্শ্বশৃঙ্খলে থাকে (যেমন স্টাইরিণ্, I ও অ্যামিটোফিনোন্, II) তবে আবার এই উল্লসন দেখা যাবে।

Optical anomaly-ঈক্ষণিক ব্যতিক্রম
Optical-exaltation-ঈক্ষণিক উল্লসন



I



II

অণুরূপে যদি বলয় কোণ ফাঁক থাকে (যেমন α– ফিলাণ্ড্রিণ, III) উল্লসন থাকে। মজার ব্যাপার এই যে বহু বলয় অ্যারোমেটিক যৌগে (যেমন ন্যাপ্থালিন, অ্যাণ্থ্রাসিন ইত্যাদি) যথেষ্ট পরিমাণ উল্লসন দেখা যায়। সাইক্লোপেন্টেন, সাইক্লোবিউটেন ও এ ধরণের অন্যান্য যৌগের ক্ষেত্রে প্রাপ্ত আণব প্রতিসরণের মান গণনালব্ধ মানের চেয়ে যথাক্রমে 0·7 ও 0·5 একক বেশি।

6·2·3 মিশ্রণের আণব প্রতিসরণ

মনে করা যাক একটি মিশ্রণে M_1 ও M_2 আণবিক ওজন বিশিষ্ট দুটি পদার্থের যথাক্রমে x_1 ও x_2 মোল ভগ্নাংশ মিশ্রিত আছে। এই মিশ্রণের আণব প্রতিসরণ হবে

$$[R]_{1,2} = \frac{n_m^2 - 1}{n_m^2 + 2} \cdot \frac{x_1M_1 + x_2M_2}{d_m} \quad \text{.....(1)}$$

[n m = মিশ্রণের প্রতিসরাঙ্ক
dm = মিশ্রণের ঘণত্ব]

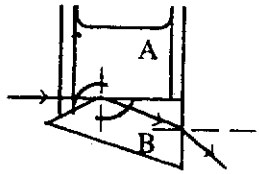
দেখা গেছে, এই মান উপাদান দুটির অণুদানের সমষ্টি।

$[R]_{1,2} = x_1\ [R_1] + x_2\ [R_2]$.....(II) R_1 ও R_2 উপাদানদ্বয়ের আণব প্রতিসরণ।

এই নিয়মে খুব সামান্য সংখ্যক ব্যত্যয়ই জানা আছে। কঠিন পদার্থের বা খুব কম পরিমাণে প্রাপ্তব্য পদার্থের আণব প্রতিসরণ এভাবে পাওয়া যেতে পারে। প্রথমে জ্ঞাত সংযুতি (composition)-ও ঘনত্বের মিশ্রণের আণব প্রতিসরণ মাপা হয়। এবার যদি একটি উপাদানের (যেমন দ্রবণের ক্ষেত্রে দ্রাবকের) আণব প্রতিসরণ জানা থাকে তবে অপরটির আণব প্রতিসরণ সমীকরণ (II) প্রয়োগ করে পাওয়া যাবে।

6·2·4 প্রতিসরাঙ্ক মাপন ঃ পুলফ্রিশ প্রতিসরমাপক

পুলফ্রিশ প্রতিসরমাপক একটি সহজ ধরণের সহজে ব্যবহার যোগ্য যন্ত্র (চিত্র 6·1)। এটি বহুলব্যবহৃত ও, কারণ প্রতিসরাণাঙ্ক একটি অতিগুরুত্বপূর্ণ ভৌত ধর্ম; বিশুদ্ধতার পরিমাণ করতে এর প্রয়োগ হয়।



পরীক্ষাধীন তরল একটি চোঙাকৃতি কাচের কোষ (A)-এ নেওয়া হয়। A কোষটি আবার একটি উচ্চ (1·6) প্রতিসরাঙ্কের কাচ নির্মিত সমকোণী প্রিজ্‌ম্‌ B-র সঙ্গে আটকানো থাকে। মনে করা যাক একটি একবর্ণ (monochnomatic) আলোক রশ্মি (Na-D বা H-বর্ণালীর একটি রেখার) সমান্তরাল তল বরাবর প্রিজ্‌মে প্রবেশ করে, অর্থাৎ প্রায় তল ঘেঁষে আপতিত হয়। প্রতিসরণের নিয়মাণুযায়ী $Sini/Sinr_1 = N/r$ (N ও n যথাক্রমে প্রিজমের উপাদান ও তরলের প্রতিসরাঙ্ক)।

$\therefore i_1 = 90°$, $Sir_1 = \frac{n}{N}$ ...(ii)। আলোক রশ্মির বায়ুতে নির্গমনের দিক নির্ভর করে বায়ু (প্রতিসরাঙ্ক 1·0)-র সাপেক্ষে প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের উপর।

$\therefore \frac{Sini}{Sinn} = N$, বা $Sin\ r = \frac{Sini}{N}$ .....(2)

এখন, $\therefore r + r_1 = 90°$, $Sinr = Cosr_1 = \sqrt{1 - Sin^2 r_i}$ .....(3)

(1), (2) ও (3) থেকে পাওয়া যায়; $n = \sqrt{N^2 - Sin^2 i}$

পুলফ্রিশ্‌ প্রতিসরমাপক থেকে আমরা i কোণের মাপ পাই। এখন যদি প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক পাওয়া যায়, তবে তরলের প্রতিসরাঙ্ক গণনা করে বের করা যাবে। i কোণের সাপেক্ষে $\sqrt{N^2 - Sin^2 i}$ -এর মানের একটি সারণি যন্ত্রের সঙ্গেই সরবরাহ করা হয়। কাজেই ওই সারণি থেকে প্রতি i কোণের সংশ্লিষ্ট প্ররিসরাঙ্কের মান পাওয়া যাবে।

পুলফ্রিশ্‌ প্রতিসরমাপরে মত এত নিখুঁত না হলেও অ্যাবি (Abbe)-র প্রতিসর মাপকও ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

6·2·5 প্রতিসরণরীয় বিচ্ছুরণ (Refractive dispersion)

কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। প্রাচীন (classical) ও কোয়ান্টাম আলোচনা থেকে নিচের সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠিত হয়েছে ঃ

$n = +\sum \frac{a}{\gamma_0^2 - \gamma^2}$ [n = প্রতিসরাঙ্ক; γ = ব্যবহৃত আলোকের কম্পাঙ্ক; a = ধ্রুবক; γ_0 = স্পন্দক (oscillator)-এর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক]

একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের ক্ষেত্রে সমীকরণটি দাঁড়াবে;

$n = 1 + \frac{a}{\gamma_0^2 - \gamma^2}$ । এই ঘটনাকে বলে প্রতিসরণীয় বিচ্ছুরণ।

যতক্ষণ পর্যন্ত $\gamma < \gamma_0$ থাকে অর্থাৎ তুলনামূলকভাবে দীর্ঘ তরঙ্গে ক্ষেত্রে প্রতিসরাঙ্ক তরঙ্গদৈর্ঘের সঙ্গে খুব কমই পরিবর্তিত হয়। যখন $\gamma \rightarrow \gamma_0$, প্রতিসরাঙ্ক দ্রুত বৃদ্ধি পেতে শুরু করে। এই ঘটনাকে ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরণীয় বিচ্ছুরণ বলা হয়। এটি সাধারণত ঃ অণুর শোষণ পটি (absorbtion band) কাছাকাছি দেখা যায়। এর ফলেই প্রতিসরণের পূর্বালোচিত ব্যতিক্রমী আচরণ (যেমন ঈক্ষণিক উল্লসন) দেখা যায়।

দুটি তরঙ্গদৈর্ঘের (যেমন H α ও Hr রেখা) সাপেক্ষ আপেক্ষিক প্রতিসরণের পার্থক্যকে বলে আপেক্ষিক বিচ্ছুরণাঙ্ক (Specitic dispersivity); অণুরূপে আণব (moler) বিচ্ছুণাঙ্ক বলতে বুঝি $[R]_\gamma - [R]_\alpha$।

6·2·6 রেফ্রাকর (refrachor, [F]) নামে আরেকটি ভৌত ধ্রুবক আছে। এটি প্যারাকর (Parachor, [P]-এর সঙ্গে নিম্নলিখিত ভাবে সম্পর্কিত ঃ

$[F] = -[P] \log (\mu_D^{20} - 1)$, μ_D^{20} = 20°C-এ D-রেখায় প্রতিসরাঙ্ক। এই ধর্মও গঠন নিরূপণে ব্যবহার করা যায়।

তবে এর খুব বেশি প্রয়োগ হয়নি।

তরলের আণব আয়তন এবং $\frac{1}{4}$ খাতে নীত পৃষ্ঠটানের গুণ ফলকে প্যারাক (P) বলে।

$\frac{M^{1/4}}{D} = P$

M = আণবিক গুরুত্ব D = ঘনত্ব।

6·2·7 অনুশীলনী—1

1. দেওয়া আছে ঃ C-এর আণব প্রতিসরণ 2·591

4 - এর আণব প্রতিসরণ 1·028

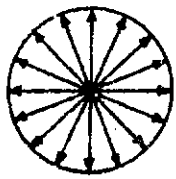
দ্বিবন্ধের প্রতিসরণ অণুদান 1·575 ষড়ভুজের প্রতিসরণ অণুদান -0·15

বেঞ্জিনের আণব প্রতিসরণের পরীক্ষালব্ধ মান = 25·95 দেখান যে বেঞ্জিনের গঠন ঠিক।

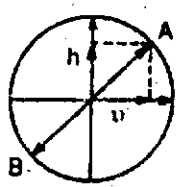
6·3 আলোক-সক্রিয়তা (Optical achtivity)

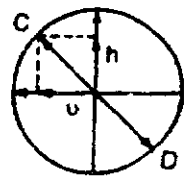
6·3·1 সমতল সমবর্তিত আলোক (Plane Polarised Light)

কাগজের তলের সঙ্গে উল্লম্বভাবে একগুচ্ছ (beam) আলোকরশ্মি কাগজের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। এই রশ্মিগুচ্ছে সম্ভাব্য সমস্ত উপাদান তরঙ্গ (wave component) আছে—আর এগুলি রশ্মিগুচ্ছের চলনের অক্ষ (axis of propagation) গামী সম্ভাব্য সমস্ত তলেই স্পন্দিত হয়। চিত্র 6·2-এ ব্যাপারটা বোঝানো হয়েছেই। চিত্রে বৃত্তটি উল্লম্ব রশ্মিগুচ্ছের স্পর্শতল নির্দেশ করে। কেন্দ্রটি চলন-অক্ষ নির্দেশ করে। দ্বিমুখী তিরগুলি সম্ভাব্য সকল তরঙ্গ-কম্পন (wave vibration) সূচিত করে। চিত্র (6·3)-এ যেমনটি দেখানো হয়েছে, তেমনি পরস্পর লম্ব অভিমুখে কম্পমান দুটি উপাদান তরঙ্গের লব্ধি 6·2 চিত্রে প্রদর্শিত কম্পনতল।



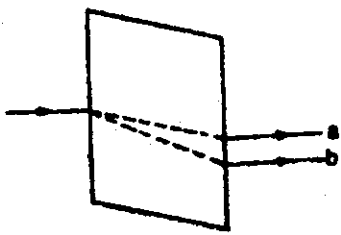
চিত্র 6·2



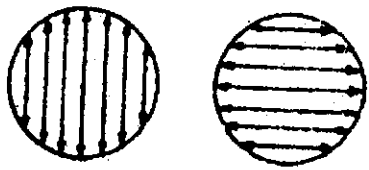


চিত্র 6·3

এখন যদি ঠিক অবস্থানে রক্ষিত আইসল্যাণ্ড স্পার (খনিজবিশেষ) বা ক্যালসাইন।) (ক্যালসিয়াম কার্বোনেট খনিজ) কেলাসের মধ্য দিয়ে আলোক পাঠানো হয় তবে রশ্মিগুচ্ছ দুটি গুচ্ছে ভেঙে যাবে। এই ঘটনাকে দ্বিত্ব প্রতিসরণ (double refraction) বলে (চিত্র 6·4) । 6·5 চিত্রের নির্গত রশ্মিগুচ্ছদ্বয় a ও b-র কেবলমাত্র একটি কম্পন-তল আছে। a-রশ্মিগুচ্ছের কম্পন তল b-গুচ্ছের কম্পন-তলের লম্ব। এক কথায় বলা যায়, কেলাসটি আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে অণুভূমিত ও উল্লম্ব উপাংশে বিশ্লিষ্ট করে। যে আলোকরশ্মিগুচ্ছ একটি মাত্র তলে কম্পিত হয় তাকে সমতল সমবর্তিত (plane polarised) বলে। আলোকের সমবর্তনের জন্য একটি বিশেষ যন্ত্র 1829 খ্রীষ্টাব্দে স্কটিশ পদার্থবিদ উইলিয়াম নিকল কর্তৃক উদ্ভাবিত হয়। যন্ত্রটির নাম 'নিকল প্রিজ্‌ম্'। নির্দিষ্ট কোণে কর্তিত দুটি আইস্‌ল্যাণ্ড স্পার কোনাস ক্যানাডা কলসাম দিয়ে জোড়া থাকে।



চিত্র 6·4



চিত্র 6·5

6·3·2· আলোক সক্রিয়তার প্রকৃতি

যখন কোনও পদার্থের মধ্য সমতল সমবর্তিত আলোক চলে, তখন এর গতির দিক পরিবর্তন ঘটে। সমবর্তিত আলোকের এই তলপরিবর্তনের ঘটানকে আলোক-সক্রিয়তা (optical activity) বলে; আর যে সমস্ত পদার্থ এভাবে সমবর্তিত আলোকের তল পরিবর্তনে সক্ষম, তাদের বলা হয় 'আলোক-সক্রিয় পদার্থ।

দুধরণের আলোর-সক্রিয় পদার্থ আছে। (i) প্রথম ধরণের ক্ষেত্রে এই ধর্ম মাত্র কঠিন অবস্থাতেই দৃষ্ট হয়, এবং এই ধর্ম নিহিত থাকে কেলাসের তলগুলির গতির উপর। কাজেই বস্তুটির জলে তরল হলে বা দ্রাবকে দ্রবীভূত হলে এই ধর্ম বিনষ্ট হয়। কোয়ার্টজ্, সোডিয়াম ক্লোরেট ইত্যাদি এই দলে পড়ে। (ii) দ্বিতীয় আর এক ধরণের পদার্থ আছে যারা কঠিন, তরল, গ্যাসীয় বা দ্রবীভূত অবস্থায় এই ধর্ম অক্ষুণ্ণ থাকে। এক্ষেত্রে এই ধর্ম নির্ভর করে অণুতে পরমাণুসমূহের বিন্যাসের উপর। গলন, দ্রবীভান বা বাষ্পীভবনে আণবিক গঠনের পরিবর্তন হয় না বলে এক্ষেত্রে ধর্মটি সব অবস্থায়ই অক্ষুণ্ণ থাকে। বহু জৈব ও অজৈব যৌগ এই শ্রেণীতে পড়ে।

6·3·3 দক্ষিণ ও বাম-আবর্তী আলোক-সক্রিয় পদার্থ সমূহ (Dextro and Laevo Rotatory substanus)

সমবর্তিত আলোকের আবর্তন ডান অথবা বাম দিকে ঘটতে পারে। যে সমস্ত আলোক সক্রিয় পদার্থ সমবর্তিত আলোকেও তল ডান দিকে আবর্তিত করে তাদের বলা হয় দক্ষিণ (ডান)-আবর্তী [d, dextro rotatony]

অণুরূপে যে সমস্ত আলোক-সক্রিয় পদার্থ সমবর্তিত আলোকের তল বাম দিকে আবর্তিত করে তাদের বলা হয় বাম-আবর্তী [1, laevorotation]

6·3·4. আবর্তন কোণ পরিমাপন (measunement of angle obrolation)

যে যন্ত্রের সাহায্যে আবর্তন-কোন মাপা হয় তাহল পোলারিমিটার (Polarimeter), চিত্র 6·6)।

পোলারিমিটারের প্রধান অংশ সমাক্ষভাবে (co-axially) সংস্থাপিত দুটি নিকল প্রিজ্ম্। প্রথমটিকে বলা হয় সমবর্তক (polariser), B; এর মধ্য দিয়ে একবর্ণ আলোক রশ্মি পাঠানো হয়; এটি নির্দিষ্ট অবস্থানে থাকে। দ্বিতীয় নিকল প্রিজমটিকে বলা হয় বিশ্লেষক (analyzer, D)। এটি একটি ঘূর্ণ্যমান চাকতির উপর চড়ানো। B প্রিজ্ম্ থেকে নির্গত সমবর্তিত আলোক দ্বিতীয়টিকে তে এসে পড়ে। দ্বিতীয়টি প্রথমটির 90° অবস্থানে থাকলে, বিপরীত দিকের দূরবীক্ষণ (T) দিয়ে দেখলে দৃশ্যপক্ষ সম্পূর্ণ অন্ধকার থাকবে। যন্ত্রটি প্রথমে এমনভাবে রক্ষিত থাকে যে নিরীক্ষণ চক্র (eyetrece) দিয়ে দেখলে সম্পূর্ণ দৃশ্যপট (freld of view) সমান উজ্জ্বল দেখা যাবে। পোলারিমিটারের এই অবস্থানকে 'শূন্য অবস্থান' (Zero position) বলা হয়। সংযুক্ত কোণে অংশাঙ্কিত গোলাকার চাকতি দ্বারা অবস্থানের পাঠ নেওয়া হয়।

যে তরল বা দ্রবণের আলোক-সক্রিতার পরিমাপ করতে হবে তা নির্দিষ্ট দৈর্ঘের (10 বা 20 সেমি.) নলে (S) নিয়ে সমবর্তক ও বিশ্লেষকের মধ্য স্থলে সমাক্ষ ভাবে বসানো হয়। তরলটি সমবর্তিত রশ্মিকে ঘুরিয়ে দেতে এবং দৃশ্যপট অসমভাবে আলোকিত হবে। এবার বিশ্লেষক টিকে ঘোরাতে হবে যতক্ষণ না দৃশ্যপট আগের মত সমালোকিত হয়। নতুন অবস্থানের পাঠ স্কেল থেকে পাওয়া যাবে। দুটি পাঠের ... যে গৃহীত তরল বা দ্রবণ কর্তৃক সমবর্তিত আলোকের আবর্তন নির্দেশ করে। এভাবে আমরা কোন বস্তুর আলোক-সক্রিয়তার গুণগত ও মাত্রাগত ধারণা পেতে পারি।

6·3·5 আলোক-সক্রিয়তার পরিমাণ নিয়ন্ত্রক উপাদান সমূহ (Factiors influencing the ... of optical rolalion).

আবর্তন কোণ নিচের উপাদানগুলির উপর নির্ভর করে ঃ

(i) পদার্থের প্রকৃতি।

(ii) আলোক যে বেধ অতিক্রম করে,

(iii) ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ

(iv) দ্রবণের গাড়/ঘনত্ব

(v) পরীক্ষাকালীন তাপমাত্রা

(vi) দ্রাবকের প্রকৃতি।

6·3·6 আপেক্ষিক ও আণব আবর্তন (Specific and molarmotation)

আপেক্ষিক আবর্তন

আবর্তন α, তাপমাত্রা $t^{\circ}c$, ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ λ, d ঘনত্ব এবং 'l' আলোকের অতিক্রান্ত দূরত্ব হলে, $t^{\circ}c$ ঐ λ তরঙ্গদৈর্ঘের জন্য আপেক্ষিক আবর্তন $= [\alpha]_{\lambda}^{t} = \frac{\alpha}{l \cdot d}$

d = 1 গ্রা. প্রতি সি.সি. এবং l = 1 ডেসিমিটার হলে,

$[\alpha]_{\lambda}^{t} = \alpha$

কাজেই, সমতল সমবর্তিত আলোক এক গ্রা. প্রতি সি.মি ঘনত্ব বিশিষ্ট আলোক সক্রিয় পদার্থের মধ্য দিয়ে এক ডেসিমিটার দৈর্ঘ অতিক্রম করলে যে আবর্তন কোন সৃষ্টি হয় তাকে ঐ পদার্থের ঐ আলোকের সাপেক্ষে ঐ তাপমাত্রায় আপেক্ষিক আবর্তন বলে।

সাধারণতঃ আমরা আলোকের উৎসরূপে সোডিয়াম বাষ্প বাতি ব্যবহার করি; তাই λ-র পরিবর্তে D (সোডিয়ামের D-লাইন) ব্যবহার করি, অর্থাৎ

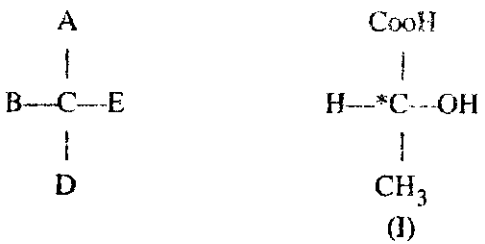
$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{l \cdot d}$.

দ্রবণের ক্ষেত্রে 100 মিলি দ্রবণে C গ্রা. দ্রাব্য থাকলে $[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{l \cdot C}$. C, প্রতি মিলিলিটার পদার্থের পরিমাণ ও l ডেসিমিটার হলে $[\alpha]_\lambda^t = \frac{\alpha}{l \cdot C}$. আবার, C = 1 গ্রা., l = 1 ডেসিমি. হলে, $[\alpha]_D^t = \alpha$।

অনুরূপে আণব আবর্তন $[\alpha_{M-}]^t_\lambda = \frac{M}{100}[\alpha]^t_\lambda$

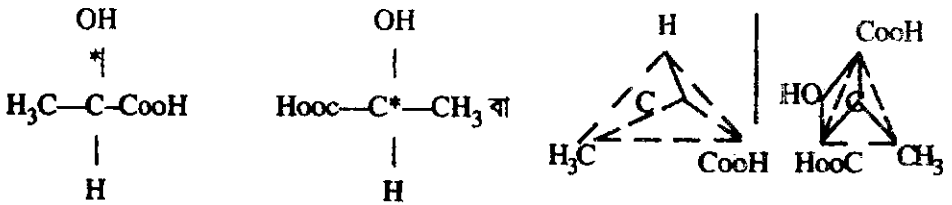
6·3·7 রাসায়নিক গঠন ও আলোক-সক্রিয়তা (chemical constitution and optical activity)

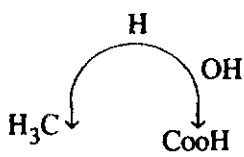
পরীক্ষায় প্রমাণিত যে আলোক-সক্রিয়তা একটি গঠনগত ধর্ম অর্থাৎ এটি নির্ভর করবে অণুর মধ্যে পরমাণুগুলির বিন্যাসের উপর। ফন্ট্ হফ্ (Van't Hoff) এবং লা বোল (Le Bel) [তখন ফন্ট্ হফের বাস মাত্র আঠারো বছর] স্বাধীনভাবে দেখল যে আলোক সক্রিয়তার সঙ্গে অপ্রতিসম কার্বন পরমাণুর সম্পর্ক আছে। আলোক সক্রিয় জৈব অণুর বেশির ভাগেই অন্ততঃপক্ষে একটি অপ্রতিসম কার্বন পরমাণু থাকে। সত্যি বলতে কী, কার্বণ পরমাণু অপ্রতিসম হতে পারে না। যে কার্বন পরমাণুর চারটি যোজ্যতা বন্ধে চারটি বিভিন্ন মূলক বা অ্যাটম থাকে অর্থাৎ কার্বন পরমারুর বিন্যাসই অপ্রতিসম। অপ্রতিসম নাইট্রোজেন ও সিকিকন পরমাণু থাকলেও যৌগ আলোক-সক্রিয় হয়। অপ্রতিসম কার্বণ পরমাণুযুক্ত আলোক সক্রিয় যৌগের সহজতম উদাহরণ যেমন কিনা ল্যাকটিক্ অ্যাসিড (Z)



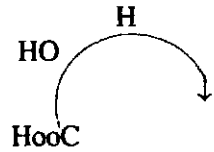
(I)

লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে এই যৌগের দুটি দর্পণ প্রতিবিম্ব পরস্পরের উপর সম্পূর্ণ স্থাপনীয় (Superimposable) নয় (II)



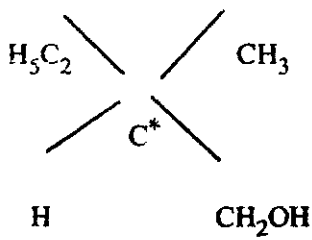


(II)

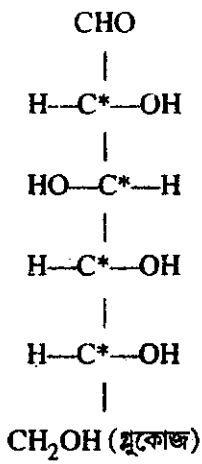


এই দুটি রূপ সমবির্তত আলোককে দুই দিকে আবর্তিত করে। ঠিক কী শৈলী (mechanism)-তে আলোকের আবর্তন ঘটে তা এখনও পরিষ্কার নয়। যাহোক এই যে আবর্তন ঘটে— সেটেত্রে যে সমাবয়ব ডান দিকে আবর্তন ভটায় তাকে বলে ডেক্সট্রো (d–) আর যেটি বাম দিকে ঘোরায় তাহল laevo (l–)।

আলোক-সক্রিয় আরও কয়েকটি যৌগ ঃ



2 মিথাইল বিউটাণল

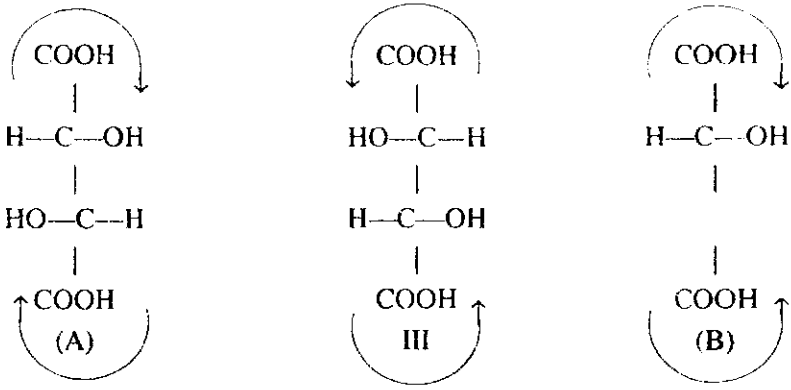


যদি একটি যৌগে n-সংখ্যক অপ্রতিসম কার্বণ পরমাণু থাকে, তবে তার ক্ষেত্রে 2^n টি সমাবয়ব সম্ভব যেমন গ্লুকোজের কি (2^4) টি সমাবয়ব সম্ভব। সেক্ষেত্রে দেখা যাবে যে আট জোড়া দর্পণ প্রতিবিম্ব থাকবে। আলোক-সক্রিয় সমাবয়ব যদি একে অপরের দর্পণ প্রতিবিম্ব না হয় তবে পদের বলে পরস্পরের তিরস্ত্রিমাত্রিক সমাবয়ব (diastencoisome)।

তিরস্ত্রিমাত্রিক সমাবয়ব—**diastercoisomer**

যৌগে অপ্রতিসম কার্বণ পরমাণুর উপস্থিতি আলোক সক্রিয়তার প্রয়োজনীয় বা যথেষ্ট শর্ত নয়। অপ্রতিসম কার্বণ পরমাণু না থাকলেও যৌগের গঠন যদি বিপ্রতিসম (disymmetinc) হয়, তবুও যৌগ আলোক সক্রিয় (III)। আবার অপ্রতিসম কার্বণ পরমাণু থাকলেও যৌগ আলোক-নিষ্ক্রিয় হতে পারে। C_{ABD}—C_{ABD} ধরণের যৌগে (যেমন টারটারিক অ্যাসিড) এ ব্যাপার দেখা যায়। এতে দুটি অপ্রতিসম কার্বন পরমাণু আছে। এর

দুটি পরস্পরের দর্পণ-প্রতিবিম্ব অর্থাৎ দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী সমাময় (III A); তৃতীয়টিতে একটি প্রতিসমতার তল (Plane of symmetry) থাকে, এবং এক অর্ধ অপরার্ধের আবর্তনকে প্রশমিত করে বলে এই সমাবয়বটি আলোক-নিষ্ক্রিয় (I B)

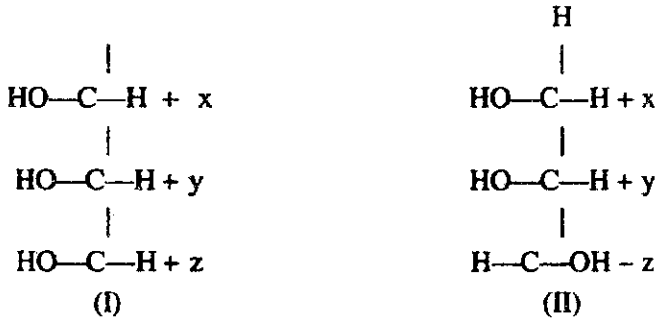


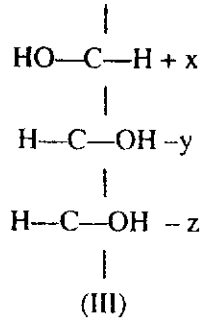
এ ক্ষেত্রে B (A) র তিরস্ত্রিমাত্রিক সমাবয়ব। III (B) কে মেসোটাটারিক অ্যাসিড বলা হয়।

যদি একই যৌগের ডান ও বাম-আবর্তী সমাবয়বের সম-আণব মিশ্রর থাকে তবে মিশ্রণ আলোক-নিষ্ক্রিয় হবে, কারণ একটি আলোককে যতটা ডান/বাম দিকে ঘোরাবে, অপরটি ঠিক ততটাই বাম/ডান দিকে ঘোরাবে। d – l – সমাবয়বগুলির আপেক্ষিক ও আণব আবর্তন সমান হয়, শুধু দিক বিপরীত। এরকম মিশ্রণকে প্রশমাবর্তী (racemic, dl) বলে এরকম মিশ্রণ থেকে d – ও l– সমাবয়বগুলিকে পৃথক করার ব্যবস্থা জানা আছে। এসব পদ্ধতির সমষ্টিগত নাম বিভাজন (solution)। বিপরীত পদ্ধতির নাম প্রশমাবর্তীকরণ (racemisation)।

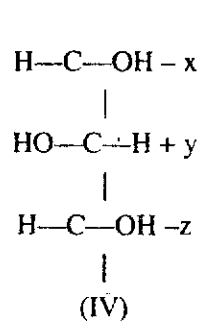
6·3·8 আলোক-সক্রিয় উপর্যুপাতের নীতি (Principle of optical superposition)

ফন্ট্ হয় প্রথম এই নীতি ব্যাখ্যা করেন। এটি দুয়ের বেশি অপ্রতিসম কার্বন পরমাণুযুক্ত যৌগের সমাবয়বগুলির ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। নীতিটি হল ঃ একাক্ষি অপ্রতিসম কার্বন পরমাণুযুক্ত পদার্থের আলোক আবর্তন প্রতিটি (অপ্রতিসম) কার্বন পরমাণুর অবদানের যোগফল—এই অবদান নির্দিষ্ট ও অন্যান্য পরমাণুসমূহের বিন্যাস (Confrguration) নিরপেক্ষ। নিচে একটা উদাহরণ দেওয়া হল ঃ





(III)



(IV)

(x, y, z–যথাক্রমে সংশ্লিষ্ট C–পরমাণুর অবদান) এই নীতি অণুসারে II এর আপেক্ষিক আবর্তন আদর তিনটির আপেক্ষিক আবর্তনের সমষ্টি।

$\therefore +x+y-z = (+x+y+z) + (+x-y-z) - (-x+y-z)$

আলোক-সক্রিয় ব্যবহার করে গঠন নিশ্চিত করা যায়। কিন্তু এ দিয়ে গঠন নস্যাৎ করা যায় না

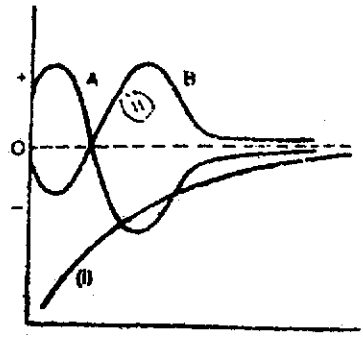
6·3·9 আলোক-সক্রিয় বিচ্ছুরণ (optical Rotelory dispersion)

1817 সালে বায়ট (Biot) দেখান যে ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটালে আলোক-আবর্তনের মান পরিবর্তত হয়। আলোকের কম্পঙ্কের সঙ্গে আলোক-সক্রিয়তার পরিবর্তনকে আলোক-সক্রি বিচ্ছুরণ বলে। কোনও অণুকর্তৃক বিভিন্ন কম্পাঙ্কের আলোকের ক্ষেত্রে অণুর সমার্তনের পার্থক্যের দরুণ এরকমটা ঘটে। পি. ড্রুড (P. Drude) নিচের সমীকরণটি প্রতিষ্ঠিত করেন—এর সাহায্যে বেশ কিছু আলোক-সক্রিয় পদার্থের আলোক-সক্রিতার তরঙ্কদৈর্ঘ-নির্ভরতার পরিমাণ করা যায়ঃ

$$a = \alpha = \frac{K}{\lambda^2 - \lambda_o^2}$$

এখানে lo ও K সংশ্লিষ্ট পদার্থের উপর নির্ভরশীল।

[α], তরঙ্গদৈর্ঘের সাপেক্ষে উপস্থাপিত করলে নিচের লেখাচিত্র পাওয়া যায়। দুধরণের লেখাচিত্র পাওয়া যায়—চিত্রে উভয়ই প্রদর্শিত হল।



(i) প্রথম ধরণের লেখচিত্রে তরঙ্গ দৈর্ঘের হ্রাসের সঙ্গে আবর্তনের (+ বা –) সম্ভত বৃদ্ধি ঘটে।

(ii) আরেক ধরণের লেখচিত্র দেখা যায়—যেখানে চূড়া (cresl) দ্রোণী (trungh) দেখা যায় লেখা A তে উচ্চতর তরঙ্গদৈর্ঘে চূড়ার অবস্থিতি দেখা যায়। একে বলে ধনাত্মক কটন্ প্রভাব (positive Cotton eftul)। লেখ B-তে অণুরূপ অঞ্চলে দ্রোণীর আবস্থান দেখা যায়; একে বলে ঋণাত্মক কটন প্রভাব সংশ্লিষ্ট যৌগের শোষণ-পটী (absorption band) দুর্বল হলে আলোক-সক্রিয় বিচ্ছুরণের পরীক্ষা অতিরেঞ্জনী (vv) অঞ্চলে করা হয়ে থাকে। জটীল ধরণের আলোক সক্রিয় যৌগের গঠন নিরূপণে এই কৌশল ব্যবহার হয়।

অনুশীলনী—২

1. $C_5H_{12}O_6$ যৌগের সমাবয়ব গুলির গঠন আঁকুন। এদের মধ্যে কোনটি (গুটি) আলোক সক্রিয়?

2. সমবর্তত ও অসমবর্তিত আলোক বলতে কী বোঝেন।

3. তিরস্ক্রিমাত্রিক সমাবয়ব বলতে কী বোঝেন? উদাহরণ দিন।

4. আলোক-সক্রিয় বিচ্ছুরণ কী?

5. "x" যৌগ Na-D আলোককে আবর্তিত করে না—এ থেকে এই সিদ্ধান্ত করা যায় কি যে N × আলোক নিষ্ক্রিয়? যুক্তি দিন।

6. নিকল প্রিজ্‌ম্ কী? এর ব্যবহার কোথায় দেখা যায়?

7. পোলরিমিটার যন্ত্রে কী মাপা যায়? যন্ত্রটির একটি পরিষ্কার রেখাচিত্র আঁকুন; এর অংশগুলি সেখান।

6·4 সারাংশ

তাহলে আসুন আমরা একবার স্মরণ করি, এই অধ্যায়ে আমরা কী শিখলাম।

● আগে জানা প্রতিসরণের স্নেল-এর নিয়মের প্রান্ত প্রতিসরাঙ্কের ধারণার উপর আমরা লোরেন্‌জ্ ও লোরেন্‌ৎজ্ সূত্র ও তা থেকে আপেক্ষিক ও আণব প্রতিসরণের সংজ্ঞা পেলাম ঃ $R_S = \frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{d}$ এবং $R_M = Rs \times M$

● আণব প্রতিসরণ অংশত যুত ধর্ম ও অংশত গঠনমূলগ ধর্ম। পরীক্ষালব্ধ Rm এর মান থেকে সহজ পাটিগণিত ব্যবহার করে বিভিন্ন যৌগ/মূলকের আণব প্রতিসরণ, বিভিন্ন পরমাণুর পারমাণব প্রতিসরণ গণনা করা যায়। বিভিন্ন গঠন-একক যেমন দ্বিবন্ধ, ত্রিবন্ধ বলয় ইত্যাদির অণুদান নির্ণয় করা যায়।

● আণব প্রতিসরণ প্রয়োগ করে পদার্থের গঠন সম্বন্ধে ধারণা পাওয়া যায়।

● মিশ্রণের ক্ষেত্রে ঃ $[R]_{1,2}=\frac{n_m^2-1}{nm^2+2}\cdot\frac{mM_1+n_2M_2}{d_1}$

আবার $[R]_{1,2}=x_1[R]+n_2[R_2]$

● পুলফ্রিশ্ ও অ্যাবে প্রতিসরমাপক দিয়ে তরলের দ্রবণের প্রতিসরাঙ্ক পরিমাপ করা।

● প্রতিসরাঙ্ক আপতিত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘের উপর নির্ভর করে। দুটি তরঙ্গদৈর্ঘের সাপেক্ষে অপেক্ষিক প্রতিসরণের পার্থক্যকে আপেক্ষিক বিচ্ছুরণাঙ্ক বলে।

● সাধারণ আলোক রশ্মিগুচ্ছ আইসল্যান্ড স্পার কেলাসের মধ্য দিয়ে প্রেরিত হলে সমবর্তিত হয়। সমবর্তনের অর্থ কম্পন একটি বিশেষ তলে সীমাবদ্ধ থাকবে। নিকল প্রিজ্‌ম্ এই সমবর্তনের জন্য আদর্শ যন্ত্র বিশেষ।

● যে সমস্ত পদার্থ সমবর্তিত আলোকের তল আবর্তিত করে তাদের আলোক-সক্রিয় বলে। এরূপ পদার্থ দুরকম—(i) কঠিন অবস্থায় এই ধর্ম দেখায় অর্থাৎ কেলাস তলগুলির নতির দিকের উপর সক্রিয়তা নির্ভর করে;

(ii) বিচূর্ণ বা দ্রবীভূত অবস্থায়ও এই ধর্ম অক্ষুণ্ণ থাকে অর্থাৎ অণুর গঠণের জন্য এই ধর্ম দেখা যায়।

● যে সমস্ত ডান দিকে আলোক ঘোয়ায় তাদের বলে দক্ষিণ আবর্তী আর যারা বাম দিকে ঘোরায় তাদের বলে বাম আবর্তী।

দুরকম সমাবয়য়ের সম-আণব মিশ্রণ আবর্তণ ঘটায় না, এরকম মিশ্রণকে প্রশবার্তী মিশ্রণ বলে।

● পোলারিমিটার দিয়ে আবর্তণ মাপা হয়।

● আপেক্ষিক আবর্তন $[a]^1_D=\frac{\alpha}{l\cdot d}$, $[\alpha]^t_D=\frac{\alpha}{l\cdot C}$

$$[\alpha]^t_b=\frac{M}{100}[\alpha]^t_1$$

● জৈবক অণুর আলোক সক্রিয়তা নির্ভর করে অপ্রতিসম কঠিন পরমাণুর উপস্থিতির উপর। অবশ্য এটা প্রয়োজটি বা আবশ্যক শর্ত নয়। বিপ্রতিসম অণু আলোক সক্রিয় হয়। আবার অপ্রতিসম কার্বণ পরমাণু থাকলেও যদি যৌগের মধ্যে এক প্রতিসমতা থাকে তবে তা আলোক-সক্রিয় হবে না, যেমন মেসোটার্টারিক অ্যাসিড।

● আলোক-সক্রিয় উপর্যুপাত নীতি অণুসারে মূল যৌগের আলোক-সক্রিয়তা অপ্রতিসম কার্বণ পরমাণুর অবদানের যোগফল।

● তরঙ্গদৈর্ঘের পরিবর্তনের ফলে আলোক-আবর্তনের পরিবর্তন ঘটে। একে আলোক-সক্রিয় বিচ্ছুরণ করেন।

6·5 প্রস্তিক প্রশ্নাবলি

1. দেওয়া আছে ঃ

পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক	ঘনত্ব
(i) প্রোপানোন	1·3620	0·793
(ii) ইথানোয়িক অ্যাসিড	1·3715	1·046

সারণিভুক্ত যৌগদুটির আণব প্রতিসরণ বের করেন; যুত ধর্মের নিয়ম ব্যবহার করে প্রাপ্ত মানের সঙ্গে এই মানের তুলনা করেন।

2. ঈক্ষণিক উল্লসন কী? উদাহরণ সহ আলোচনা করেন।

3. কিটো ইনল চলমান সমাবয়তার ক্ষেত্রে আণব প্রতিসরণের নিয়ম ও ধারণার প্রয়োগ দেখাল। অ্যাসিটো অ্যাসিটিক এ স্টারে এরূপ সমাবয়বদ্ধায় সাম্য-মিশ্রণে ইনলের শতকরা মাত্রা কীভাবে নির্ণয় করা যায়?

4. CCl_4-এর $n_D^{293} = 1·453$, ঘনত্ব (293K-তে) 1·595 কিগ্রা. ডেসিমি. ও নলে আণব প্রতিসরর নির্ণয় করেন। C-এর পারমাণব প্রতিসরণ 2·42 হলে Cl-এর পারমাণব প্রতিসরণ কত হবে?

5. (A) জৈব যৌগের 6·15 গ্রা. 100 মিলি কোহলে দ্রবীভূত করে, এর অংশবিশেষ এক 5 সেমি. দৈর্ঘের পোলারিমিটার নলে নেওয়া হল 5 আবর্তন দেখা গেল –1·2°, (A)-র আপেক্ষিক আবর্তন কত? দ্রবণটিকে দ্বিগুণ লঘু করে 56 সেমি নলে নিয়ে পর্যবেক্ষণ করলে আবর্তন মান কত হবে?

6. 34·2 গ্রা. লি মাত্রার একটি ইক্ষু শর্করায় দ্রবণ 20 সেমি পোলারি মিটার নলে নিয়ে পরীক্ষা করে দেখা গেল আবর্তন 4° । ইক্ষু শর্করার আপেক্ষিক আবর্তন 66° হলে দ্রবণের ইক্ষু শর্করার বিশুদ্ধতা নির্ণয় করুন।

7. আলোক-সক্রিয়তা, আলোক-সক্রিয় পদার্থ, দক্ষিণ- ও বাম আবর্তী পদার্থ—এদের উপর টীকা লিখুন।

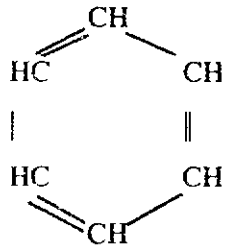
8. আলোক-সক্রিয় উপর্যুপাতের নীতিটি লিখুন এর প্রয়োগ উদাহরণ দিয়ে বোঝান।

9. আলোক-সক্রিয় বিচ্ছুরণ'-এর উপর আলোচনা করুন।

6·6 উত্তরমালা

অনুশীলনী—1

1. বেঞ্জিনের কেকুলের প্রস্তাবিত গঠন



কাজেই,

6 C পরমাণুর আণব প্রতিসরণ = 6 × 2·591 = 15·546

6 H পরমাণুর আণব প্রতিসরণ = 6 × 1·028 = 6·168

3 দ্বিবন্ধের প্রতিসরণ অণুদান = 3 × 1·575 = 4·725

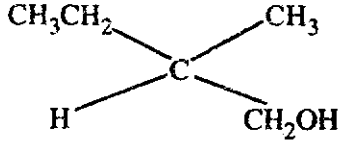
ষড়ভুজের প্রতিসরণ অণুদান = −0·150

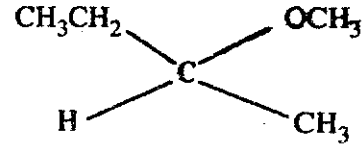
মোট = 25·289

∴ গণনালব্ধ মান পরীক্ষালব্ধ মানের প্রায় সমান। তাই বলা, যায় যে কেকুলের গঠন ঠিক।

অনুশীলনী—2

1. নিজে চেষ্টা করুন।





—এরা আলোক সক্রিয়

2. 6·3·1 অংশ দেখুন।

3. 6·3·7 অংশ দেখুন।

4. 6·3·9 অংশ দেখুন।

5. না; অন্য একবর্ণের আলোকের সাপেক্ষে সক্রিয় হতে পারে।

6. 6·3·4 অংশ দেখুন।

7. 6·3·4 অংশ দেখুন

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. পাঠ্যাংশ ও সেখানে/অণুশীলনীতে করে দেওয়া সম্পদ্য দেখে নিজে করুন উত্তর হবে যথাক্রমে ঃ (i) 16·15, 16·07, (ii) 13·30, 12·97.

2. 6·2·3 অংশ দেখুন

3. পাঠ্যাংশ দেখে উত্তর বের করুণ।

$$R_M = \frac{n^2-1}{n^2+2}\cdot\frac{M}{D}$$

$$M = [12 + 4 \times 35{\cdot}5] = 153{\cdot}6$$

∴ গ্রাম আণবিক ওজন 153·6, ∴ কিগ্রা আণবিক ওজন $= 0{\cdot}1536$

$$R_M = \frac{(1{\cdot}453)^2-1}{(1{\cdot}453)^2+2}\cdot\frac{0{\cdot}1536}{1{\cdot}595} = 26{\cdot}24 \text{ সে}^3 \text{ মি.}^3$$

দ্বিতীয় অংশ $R_4 = \dfrac{26{\cdot}24 - 2{\cdot}42}{4} = 5{\cdot}955$

5. $[\alpha] = \dfrac{1{\cdot}2}{\frac{1}{2}\times{\cdot}0615} = -39°$

দ্বিতীয় অংশ নিজে করুন ঃ উত্তর হবে $-6°$.

6. নিজে করুনণ, উত্তর হবে 46·8%

7. 63·4 অংশ দেখুন

8. 6·38 অংশ দেখুন

9. 6·3·9 অংশ দেখুন।

6·7 গ্রন্থপঞ্জি

1. Textbook of physical chemisty : by. S. Glasstane : Macmillan
2. Physical chemistry : by P.C. Rakshil : Sarat Book. Distrrbuton
3. ভৌত রসায়ন : by নিত্যানন্দ কুণ্ডু : রাজ্য পুস্তক পর্ষৎ

একক 7 ❑ দ্বিমেরু ভ্রামক

7. গঠন

7.1. প্রস্তাবনা উদ্দেশ্য

7.2 দ্বিমেরু ভ্রামক

7.3 আবিষ্ট বা বিকৃতি মেরুভবন

7.4 দিক্‌স্থিতি মেরুকরণ

7.5 সম্পূর্ণ আণব মেরুকরণ

7.6 মেরুভবন প্রবণতা

7.7 মোসোট্টি-ক্লসিয়াস সমীকরণ

7.8 ডিবাই সমীকরণ

7.8.1 মোট মেরুকরণ ও তাপমাত্রা

7.8.2 ডিবাই সমীকরণের প্রত্যয়

7.9 দ্বিমেরু ভ্রামকের পরিমাপন

7.9.1 একটি পদ্ধতি

7.9.2 তাপমাত্রা পদ্ধতি

7.9.3 প্রতিসরণ পদ্ধতি

7.9.4 লঘু দ্রবণ পদ্ধতি

7.9.5 আণবিক রশ্মি পদ্ধতি

7.10 মেরুকরণ ও আণব ব্যাসার্ধ

7.11 দ্বিমেরু ক্রমিক ও অণুর গঠন

7.11.1 সমযোজী বন্ধের শতকার আয়নীয় মাত্রা নির্ণয়

7.11.2 বন্ধভ্রামক ও দ্বিমেরু ভ্রামক

7.11.3 সংস্পন্দন ও দ্বিমেরু ভ্রামক

7.11.4 অণুর গঠন ও দ্বিমেরু ভ্রামক

7.12 সারাংশ

7.13 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

7.14 উত্তরমালা

7.15 অতিরিক্ত সহায়ক পুস্তকসমূহ।

7.1 প্রস্তাবনা ঃ

স্থিরতাড়িতিক (Electrastatic) ক্ষেত্রে স্থাপন করে কোন অণুর গঠন সম্বন্ধে যথেষ্ট ধারণা পাওয়া সম্ভব। তড়িৎক্ষেত্রে কোনও অণুকে স্থাপন করলে, তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে অণুর ইলেক্ট্রনীয় গঠনের পরিবর্তন ঘটে; এবং কেন্দ্রকের সাম্যাবস্থান পরিবর্তিত হয়, এবং তার ফলে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের কেন্দ্র পৃথকীভূত হয়। ঘটনাটিকে ব্যাখ্যা কর। যার এভাবে ঃ তড়িৎকেন্দ্র অণুতে দ্বিমেরু ভ্রামক (dipolemoment) আবিষ্ট হয়। এই আবিষ্ট দ্বিমেরু ভ্রামক (induced dipolemoment), μ_{ind} প্রযুক্ত তড়িৎক্ষেত্রের (E) সমানুপাতিক ঃ

$$\mu_{ind} \propto E$$

বা, $\mu_{ind} = \alpha.E$

α (একটি ধ্রুবক)-কে অণুর মেরুপ্রবণতা (polarisability) বলা হয়। এই ধ্রুবকটি দিয়ে কোনও অণুর কত সহজে মেরুকরণ হতে পারে তার পরিমাপ সম্ভব। E যদি একক তড়িৎক্ষেত্রের শক্তি হয় তবে α হবে আবিষ্ট দ্বিমেরু ভ্রামক।

উদ্দেশ্য ঃ এই এককটি পড়ে আপনারা জানতে পারবেন—

- দ্বিমেরু ভ্রামক কী, তার গুরুত্ব ও ব্যবহার প্রজোয্যই বা কী।
- মেরুকরণের শ্রেণীবিভাগ।
- এই বিষয়ক মোসেটি-ক্লসিয়াস সমীকরণ ও ডিবাই সমীকরণ।
- মেরুকরণের উপর তাপমাত্রা ও অন্য নিয়ন্ত্রকের প্রভাব।
- দ্বিমেরু ভ্রামকের পরিমাপ পদ্ধতি।
- বন্ধ-ভ্রামক ও দ্বিমেরু ভ্রামকের সম্পর্ক।

7.2 দ্বি-মেরু ভ্রামক (Dipole moment)

সমযোজী বন্ধে বদ্ধ পরমাণুদ্বয়ের অপরাতড়িৎধর্মিতার পার্থক্যের জন্য কোনও একটি মৌল ইলেকট্রন জোটকে নিজের দিকে বেশি টানে, ফলে তাদের মধ্য অল্প পরিমাণ আধান-বন্টন ঘটে। এই ধরনের বন্ধকে ধ্রুবীয় (মেরুভূত, Polar) বন্ধ বলে। যেমন ধরা যাক হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড, HF, এখানে F-এর অপরার্তাড়িৎধর্মিতা খুব বেশি বলে, এটি ইলেকট্রন জোট নিজের দিকে টেনে নেবে ফলে F হবে কিছুটা ঋণাত্মক আধানযুক্ত এবং H হবে সমপরিমান ধণাত্মক আধানযুক্ত। এভাব যৌগটিকে একটা স্থায়ী দ্বিমেরু (Permanent dipole) সৃষ্ট হবে; এটি দেখানো হয় নিচের পদ্ধতিতে;

$$\overset{\delta+}{H}\text{———}\overset{\delta-}{F}$$

এরূপ স্থায়ী দ্বি-মেরু যুক্ত অণুর সম্বন্ধে বলা হয়ে যে, এদের ধ্রুবীয়তা (polarity) আছে বা এদের মেরুকরণ/ মেরুভবন ঘটে। এই মেরুভবনের প্রবণা মাপা যায় দ্বি-মেরু (দ্বি-ধ্রুবীয়) ভ্রামক (dipole moment) দিয়ে এটি সংজ্ঞাত হয় ধনাত্মক/ ঋণাত্মক আধানের পরিমাণ ও মেরুদ্বয়ের দূরত্ব (বন্ধ-দৈর্ঘ্য-র গুণফল দ্বারা. যদি প্রতিটি মেরুতে আধানের পরিমাণ q এবং তাদের অন্তবর্তী দূরত্ব d হয় তবে, দ্বিমেরু ভ্রামক হয় ঃ $\mu = q.d$ দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি, অর্থাৎ এর মান ও দিক আছে. এই দিক সাধারণতঃ ধনাত্মক থেকে ঋণাত্মক আধানের দিকে দেখানো হয়।

একক ঃ আধানের ক্রম 10^{-10} ই-এস্-ইউ, এবং দূরত্বে 10^{-8}, দ্বি-মেরু ভ্রামকের ক্রম হবে $10^{-10} \times 10$ বা 10^{-18}। এই 'পরিমাণ' (quantity)-কে কণা ডিবাই (Debye) একক বলা হয় এবং D প্রতীক দিয়ে চিহ্নিত করা হয়।

$l = (q \times 4.810^{-10}$ ই-এস্-ইউ) $\times (1 \times 10^{-8}$ সেমি.) $= 4.9ql \times 10^{-18}$ ই-এস্-ইউ

সেমি $= 4.8qlD$ [আধান $= qe.$ la]

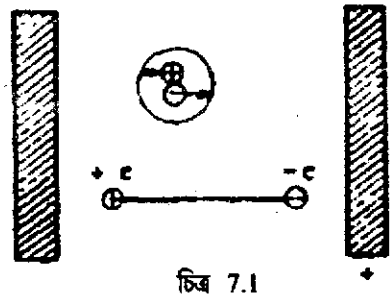
SI পদ্ধতিতে আধানের একক কুলম্ব (C) এবং দূরত্বের একক মিটার (m) হলে দ্বি-মেরু ভ্রামকের একক হবে কুলম্ব মিটার (Cm)। সেক্ষেত্রে $le = (q \times 1.62 \times 10^{-19}$ C) $(l \times 10^{-10}$m) $= ql \times 1.602 \times 10^{-29}$ Cm

$= 4.8qlD$

$\therefore$ 1 D $= 3.338 \times 10^{-30}$ CM

7.3 আবিষ্ট বা বিকৃতি মেরুকরণ (Induced or Distortron Polarisation)

প্রশম হলেও একটি অণু কিছু সংখ্যক ধনাত্মক আধানযুক্ত কেন্দ্রক ও ঋণাত্মক আধান সম্পন্ন ইলেক্ট্রনের সমবায়ে গঠিত। এমন একটি অণুকে যদি একটি তড়িৎক্ষেত্রের দুটি আহিত পাতের মাঝখানে স্থাপন করা যায়। তবে ধনাত্মক আধান যুক্ত কেন্দ্রকসমূহ ধনাত্মক পাত এবং ধনাত্মক আধান যুক্ত ইলেকট্রনসমূহ ধনাত্মক পাতের



চিত্র 7.1

দিকে আকর্ষিত হবে। ফলে অণুটিতে একটি পরিবর্তন আসবে—একপ্রান্তে থাকবে ধণাত্মক ও অপরপ্রান্তের থাকবে ধণাত্মক আধান (চিত্র 2)। তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে প্রশম অণুতে ধনাত্মক ও কণা আধান (তাড়িতিক দ্বিমেরু)

সৃষ্টি করার ঘটনাকে তাড়িতিক বিয়োজন (Electrical dissociation বা এটি ঘটে। তড়িৎক্ষেত্র সরিয়ে নিলে, ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান অংশ দুটি অন্তর্হিত হয় ও অণুটি পূর্বাবস্থা ফিরে পায়। এ ধরনের মেরুকরণকে অণুর স্থায়ী দ্বিমেরু ভ্রামক নেই, তাই এদের সজ্জা-মেরুকরণ হবে না; তাপমাত্রায় পরিবর্তনে এরা অপরিবর্তিত থাকবে। কিন্তু HCl, $C_6H_5NO_2$ বা CH_3Cl-এর মত অণু (যাদের স্থায়ী দ্বি-মেরু ভ্রামক আছে) তাদের ক্ষেত্রে একথা চলে না। তাই তাপমাত্রা পরিবর্তনের সঙ্গে এদের মোট আণব মেরুকরণ তাপমাত্রার পরিবর্তনের ফলে পরিবর্তিত হবে। এভাবে, ধ্রুবীয় ও অধ্রুবীয় অণুর মধ্যে পার্থক্য করা সম্ভব।

এই ধরনের বিকৃতি ক্ষণস্থায়ী, কেবলমাত্র তড়িৎক্ষেত্রে প্রভাবেই এটি ঘটে, তড়িৎক্ষেত্র সরিয়ে নিলে, ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান অংশ দুটি অন্তহিযত হয় অণুটি পুর্বাবস্থা ফিরে পায়। এই ধরনের মেরুকণাকে তাই আবিষ্ট (induced) মেরুকরণ বলে এবং গঠিত দ্বি-মেরুটিকে আবিষ্ট দ্বি-মেরু (induced dipole) বলে।

আবিষ্ট মেরুকরণ দুই রকমের হয়ঃ

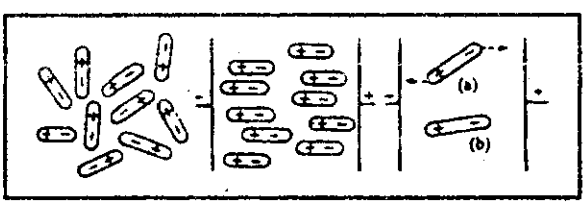
(i) তাড়িতিক মেরুকরণ (Electric Polarisation) : এতে ইলেকট্রনগুলি কেন্দ্রকের সাপেক্ষে ধারক (Capaciter)-এর ধনাত্মক পাতের দিকে দিলে আকর্ষিত হয়। একে Pe দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

(ii) পারমাণবিক মেরুকরণ (Atomic Polarisation) : এতে, কেন্দ্রগুলি পরস্পরের সাপেক্ষে বিকৃত হয়। এটি চিহ্নিত হয় Pa দ্বারা।

∴ আবিষ্ট মেরুকরণ = Pi = Pe + Pa।

7.4 দিক্‌স্থিতি মেরুকরণ ·(Orientation Polarisation)

প্রতিটি ধ্রুবীয় অণুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু থাকে। সাধারণতঃ তড়িৎ-ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে তাপীয় প্রভাবে (thermal effect) সকল দিক বরাবর সজ্জিত থাকে। (চিত্র 7.2)। কিন্তু তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রযুক্ত হলে পরিষ্কার দুটি ঘটনা ঘটতে দেখা যায়ঃ (i) প্রথমঃ, ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের স্বাভাবিক বিকৃতি ঘটে, ফলে আবিষ্ট মেরুকরণ ঘটে।



চিত্র 7.2 চিত্র 7.3 চিত্র 7.4

(ii) দ্বিতীয়তঃ, ধ্রুবীয় হওয়ার দরুণ সমস্ত অণুই তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা ক্ষেত্রের দিকে সজ্জিত হয়। (চিত্র 7.3)। অণুগুলি স্থির থাকলে, তড়িৎক্ষেত্র তাদের তার দিকের সঙ্গে 180° বা ধারকপাতের সঙ্গে 90° কোণ করে তাদের সজ্জিত করবে। (চিত্র 7.2)। কিন্তু অণুগুলি সবসময় একটা গতিময়তার মধ্যে রয়েছে—একে বলা হয় তাপীয় আলোড়ন

(Thermal agitation) এই তাপীয় আলোড় উপযুক্ত কারণে অণুর নতুনতর সজ্জা (Orientation)-কে বাধা দেবে—ফলে অণুগুলি তাদের মূল অবস্থান ও ক্ষেত্রের দিকের একটা মাঝামাঝি অবস্থানে থাকবে (চিত্র (7.4)। অণুর উপর তড়িৎ-ক্ষেত্রের এই প্রভাবকে বলাহয় সজ্জা-মেরুকরণ (Orientation polarisation), Po.

7.5 মোট আণব মেরুকরণ (Total Molar Polarisation)

মোট আণব মেরুকরণ P_M হবে, $P_M = P_i + P_O$

[P_i = আবিষ্ট মেরুকরণ, P_O = সজ্জা মেরুকরণ]। P_i তাপমাত্রা – নিরপেক্ষ, এটি নির্ভর করে পদার্থের নির্দিষ্ট ধর্মের (দ্বি-তাড়িতিক ধ্রুবক [dielectric constant, ও ঘনত্ব উপর) অনুপাতের উপর। উভয় ধর্মই সহজে পরিমাপযোগ্য।

অণুর সজ্জাকে – মেরুকরণ তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। O_2, CO_2, N_2 প্রভৃতি এরূপ স্থায়ী দ্বি-মেরু যুক্ত অণুর সম্বন্ধে বলা হয় যে, এদের ধ্রুবীয়তা (Polarity) আছে বা এদের মেরুকরণ/মেরুভবন ঘটে। এই মেরুভবনের প্রবণতা মাপা যায় দ্বি-মেরু (দ্বি-ধ্রুবীয়) ভ্রামক (dipole moment) দিয়ে—এটি সংজ্ঞাগত হয় ধনাত্মক/ঋণাত্মক/আধানের পরিমাণ ও মেরুদ্বয়ের দূরত্ব (বন্ধ-দৈর্ঘ্য-র গুণফল দ্বারা। যদি প্রতিটি মেরুতে আধানের পরিমাণ q এবং তাদের অন্তবর্তী দূরত্ব d হয় তবে, দ্বিময় ভ্রামক হয়ঃ $\mu = q.d.$ দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি, অর্থাৎ এর মান ও দিক আছে। এইদিক সাধারণতঃ ধনাত্মক থেকে ধণাত্মক আধানের দিকে দেখানো হয়।

একক ঃ আধানের ক্রম 10^{-10} ই-এস্-ইউ, এবং দূরত্ব 10^{-8}, দ্বি-মেরু ভ্রামকের সম হবে $10^{-10} \times 10^{-8}$ বা 10^{-18}। এই 'পরিমাণ' (quantitis)-কে বলা ডিবাই (Debye) একক বলা হয়, এবং D প্রতীক দিয়ে চিহ্নিত করা হয়।

$\mu = q \times 4{\cdot}815^{-10}$ ই-এস্-ইউ) $\times$ $(1 \times 10^{-8}$ সেমি) $= 4{\cdot}8q \times 10^{-18}$ ই-এস্-ইউ সেমি।

$= 4{\cdot}8$ ql D

$\therefore$ ID $= 3{\cdot}338 \times 10^{-30}$ cm.

7.6 মেরুভবন প্রবণতা (Polarisability)

তড়িৎক্ষেত্রে অবস্থানকালে অণুসমূহ দ্বিমেরুভ্রামক অর্জন করে। এই দ্বি-মেরু ভ্রামকের (μ) পরিমাণ তড়িৎ-ক্ষেত্রের শক্তি, F-এর সমানুপাতিক ঃ

$$\mu_i = \alpha F$$

সাধারণতঃ এটি অণুর সজ্জার উপর নির্ভরশীল। তড়িৎ-ক্ষেত্র-শক্তি খুব বেশি হলে μ_i, F^2-এর সমানুপাতিক হয় ঃ $\mu_i = \beta F^2$; β (সমানুপাত—ধ্রুবক)-কে 'অতিমেরুভবন প্রবণতা' (hyperpolarizability) বলে। কোনও ক্ষেত্রের পক্ষে অণুকে ধ্রুবীয় করার ক্ষমতার পরিমাপ করা হয় অণুর মেরুভবনপ্রবণতার উপর। একক শক্তির

তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা আবিষ্ট দ্বিমেরু ভ্রামকে দিয়ে 'মেরুভবন প্রবণতা'র সংজ্ঞাগত হয়।

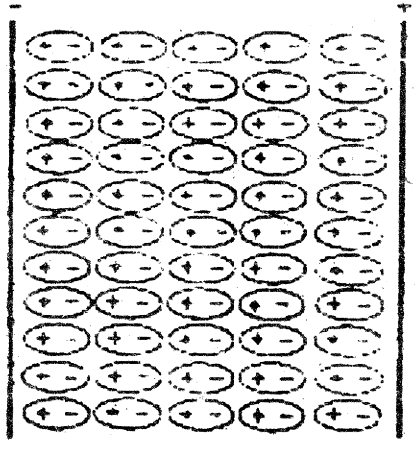
দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবক (Dietectmic constant)

এটি মাধ্যমের একটি ধর্ম। শূন্যস্থানের জন্য এইমান, $\epsilon = L$, কিন্তু অন্য মাধ্যমের ক্ষেত্রে $\epsilon > L$, এর পরিমাপ করতে গেলে প্রথমে ধারকের পাত দুটির মধ্যবর্তী স্থান শূণ্য করে ঠারকত্ব (Capacity) Co মেপে নেওয়া হয়, তারপরে মধ্যবর্তী স্থান সংশ্লিষ্ট মাধ্যমের দ্বারা পূণয করে ধারকত্ব যে মাপা হয়, তবে, $\epsilon = \frac{C}{C_0}$।

$10^6 - 10^6$ সেকেন্ড $^{-1}$ কম্পাঙ্কের পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ ব্যবহার করে—এখন বিভিন্ন বৈদ্যুতিক যন্ত্র পাওয়া যায়—এদের ধারা ধারকত্ব মাপা যায়।

7.7 মোসেট্টি-ক্লসিয়াস্ (Mosotti-Clansius) সমীকরণ ঃ

দ্বি-তাড়িতিক ধ্রুবক এবং আবিষ্ট মেরুকরণ-এর সম্পর্ক নির্ণয় করেন, মোসোট্টি (1850) এবং ক্লসিয়াস্ (1879)। এই সম্পর্ককে বলা হয় মোসোট্টি ক্লসিয়াস্ সমীকরণ।



ধরা হয় যে প্রতিটি অণু একটি ছোট্ট গোলক (চাক্ষুষ)। আরও ধরা হয় যে প্রারম্ভে গোলকাকৃতি অণুগুলির মধ্যস্থিত আধান এমনভাবে সমবন্টিত যাকে যে তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রয়োগের আগে অণুর স্থায়ী ভ্রামক শূন্য হবে।

মনে করা যাক তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রয়োগের ফলে উৎপন্ন বিকৃতি বা আবিষ্ট মেরুকরণ P_i-এর মধ্যে কোন স্থায়ী মেরু নেই।

অণুর মধ্যস্থ ইলেকট্রন ও কেন্দ্রক কিছু মাত্রায় সঞ্চরণশীল, কাজেই যখনই কোন অণু (তা ধ্রুবীয়ই হোক বা অধ্রুবীয়ই হোক), তড়িৎ-ক্ষেত্রে স্থাপিত হলেই তড়িৎকেন্দ্রদ্বয়ের কিছুটা স্থানচ্যুত ঘটে; এর ফলে উপস্থিত দ্বিমেরু ছাড়াও আরেকটা দ্বিমেরু অণুতে আবিষ্ট হবে চিত্র (7.5)। μ_i যদি এই আবিষ্ট দ্বিমেরুর তড়িৎ-ভ্রামক হয়। তবে—

$\mu_i = \alpha_D$, F.....(1) F = একক অণুর উপরে প্রযুক্ত ক্ষেত্রের প্রাবল্য (intensity).

α_D (ধ্রুবক)-কে অণুর মেরুভবনপ্রবণত (Polarisabilty) বলে। কোনও অণুর কতটা সহজে মেরুকরণ সম্ভব তার পরিমাপ করা হয়—এই পরিমাপ আবার তড়িৎক্ষেত্রে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান নিজেদের সাপেক্ষে কত সহজে স্থানচ্যুত হতে পারে পরও পরিমাপ।

মনে করা যাক, দুটি আহিত পাত দ্বারা উৎপন্ন সম-তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য E_O। যে ক্ষেত্রে কোন অধ্রুবীয় মাধ্যমে তড়িৎ-ক্ষেত্রের শক্তি কমে হয় E, কারণ অণুতে আবিষ্ট দ্বিমেরু প্রযুক্ত ক্ষেত্রে বিপরীত অভিমুখে কাজ করে। E_0 / E অনুপাতকে মাধ্যমের দ্বি-তাড়িতিক ধ্রুবক, E। স্থির-তড়িৎ-বিদ্যা থেকে জানি,

$E_0 = E + 4\pi I$ বা $E_0 - E = 4\pi I$

বা, $E\left(\frac{E_0}{E} - 1\right) = 4\pi I$ বা $E(E-1) = 4\pi I$ (3) = [I = একক আয়তনে আবিষ্ট দ্বিমেরুর তড়িৎ ভ্রামক]

$\therefore I = \mu_i n$ ... (4) [n = প্রতি মিলিলিটারে অণুর সংখ্যা এবং μ_i = আবিষ্ট দ্বিমেরুর তড়িৎ-ভ্রামক]।

তড়িৎ-প্রাবল্য F কয়েকটি অংশের সমন্বয় ঃ

(i) পাত দুটির উপরের আধান-ক্ষেত্র E_0।

(ii) পাত দুটির সঙ্গে সংযুক্ত দ্বি-তাড়িতের পৃষ্ঠে আবিষ্ট আধানের দরুণ বল—$4\pi I$।

(iii) গোলাকাকৃতি গহ্বরের উপর পৃষ্ঠে আবিষ্ট আধানজনিত অংশ $\frac{4}{3}\pi I$।

(iv) গহ্বরের মধ্যস্থ অণুসমূহের দ্বারা গঠিত ক্ষেত্র।

তরল ও গ্যাসের ক্ষেত্রে, অণুগুলি বাহ্যিক ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতেই সজ্জিত হয়ে থাকে। তাই গহ্বরের মধ্যস্থ অণুগুলি দ্বারা গঠিত ক্ষেত্র অগ্রাহ্য করা যায়। সেক্ষেত্রে, $F = E_o + \frac{4}{3}\pi I - 4\pi I$.....(5)

(2) ও (5) থেকে, $F = E + 4\pi I + \frac{4}{3}\pi I - 4\pi I = E + \frac{4}{3}\pi I$.....(6)

(3) ও (6) থেকে, $F = E + \frac{1}{3}E(\epsilon - 1) = E + \frac{E\epsilon}{3} - \frac{E}{3}$

বা $F = \frac{2E}{3} + \frac{E\epsilon}{3} = \frac{E}{3}(2+\epsilon)$.....(7)

(7) ও (1) থেকে, $\mu_i = \alpha_D \cdot \frac{E}{3}(2+\epsilon)$.....(8)

(8) ও (4) থেকে, $I = n\alpha_D \frac{E}{3}(2+\epsilon)$.....(9)

(2) ও (3) থেকে, $E(\epsilon - 1) = 4\pi n\alpha_D \frac{E}{3}(2 + \epsilon)$

বা $\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{4}{3}\pi n\alpha_D$.....(10)

যদি পাত দুটির অন্তবর্তী মাধ্যমের ঘনত্ব δ এবং আণবিক ওজন M হয়। তবে,

$$n = \frac{NP}{M}.....(ii)$$

10 ও 11 থেকে পাই ঃ

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\frac{M}{\delta} = \frac{4}{3}\pi N\alpha_D .....(13)$$

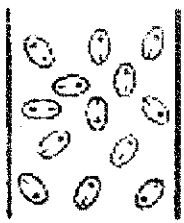
(13)নং সমীকরণকে ক্লসিয়াস মোসেত্তি সমীকরণ বলা হয়।

যেহেতু প্রযুক্ত ক্ষেত্র অণুর মধ্যে কেন্দ্রক ও ইলেকট্রনের আপেক্ষিক অবস্থানের পরিবর্তন ঘটায়, তাই P_M কে আবিষ্ট বা বিকৃতি মেরুকরণ বলে অর্থাৎ $P_i = P_M = \frac{4}{3}\pi N\alpha_D$.....(14)

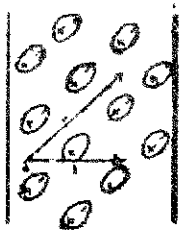
সমীকরণ (14) থেকে দেখা যাচ্ছে আবিষ্ট মেরুকরণ তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না। পদার্থের উপর অর্থাৎ দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবক, আণবিক ও ধর্ম ও ঘনত্বর উপর নির্ভরশীল।

7.8 ডিবাই (Debye) সমীকরণ ঃ দিক্‌স্থিতি মেরুকরণ

ডিবাই (1912) ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যে স্থাপিত ধ্রুবীয় অণুর আচরণ আলোচনা করেন। তড়িৎক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে, উচ্চতর তাপমাত্রায় তাপীয় গতির দরুণ অণুগুলি যদৃচ্ছ সজ্জিত থাকে বলে কোন বিশেষ দিকে দ্বিমেরুভ্রামক থাকতে পারেন (চিত্র 7.6)। কিন্তু পাতদ্বয় বরাবর তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করলে অণুগুলি ক্ষেত্রের



চিত্র 7.6



চিত্র 7.6

দিক অনুযায়ী নিজেদের সজ্জিত করে নেবে (চিত্র 7.7)। এই ব্যাপারটা থেকে ডিবাই তাপমাত্রায় পরিবর্তন সাপেক্ষে মেরুকরণের পরিবর্তন সম্বন্ধে গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্তে আসেন।

তাঁর মতে, আণব মেরুকরণ শুধুমাত্র ইলেক্ট্রণ ও কেন্দ্রকের পারস্পরিক স্থান চ্যুতির দরুণ ঘটে না, অণুর নিজস্ব স্থায়ী দ্বিমেরুভ্রামক μ (ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে)-র জন্যেও ঘটে। এভাবেই তাপ-গুণাঙ্ক ব্যাখ্যাত হয়। এবং অণুর তড়িত-ভ্রামক সেক্ষেত্রে সমীকরণ (1) দিয়ে পাওয়া যাবে না, পাওয়া যাবে নিচের সমীকরণ দিয়ে ঃ

$\mu_M = \alpha F = (\alpha_D + \alpha_O)F = \alpha_D F + \alpha_O F$.....(14) বা, $\mu_M = \mu_i + m$.....(15)

[μ_i = ক্ষেত্রের প্রয়োগে আবিষ্ট ধ্রুবীয়তা, m = দিক-স্থিতি মেরুকরণজনিত ভ্রামক,

α = মেরুভবনপ্রবণতা $= \alpha_D + \alpha_0$

ডিবাই মনে করেন, ক্ষেত্র দ্বিমেরুকে নির্দিষ্ট দিকে রাখতে চায় আর তাপীয় আলোড়ন একে যদৃচ্ছ অবস্থানে থাকতে প্ররোচিত করে—এই দুই শক্তির মধ্যে একটা সাম্যাবস্থা স্থাপিত হয়। তিনি আরও মনে করেন যে অণুগুলি হচ্ছে আধানতন্ত্র, কিন্তু তিনি ক্ষেত্র F দ্বারা অণুতে আবিষ্ট ভ্রামক অগ্রাহ্য করেন।

এখন, μ স্থায়ী আণবিক ভ্রামক এবং ক্ষেত্রে দিকের সঙ্গে আণব দ্বিমেরুর অক্ষের কোণ θ (চিত্র 7.8) হলে, অণুর স্থিতি শক্তি—

$U = -\mu F \cos\theta$.....(16) ক্ষেত্রের দিক বরাবর স্থায়ী ভ্রামক হবে $\mu \cos\theta$।

এখন বোল্‌জ্‌ম্যান (Boltzmann) সূত্রানুসারে, dw কঠিন কোণে সংস্থাপিত দ্বি-মেরু-অক্ষ বিশিষ্ট অণুসমূহের সংখ্যা $= dN = Ae^{-u/KT}dw$

[A = সমানুপাত ধ্রুবক, K = বোল্‌জ্‌ম্যান ধ্রুবক]

মোট অণুসংখ্যা $= \int_0^{2\pi} Ae^{-U/Kt}{}_{dw} = \int_0^{2\pi} Ae^{\mu F\cos\theta/KT}dw$ ∴ ক্ষেত্রে দিক বরাবর অনুভি গড় ভ্রামক

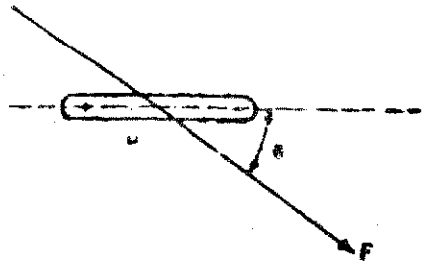
ক্ষেত্রের দিকে মোট ভ্রামক $= \int_0^{2\pi} Ae^{\mu F\cos\theta/KT}\mu\cos\theta\ dw$

$$= m = \frac{\int_0^{2\pi} Ae^{\mu F\cos\theta/KT}\ \mu\cos\theta\ dw}{\int_0^{2\pi} A\,e^{\mu F\cos\theta/KT}\ dw}$$

$\mu F / KT = x$ এবং $\cos\theta = t$ বসিয়ে পাই—

$$\bar{m} = \frac{\mu\int te^{\alpha x}dt}{\int e^{\alpha x}dt} \quad \text{বা,} \quad \bar{m} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}} - \frac{1}{x}$$

$$= \left(\coth x - \frac{1}{x}\right) = L(x)\text{.....(17)}$$



চিত্র 7.8

L(x) গ্যাসীয় অণুর অয়শ্চুম্বকতা (para magnetism) বিষয়ক P.Langevin-এর অপেক্ষক।

ক্ষুদ্রাক্ষেত্র শক্তির মাত্র, x ছোট, হলে—$L(x) \approx \frac{1}{3}x$.

তাহলে সমীকরণ (w) দাঁড়াবে, $\bar{m} = \frac{1}{3}\mu x = \frac{\mu^2}{3KT}F$.....(18)

সমীকরণ (14) ও (15)-র সঙ্গে তুলনা করে পাই।

$\bar{m} = \alpha_0 F$.....(19)

18 ও 19 থেকে, $\alpha_0 F = \frac{\mu^2}{3KT}F$ বা, $\alpha_0 = \frac{\mu^2}{3RT}$ – (20)

কিছু মোট মেরুকরণ $\alpha = \alpha_D + \alpha_0 + \frac{\mu^2}{3KT}$ – (21)

দ্বি-তাড়িতিক ধ্রুবক $\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\frac{M}{P}$ থেকে পাওয়া যায়, আণব মেরুকরণ আবিষ্টও দ্বিক-স্থিতি মেরুকরণের যোগফল, তাই! $P_M = P_1 + P_0$,

কিন্তু $P_M = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\cdot\frac{M}{P}$.....(22)

সমীকরণ (12)-তে α_D-এর পরিবর্তে α–বসিয়ে পাই,

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\cdot\frac{M}{\delta} = \frac{4\pi N}{3}\alpha \text{.....(23)}$$

(21) ও (23) থেকে : $\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\cdot\frac{M}{\delta} = \frac{4\pi N}{3}\left(\alpha_D + \frac{\mu_2}{3KT}\right)$ – (24)

খুব কম চাপে গ্যাসের ক্ষেত্রে $\epsilon \to 1 (\therefore \epsilon + 2 = 3)$

$$\therefore \frac{\epsilon - 1}{3} \cdot \frac{M}{\delta} = \frac{4\pi N}{3}\left(\alpha_D + \frac{\mu^2}{3KT}\right) \quad - \quad (25)$$

সমীকরণ (24)-কে ডিবাই সমীকরণ বলা হয়। এ থেকে স্পষ্ট N—

$$P_M = P_i + P_0,$$

যেখানে P_i = (আবিষ্ট মেরুকরণ = $(4\pi N \alpha_D / 3)$ এবং দিক-স্থিতি মেরুকরণ $P_0 = \frac{4}{3}\pi N . \frac{\mu^2}{3KT}$

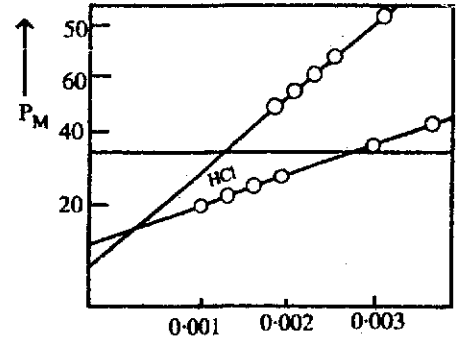
7.8.1. মোট মেরুকরণ ও তাপমাত্রা ঃ

তাপমাত্রা বাড়ালে, অনুসমূহের তাপীয় সঞ্চালন বৃদ্ধি পায়, এবং স্থায়ী অণুর উপর দিক স্থিতি প্রভাবকে তা বাধা দেয়, ফলে দিক-স্থিতি মেরুকরণ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য কমে। এ ব্যাপারটা প্রত্যক্ষ করা যায় ডিবাই সমীকরণের নিচের রূপ থেকে ঃ

$$P_M = \frac{4}{3}\pi N\alpha_D + \frac{4}{3}\pi N\left(\frac{\mu^2}{3KT}\right)$$

বা, $P_M = a + \frac{b}{T} - (26)$

$$[\alpha = \frac{4}{3}\pi N\alpha_D \text{ ও } r = \frac{4}{3}\pi N\left(\frac{\mu^2}{3K}\right) - P_o N]$$



(26) সমীকর অনুযায়ী P_M বনাম $\frac{1}{T}$ লেখচিত্র হবে চিত্র 7.9-এর মত। অধ্রুবীয় পদার্থের ক্ষেত্রে μ (b) = 0 হবে, এবং লেখটি $\frac{1}{T}$-অক্ষের সমান্তরাল হবে। তা না হলে, গতি = b (μ-এর উপর নির্ভরশীল)।

7.8.2 ডিবাই সমীকরণের প্রত্যয় ঃ

ডিবাই সমীকরণ আণব মেরুকরণ P_μ ও $\frac{1}{T}$-র মধ্যে একটা সুন্দর সরলরৈখিক সম্পর্ক দেখায়। কিন্তু ধ্রুবীয় পদার্থের দ্রবণ, কিছু ধ্রুবীয় তরল প্রভৃতির ক্ষেত্রে এটি ঘেটে যায়। কিন্তু লঘু দ্রবণ ও বিশুদ্ধ ধ্রুবীয় তরলের ক্ষেত্রে ঘাটে না। অন্‌সাগের (Onsager), কির্কউড (Kirkud), ফন্ ব্লেক (Van Vlecx) ও আরও অনেকের প্রদত্ত কোয়াটান তত্ত্ব দ্বারা এ চ্যুতি ব্যাখ্যা করা যায়।

7.9 দ্বিমেরু ভ্রামকের পরিমাপন

আসুন, আমরা দেখি দ্বি-মেরু ভ্রামকের পরিমাপ কী কী ভাবে করা যায়। অনেক পদ্ধতিই আছে—তার মধ্যে কয়েকটিরই আলোচনা করব আমরা।

7.9.1 এবার্ট (Ebert)-এর পদ্ধতি ঃ

এই পদ্ধতির মূল নীতি হল ঃ গ্যাসের মধ্যে (এবং কিছুটা তরলের মধ্যেও) অণুগুলির মুক্ত চলন বিদ্যমান। কিন্তু কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে অণুগুলি নির্দিষ্ট ত্রিমাত্রিক অবস্থান (ল্যাটিস্)-এ প্রায় স্থির। কাঁচেই তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের অণুগুলি তড়িৎক্ষেত্রে স্থাপিত হলে বিকৃতি ও দিক্-স্থিতি—উভয় প্রকার মেরুকরণের শিকার হবে। কিন্তু কঠিনের ক্ষেত্রে দিক-স্থিতি মেরুকরণ ঘটবে না। অর্থাৎ $P_0 = 0$ (তবে এটা যে সবসময় সত্যি, তা নয়)। এর অর্থ দাঁড়াল এই যে গ্যাসীয় (বা তরল) এবং কঠিন অবস্থায় মোট মেরুকরণ বিভিন্ন হবে।

মোট মেরুকরণ ঃ $P_{gas} = P_i + P_M$

$$P_{solid} = P_i \qquad \text{বা, } P_M = P_{gas} - P_{solid}$$

বা, $$\frac{4\pi N}{3}\left(\frac{\mu^2}{3KT}\right) = P_{gas} - P_{solid}$$

$$\therefore \mu = \sqrt{\left(\frac{9KT}{4\pi N}\left(P_{gas} - P_{solid}\right)\right)}$$

μ–ছাড়া আর সব রাশিগুলিই জানা।

7.9.2 তাপমাত্রা পদ্ধতি (Temperature method)

দ্বিতারিতিক ধ্রুবকের সরাসরি পরিমাপন থেকে মোট মেরুকরণ (P_M) জানা যায়। যদি M এবং P পৃথকভাবে মেপে নেওয়া হয়।

এখন, $P_i = a + \frac{b}{T}$

যদি দুটি বিভিন্ন তাপমাত্রা T_1 ও T_2-তে মোট মেরুকরণ যথাক্রমে $(P_M)_1$ ও $(P_M)_2$ হয়, তবে—

$$(P_M)_1 - (P_M)_2 = b\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = b\ \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}$$

$$\therefore\ b = (P_M)_1 - (P_M)_2 \cdot \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$$

b-এর মান থেকে সহজেই μ–র মান বার করা যায়। কারণ—

$$b = \frac{4\pi N}{9K}\mu^2 \quad \text{বা,}\ \mu = \sqrt{\frac{9K}{4\pi N}}b = 0{\cdot}0128 \times 10^{-18}\ \sqrt{b}\ (\text{N, K ও } \pi\text{–এর প্রমান মান বসিয়ে})$$

এই পদ্ধতির সীমাবদ্ধতা এই যে : শুদ্ধ ফলের জন্য তাপমাত্রায় পাল্লা যথেষ্ট বেশি হওয়া দরকার। তাই পদ্ধতিটি কেবলমাত্র সেসব পদার্থের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য হবে, যার। ব্যবহৃত তাপমাত্রায় পাল্লায় বিয়োজিত হবে না। তরলের ক্ষেত্রে পাশাপাশি অণুর মধ্যে মিথস্ক্রিয়া ঘটে, তাই তরলে ক্ষেত্রে এই শর্ত রক্ষিত হয় না। বাষ্প বা গ্যাসের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতিতে শুদ্ধ ফল পাওয়া সম্ভব।

7.9.3 প্রতিসরণ পদ্ধতি (Refraction method) :

এই পদ্ধতিতে একটি মাত্র তাপমাত্রায় প্রতি সরাঙ্কের সাপেক্ষে দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবক মাপা হয়।

আমরা জানি : $P_M = P_i + \frac{4\pi N}{3}\cdot\frac{\mu^2}{3KT}$ বা, $\mu = \sqrt{\frac{9K}{4\pi N}}\cdot\sqrt{(P_M - P_i).T} = 0{\cdot}0128\sqrt{(P_M - P_i).T}$

এখন মোট মোরকরণ $P_M = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1}\cdot\frac{M}{d}$, ϵ = দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবক।

Maxwell দেখালেন যে $\epsilon = n^2$ ($n = \alpha$ অতিদীর্ঘ তরঙ্গ দৈর্ঘে প্রতিসরাঙ্ক)

$$\therefore\ P_M = \frac{n_\alpha^2 - 1}{n_\alpha^2 + 2}\cdot\frac{M}{d}$$

কাজেই অধ্রুবীয় অণুর জন্য : $P_M = \frac{n_\alpha^2 - 1}{n_\alpha^2 + 2}\cdot\frac{M}{d} = \frac{4\pi\mu\alpha}{3}$

প্রতিসরাঙ্ক n দৃশ্যমান অবলোকে মাপা হয়। পরপর নিচের সম্পর্ক থেকে দীর্ঘঅবলোহিত অংশের প্রতিসরাঙ্ক পাওয়া যায় : $n = n_\alpha + \left(\frac{a}{\lambda^2}\right)$

a = ধ্রুবক n, λ–তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে প্রতিসরাঙ্ক এবং n_α দীর্ঘ তরঙ্গের জন্য প্রতিসরাঙ্ক। দৃশ্যমান আলোর দুটি তরঙ্গদৈর্ঘে n মেপে নিয়ে তা থেকে a পাওয়া যায়। a পাওয়া গেলে n থেকে n_α পাওয়া যাবে।

7.9.4. লঘু দ্রবণ পদ্ধতি (Dilute solution method) :

উপরে বর্ণিত পদ্ধতিগুলি খাটবে তখন যখন অণুগুলির পারস্পরিক মিথস্ক্রিয়া অগ্রাহ্য করা যায়। উচ্চচাপে গ্যাসে ও তরলের ক্ষেত্রেই এই শর্ত অবশ্যই সিদ্ধ হয় না।

যদি কোন ধ্রুবীয় পদার্থ অধ্রুবীয় মাধ্যমে দ্রবীভূত করা হয়, তবে দ্বিমেরু মিথস্ক্রিয়া সাধারণতঃ তুলনামূলকভাবে অনেক কম। কাজেই লঘুদ্রবণের মোট মেরুকরণ উপাদানসমূহের মেরুকরণের যোগফল। এই ধারণা নিয়ে, ডিবাই নিচের সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করেন ঃ

$$P_{1,2} = \frac{\epsilon_{m-1}}{\epsilon_{m+2}} \cdot \frac{x_1 M_1 + x_2 M_2}{\rho}$$

$P_{1,2}$ = মিশ্রণের উপাদান 1, 2-এর মোট মেরুকরণ।

ϵ_m = মাধ্যমের দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবক।

x_1, x_2 = দ্রাবক ও দ্রাব্যের মোল-ভগ্নাংশ।

M_1, M_2 = 1, 2 উপাদানের আণবিক ওজন।

ρ = দ্রবণের ঘনত্ব

$\therefore$ $P_{1,2}$ উপাদান দ্বারা আদানের সমষ্টি,

$$\rho_{1,2} = x_1 P_1 + x_2 P_2$$

বা, $$\frac{\epsilon_{m-1}}{\epsilon_{m+2}} \cdot \frac{x_1 M_1 + x_2 M_2}{\rho} = \frac{\epsilon_{m_1-1}}{\epsilon_{m_2+2}} \cdot \frac{M_1}{\rho_1} x_1 + \frac{\rho_{m_2-1}}{6m_2+2} \cdot \frac{M_2}{\rho_2} \cdot x_2$$

যেখানে P_1 ও P_2 যথাক্রমে দ্রাবক ও দ্রাব্যের আণব মেরুকরণ। বিশুদ্ধ দ্রাবকের দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবক থেকে P_1 বের করা যায়।

x_1 ও x_2-র জ্ঞাতমানের জন্য দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবকের মান বের করে P_2 বার করা সম্ভব। তারপর আবরিত প্রথায় $\frac{1}{T}$ বনাম P_2 লেখচিত্র থেকে μ বার করে নেওয়া যায়।

এই পদ্ধতিতে কম দ্বি-তারিক্ষেত্র ধ্রুবক বিশিষ্ট দ্রাবক নেওয়া হয়। মাঝে মাঝে অবশ্য প্রয়োজন হলে দ্রাবক অভিক্রিয়া দৃঢ় করার জন্য বিশেষ সংশোধনের প্রয়োজন হয়।

ভন্ ব্লেক (Van Vleck, 1934) সংপরিবর্তন (modification) : গাঢ় দ্রবণের ক্ষেত্রেও ডিবাই সমীকরণ

প্রয়োগ করা যায়। শুধু $bN\mu^2$ রাশিটি সংযোজন করতে হবে

$$P=\frac{\epsilon-1}{\epsilon+12}=\frac{4\pi N}{2}\left[\alpha_D+\frac{\mu_2}{3kT+D\mu^2N}\right]$$

b ধ্রুবক। N = একক আয়তন অণুর সংখ্যা। গাঢ়ত্ব শূণ্য হলে (খুব লঘু দ্রবণে) এই সমীকরণই ডিবাই সমীকরণের সঙ্গে মিলে যায়।

7.9.5 আণবিক রশ্মি পদ্ধতি (Molecular beam method)

বিসমসত্ত্ব (non-homogenous) তড়িৎ ক্ষেত্রে অণুর আবরণের প্রত্যক্ষ পরিমাপের উপর এই পদ্ধতির নীতি প্রতিষ্ঠিত।

মধ্যদিয়ে পদার্থের বাষ্পায়িত অণুসমূহের একটি সূক্ষ্ম রশ্মি বি-সমসত্ত্ব তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে পাঠানো হয় এবং শেষে তরল বায়ুতে শীতলীকৃত পিতলেরপাতের উপর গ্রহণ করা হয়। অণুর ঘনীভবনের ফলে তৈরি দাতা অণুবীক্ষণে দেখা যায়।

অধ্রুবীয় অণুর ক্ষেত্রে, এই দাগ পাশের দিকে সরে যায়। ধ্রুবীয় অণুর ক্ষেত্রে তা ছাড়া এই দাগের বিস্তৃতি ঘটে। নির্দিষ্ট শর্তে এই বিস্তৃতি দ্বিমেরু ভ্রামকের সমানুপাতিক। তাই এই বিস্তৃতি থেকে আমরা অজ্ঞাত বস্তুর দ্বি-মেরু ভ্রামক নির্ণয় করতে পারি।

কম উদ্বায়িত সম্পন্ন ও অধ্রুবীয় দ্রাবকে অদ্রবণীয় অনেক যৌগের দ্বি-মেরু ভ্রামক এই পদ্ধতিতে নির্ণীত হয়েছে (সারণি 7.1)।

ডিবাই এককে যৌগসমূহের দ্বিমেরু ভ্রামক

জৈব অণু	μ	অজৈব অণু	μ
CH_4, C_2H_4, C_3H_6, C_2H_2		H_2, Cl_2, Br_2 I_2, N_2	
C_6H_6, ডাইফিনাইল, ন্যাপ্থ্যালিন,	0	CO_2, Cs_2 $SnCl_2$, SnI_4	0
CCl_4, CBr_2		Hx : Cl	1·03
CH_3 Cl	1·86	Bi	0·78
CH_3 Br	1·80	I	0·38
C_2H_5OH	1·70	H_2O	1·84
C_2H_5Br	2·03	HCN	2·23
CH_3NH_2	1·24	NH_3	1·46
CH_3OH	1·74	SO_2	1·63

জৈব অণু	μ	অজৈব অণু	μ
ডাইক্লোরোবেঞ্জিন ঃ		N_2O	0·17
O	2·5	CO	0·12
m	1·72	PH_3	0·55
p	0	Pcl_3	0 78
		$AsCl_3$	1·59
ক্লোরোনাইট্রোবেঞ্জিন			
O	4·64		
m	3·73		
p	2·83		

7.10 মেরুকরণ ও আণব ব্যাসার্ধ (Polarisation and Molecular Radius)

আবিষ্ট মেরুকরণ (P_I) ব্যবহার করে আণবিক ব্যাসার্ধ বের করা যায়।

আমরা জানি, $P_i = \frac{4}{3}\pi N\alpha = 2{\cdot}54 \times 10^{24}\alpha$ (অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা ও π-এর মান বসিয়ে)।

$\therefore$ গ্যাস/বাষ্পের ক্ষেত্রে প্রতিসরাঙ্ক ≈ 1.

$$\therefore P_I = \frac{\epsilon_{0-1}}{\epsilon_{0+2}} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{\epsilon - 1}{3} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{\epsilon_{0-1}}{3} \times 22{\cdot}4 \times 10^3 \text{ml (STP-তে)}$$

$$\therefore 2{\cdot}54 \times 10^{24}\alpha = \frac{\epsilon - 1}{3} \times 22{\cdot}4 \times 10^3$$

$$\therefore \alpha = 2{\cdot}94 \times 10^{-21} (\epsilon - 1).$$

এখন যদি X প্রাবল্যের তড়িৎ-ক্ষেত্রে r ব্যাসার্ধের পরিবাহী গোলক স্থাপন করা হয়। তবে,

$$\mu_i = r^3X$$

$\therefore \mu_i = \alpha x, \quad \therefore \alpha = r^3 \quad \therefore r^3 = 2{\cdot}94 \times 10^{-21} (\epsilon - 1).$

তবে এই মান খুব একটা ঠিক নয়। যেমন H-এর ক্ষেত্রে এভাবে পাওয়া হল 92 pm (সান্দ্রতা-পরিমাপ থেকে পাওয়া মান 109)।

অনুশীলনী—1

1. 293K-তে,

জলের আণব মেরুকরণ = 74·2 মিলি

প্রতিসরাঙ্ক = 1·333

ঘনত্ব = 0·999 গ্রাম মিলি $^{-1}$

পারমাণবিক মেরুকরণ অগ্রাহ্য করে উপরের তথ্য থেকে জলের দ্বিমেরু ভ্রামক নির্ণয় করুন।

2. He পরমাণুর মেরুভবন প্রবণতা $0{\cdot}4 \times 10^{-24}$ মিলি হলে He পরমাণুর আণুমানিক ব্যাসার্ধ বের করুন।

7.11 দ্বিমেরু ভ্রামক ও অণুর গঠন (Dipolemoment ad)

অণুর গঠন নিরূপণের ক্ষেত্রে দ্বিমেরু ভ্রামক একটি মূল্যবান কৌশল হিসাবে পরিগণিত। এর ব্যাখ্যা প্রসঙ্গে আমরা গাঠনিক বিন্যাস (configuration) সম্বন্ধে আশ্চর্যজনকভাবে গুরুত্বপূর্ণ তথ্যও সিদ্ধান্তে পৌছুতে পারি।

7.11.1 সমযোজী বন্ধের শতকরা আয়নীয় মাত্রা নির্ণয় ঃ

দ্বিমেরু দ্রাবকের মান থেকে আমরা সমযোজী বন্ধের শতকরা আয়নীয় মাত্রা নির্ণয় করতে পারি। AX বন্ধের শতকরা আয়নীয় মাত্রা হবে $\frac{\mu_{obs}}{\mu_{cale}} \times 100\%$।

আসুন একটা উদাহরণ নিই। HCl অণুর বন্ধ-দৈর্ঘ্য = 127 pm = 1·27A°, এবং প্রাপ্ত দ্বিমেরু ভ্রামক (μ_s) = 1·03D।

যদি পুরোপুরি ইলেকট্রন বদ্‌লি ঘটত অর্থাৎ অণুটি $H^+ Cl^-$ হত তবে দ্বিমেরু ভ্রামক হত e.d. (e = আধান, d = দূরত্ব) $= 4{\cdot}8 \times 10^{-10} \times 1{\cdot}27 \times 10^{-8}$ ই-এস্-ইউ সেমি = 6·4 D.

$\therefore$ শতকরা আয়নীয় মাত্রা $= \frac{1{\cdot}03}{6{\cdot}4} \times 100 = 17\%$

এই ফল থেকে অণুর কোন প্রান্ত ধনাত্মক, কোন প্রান্ত ধনাত্মক—তা অবশ্য বোঝা যাবে না।

অনুশীলনী—2

1. ক্লোরোবেঞ্জিনের প্রাপ্ত দ্বিমেরু ভ্রামক 1·55D; C – Cl বন্ধ দূরত্ব = 280 pm হলে C – C বন্ধের আয়নীয় মাত্রা বের করুন।

7.11.2 বন্ধ ভ্রামক ও দ্বিমেরু ভ্রামক (Bond moment and dipole moment) :

অপরাতড়িৎধর্মিতার পার্থক্য কাকে বলে যে কোনও ভিন্নকেন্দ্রিক (hetemonuclur) সমযোজী বন্ধের দ্বিমেরুভ্রামক থাকবে, একে বলা হয় বন্ধ-ভ্রামক (bond moment)। বহু পরমাণুক (polyatomic) অণুর ক্ষেত্রে অণুর দ্বিমেরুভ্রামক উপাদান বন্ধ ভ্রামকগুলির লব্ধি। এই লব্ধি '0' (শূন্য) হতে পারে। নিচে বন্ধ ভ্রামকের অবদান থেকে মূল যৌগের দ্বিমেরু ভ্রামক গণনায় পদ্ধতি দেখানো হল।

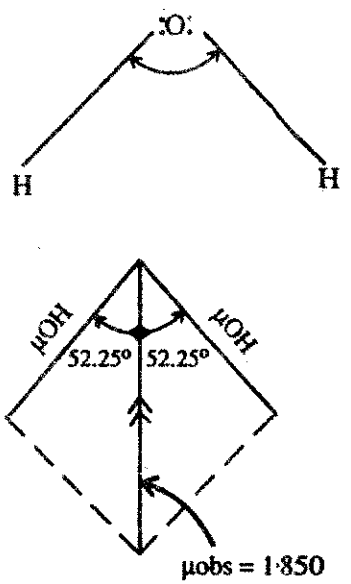
(i) H_2O (চিত্র 7.10); পরীক্ষিত দ্বিমেরু ভ্রামক μ_E 1·85D। O—H বন্ধ ভ্রামক $= \mu_{OH}$; $\angle HOH = 104{\cdot}5°$.

এখন $\mu_E = 2\mu_{OH} \cos 52{\cdot}25$ বা, $1{\cdot}85 = 2\mu_{OH}\ 0{\cdot}6129$

$\therefore\ \mu_{OH} = 1{\cdot}51D.$

বিকল্প পদ্ধতি : $\mu_E = \sqrt{2\mu^2_{OH} + 2\mu^2_{OH} \cos 104{\cdot}5°}$ ।

অনুরূপে μ_{OH} জানা থাকলে $\angle HOH$ বার করা যাবে। সারণি 7.2-এ কতগুলি বন্ধ ভ্রামক দেখানো হল।



চিত্র 7.10

সারণি : 7.2

বন্ধ	ভ্রামক (D)	বন্ধ	ভ্রামক (D)
C—H	0·4	H—Br	0·8
C—O	0·9	H—I	0·4
C—F	1·4	S—H	0·8
C—Cl	1·5	F—Br	1·3
C—Br	1·4	F—Cl	0·9
C—I	1·2	Cl—Bor	0·6
C—N	0·2		
C = O	2·3		
O—H	1·6		
N—H	1·3		
H—F	1·9		
H—Cl	1·0		

অনুশীলনী—3

H_2S-এর দ্বিমেরু ভ্রামক 0·95D। বন্ধ কোণ 97° হলে S—H বন্ধ-ভ্রামক বের করুন। [ws 48·5 = 0·662]

7.11.3 সংস্পন্দন (resonance) ও দ্বিমেরু ভ্রামক ঃ

দ্বিমেরু ভ্রামকের ধারণা থেকে আমরা সংস্পন্দিত আণব গঠনতন্ত্রে সম্ভাব্য ক্যানোনিক্যাল গঠনগুলির অবদান সম্বন্ধে ধারণা করতে পারি। নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O)-এর উদাহরণ। N_2O-র দ্বিমেরু ভ্রামক 0·17D. নিচের যে কোনও একটিই যদি একমাত্র গঠন হত তবে দ্বিমেরু ভ্রামক অনেক বেশি হত। তাহলে নিশ্চয়ই সংস্পন্দন ঘটছে।

$$N \equiv \overset{+}{N} - \overset{-}{O} \leftrightarrow \overset{-}{N} = \overset{+}{N} = O$$

CO_2-এর ব্যাপারটা দেখুন। এর দ্বিমেরু ভ্রামক নেই। কাজেই এর গঠন রৈখিক। O = C = O

এখন অন্যান্য ধর্ম ব্যাখ্যা করতে গিয়ে দেখা যায় যে এই অণুতে সংস্পন্দ আছে। লক্ষ্য করুন নিচের II ও III ক্যানোনিক্যাল গঠন দুটির দ্বিমেরু ভ্রামক সমান হবে, কিন্তু তাদের দিক বিপরীত। চাই যৌগটির দ্বিমেরু ভ্রামক শূন্যই হবে।

(I) (II) (III)

7.11.4 অণুর গঠন ও দ্বিমেরু ভ্রামক ঃ

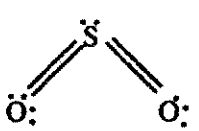
আপনারা উপরের আলোচনা থেকে দ্বিমেরু ভ্রামক ও অণুর গঠনের ধারণা পেয়ে গেছেন।

দ্বিমেরু ভ্রামক শূন্য বলে CO_2, CS_2, $HgCl_2$-র গঠন রৈখিক।

$$S = C = S,\ Cl — Hg — Cl$$

অন্যদিকে H_2S, H_2O কৌণিক।

আবার দেখুন CO_2 রৈখিক, কিন্তু SO_2 কৌনিক, কারণ SO_2 দ্বিমেরু ভ্রামক আছে (1·7D)। আমরা এবার কারণ হিসাবে S-এর নিঃসঙ্গ জোটকে দায়ী করতে পারি।

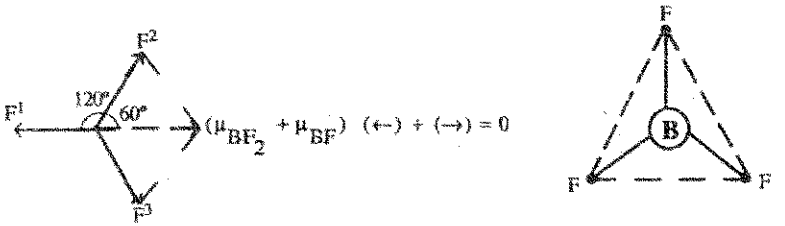


উপরের উদাহরণগুলি সবই ত্রিপরমাণুক যৌগের। আসুন এবার চর্তুপরমাণুক অণুর কথা বলি। বন্ধ তো **BF_3-র দ্বিমেরু ভ্রামক কত হবে?**

BF_3 সমতলিক। $\angle FBF = 120°$। BF_2 অংশের লব্ধিভ্রামক $= \mu BF_2$

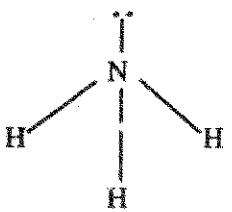
$$\sqrt{\mu_{BF}^2 + \mu_{BF}^2 + 2\mu_{BF}.\mu_{BF}Cos120} = \sqrt{2\mu_{BF}^2 + 2\mu_{BF}^2\left(-\frac{1}{2}\right)} = \mu_{BF}$$

লব্ধি ও BF^2 বা BF_3^3-র মধ্যের কোণ 60°। ∴ BF বন্ধভ্রামক ও লব্ধিভ্রামক সমান ও বিপরীত। তাই BF_3-র দ্বিমেরু ভ্রামক 'শূন্য' (চিত্র 7.11)।



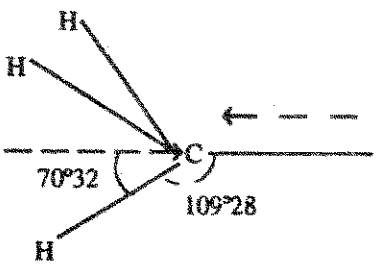
চিত্র 7.11

এরকম অণু যদি AB_2C সংকেতের হয়, তবে কিন্তু লব্ধি দ্বিমেরু ভ্রামক শূন্য হবে না। হবে না NH_3-র ক্ষেত্রেও। NH_3-র দ্বিমেরু ভ্রামক 1·46D। এটি ব্যাখ্যাও হয় NH_3-র চতুস্তলকীয় গঠন (একটি শর্তে নিঃসঙ্গ ইলেক্ট্রন জোট আছে) দ্বারা (চিত্র 7.12)।



চিত্র 7.2

CH_4, $TiCl_4$, $Ni(CO)_4$ জাতীয় পঞ্চপরমাণুক যৌগের ক্ষেত্রে দ্বিমেরু ভ্রামক নেই। আসুন ব্যাখ্যা করে দেখা যাক (চিত্র 7.13)। এই অধ্রুবীয় আবরণের মূলে আছে এদের প্রতিসম চতুস্তলকীয় গঠন—কার্বন পরমাণু



চিত্র 7.13

থাকে কেন্দ্রস্থলে আর যোজ্যতা বন্ধগুলি পরস্পরের সঙ্গে 109°28' কোণ করে থাকে। কার্বনের কেন্দ্রকই অণুটির প্রতিসমতা কেন্দ্র। দ্বিমেরু ভ্রামকের অনুপস্থিতি থেকে বোঝা যায় যে একটি C—H বন্ধভ্রামক অপর তিনটি C—H বন্ধভ্রামকের লব্ধির সমান ও বিপরীত অর্থাৎ CH_3 গ্রুপের দ্বিমেরু ভ্রামক C—H বন্ধ-ভ্রামকের সমান ও বিপরীত। প্রতীকের সাহায্যে এভাবে প্রকাশ করা যায়ঃ

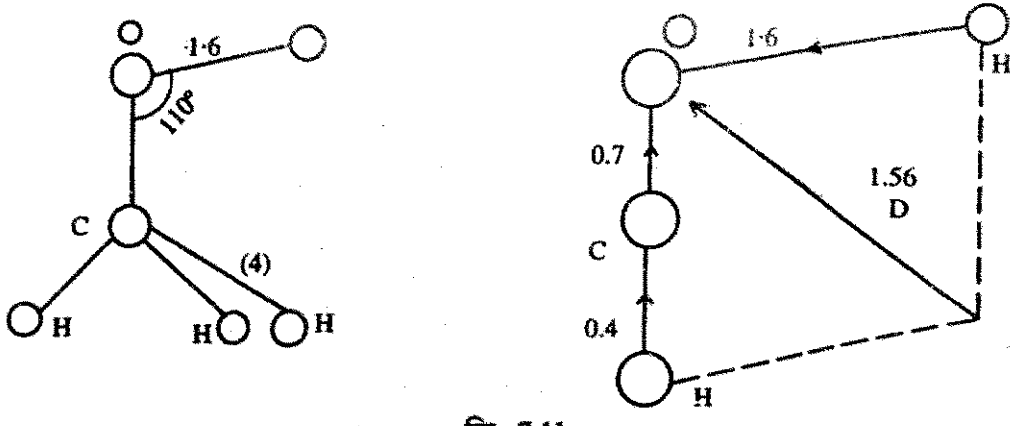
$\mu_{CH_3} = 3\mu_{C-H}\cos(180° - 109°28') = 3\mu_{C-H} \times \frac{1}{3} = \mu_{C-H}$। তাহলে বোঝা যাচ্ছে $-CH_3$-র দ্বিমেরু ভ্রামক 0·4D। একই কারণে C_2H_5 ও অন্য মূলকের দ্বিমেরু ভ্রামকের মান হবে 0·41D।

এ থেকে স্বাভাবিক ভাবেই সিদ্ধান্ত করা যায় যে সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের একটি H যদি –OH মূলক দিয়ে প্রতিস্থাপিত হয়। তবে অ্যালকোহলের সমজাতীয় শ্রেণী পাওয়া যাবে তার সদস্যসমূহের একটি দ্বিমেরু ভ্রামক হবে। অন্য সব সমগনীয় শ্রেণীর দ্বিমেরুভ্রামকের ক্ষেত্রেও একথা সত্য (সারণি 7·3)।

সারণি 7.3

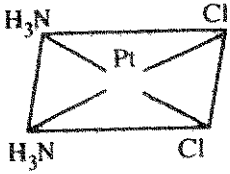
শ্রেণী মূলক	গড়দ্বিমেরু ভ্রামক (O)
অ্যালকোহল	1.67
অ্যামিন	1.33
ক্লোরাইড	2.04
সায়ানাইড	3.57

অন্যভাবে আসুন এ ধারণার সত্যতা পরীক্ষা করা যাক। মিথাইল অ্যালকোহলকে উদাহরণস্বরূপ নেওয়া যাক। আমরা তো দেখালাম $\mu_{CH_3} = 0·4$। আর O–H বন্ধভ্রামক1·6D। তাহলে চিত্র (7.11) থেকে পাওয়া যায় যে μ_{CH_3OH} -এর মান 1·56D। মানটি কোন শ্রেণীর গড় মানের প্রায় সমান।



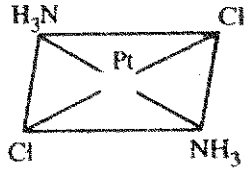
চিত্র 7.11

দ্বিমেরুভ্রামক দিয়ে আমরা জ্যামিতিক সমাবয়ব দুটির মধ্যে পার্থক্য করতে পারি। সিস্ ও ট্রান্স-প্লাটিনকে উদাহরণস্বরূপ ধরতে পারি (চিত্র 7.12) ট্রান্স-প্লাটিন (ট্রান্স ডাই অ্যাথিন ডাই-ক্লোরোপ্লাটিনাস (II)-এর দ্বিমেরু ভ্রামক প্রায় শূন্য। কিন্তু সিস্-প্লাটিনের দ্বিমেরু ভ্রাবক আছে।



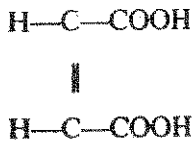
সিস্

চিত্র 7.2

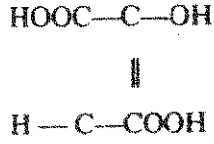


ট্রান্স

চিত্র 7.13



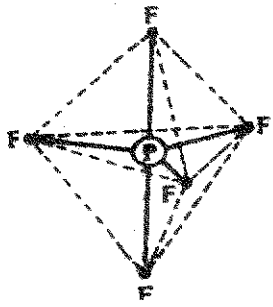
ম্যালেয়িক অ্যাসিড



ফিউমারিক অ্যাসিড

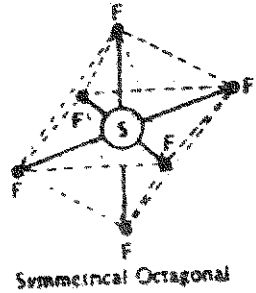
ম্যালেয়িক ও ফিউমারিক অ্যাসিড-এর ক্ষেত্রেও এই তথ্য প্রযোজ্য (চিত্র 7.13)।

আরও দুটি প্রতিসম নিচে দেখানো হল। এদের সবার দ্বিমেরু ভ্রামক শূন্য (চিত্র 7.14)।



ত্রিকোণ দ্বি-পিরামিড

(tringanal bitramid)



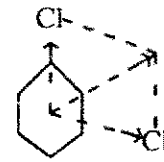
অষ্টতলকীয়

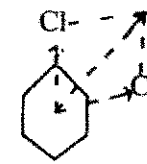
(octaledrm)

দ্বি-মেরু ভ্রামক-এর মান থেকে বেঞ্জিন জাতকের 'ওরিয়েন্টেশান' জানা যায়। বেঞ্জিন নিজে প্রতিসম এবং এর দ্বিমেরুভ্রামক শূন্য। এর একদল প্রতিস্থাপিত জাতকের দ্বিমেরু ভ্রামক নিম্নরূপ ঃ

		CH_3	OH	NO_2	Cl	NO_2
$\mu \rightarrow$	0	0·40	1·40	3·90	1·50	3·9D

দ্বি-প্রতিস্থাপিত জাতকের ক্ষেত্রে নিচে দেখানো পদ্ধতিতে দ্বিমেরু ভ্রামক নির্ণয় করা যায়।





Cal 0	1.50 D	2.60 D
Obs 0	1.48 D	2.3 D

(চিত্র 7.15)

চিত্রে (7.15) দেখানো হয়েছে যে দ্বিমেরু ভ্রামকের ক্রম $p < m < 0$। লব্ধি দ্বিমেরু ভ্রামক গণনা করা হয়েছে সহজ বলবিন্যাস নিয়মে ঃ

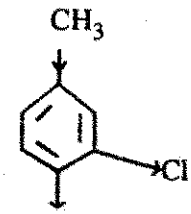
$$\mu_R = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2 + 2\mu_1\mu_2 \cos\alpha}$$

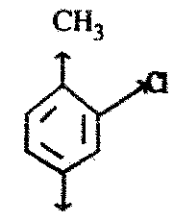
অতএব O-সমঘরের ক্ষেত্রে $\mu^2_R = \sqrt{2(1\cdot40)^2 + 2(1\cdot40)^2 . \frac{1}{2}} = \sqrt{3(1\cdot40)^2} = 1\cdot40 \times 1\cdot73$

$$= 1\cdot50 \times 1\cdot732 = 2\cdot60$$

এবং m–সমঘরের ক্ষেত্রে $\mu^m_R = 1.50$ ($\because \cos 120 = -\frac{1}{2}$)

ক্লোরোটলুইনের সমঘরের ক্ষেত্রে গণনা হবে নিম্নরূপ ঃ





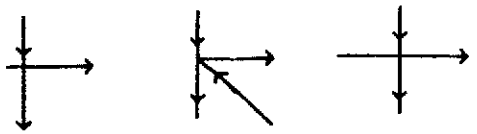
$\mu^r_R = 0\cdot40 + 1\cdot50 = 1\cdot90D$

$\mu^m_2 = \sqrt{(0\cdot40)^2 + (1\cdot50)^2 + 2(0\cdot40)(1\cdot50)\cos 60°} = \sqrt{3\cdot01} = 1\cdot73$

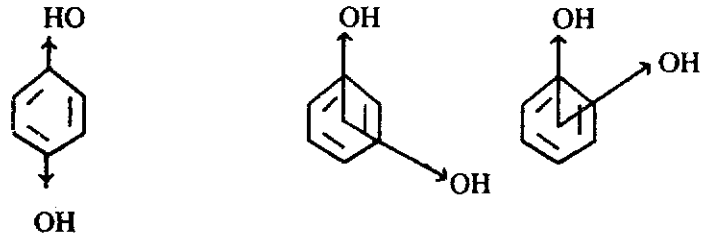
$\mu^o_R = \sqrt{(0\cdot40)^2 + (1\cdot50)^2 + 2(0\cdot40)(1\cdot50)\cos 128} = \sqrt{1\cdot81} = 1\cdot35$

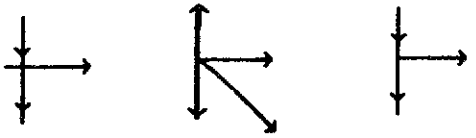
$\therefore$ ক্রম $0 \angle m \angle p$

বিকল্প পদ্ধতি : প্রথমে 1 এবং R অভিক্রিয়ানুসারে দ্বিমেরুর দিক ঠিক করতে হবে। তারপর অণুভূমিক ও উল্লম্ব পক্ষবরাবর ভেক্টরগুলির উপাংশ বের করে নেওয়া হয়। তারপর উপাংশগুলির বীজগাণিতিক যোগফল নিয়েই ক্রম বোঝা যাবে।



∴ ক্রম $0 - \angle m - \angle p$





∴ ক্রম $0 - \angle m - \angle p-$

অনুশীলনী—4

1. ব্যাখ্যা করুন : CO_2-র দ্বিমেরু ভ্রামক নেই, কিন্তু SO_2-র আছে।

2. ফেনলের দ্বিমেরু ভ্রামক 1·40 হলে S-ট্রাই হাইড্রক্সি বেঞ্জিনের দ্বিমেরু ভ্রামক কত হবে?

7.12 সারাংশ

স্থায়ী দ্বিমেরু যুক্ত অণুকে ধ্রুবীয় অণু বলা হয়। এদের মেরুকরণ বা মেরুভবন ঘটে। যাদের ধ্রুবীয়তা নেই এমন অণুকেও তীব্র তড়িৎ ক্ষেত্রে পাঠালে কেন্দ্রক ও ইলেকট্রনসমূহের স্থানচ্যুতির জন্য মেরুধর্ম আবিষ্ট হয়। আবার ধ্রুবীয় অণু সাধারণভাবে তাপীয় প্রভাবে সকল দিকে বরাবর সজ্জিত থাকে। তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করলে অণুগুলির মেরু বিপরীত পাতের অভিমুখে সজ্জিত হবে। এছাড়া ধনাত্মকও ঋণাত্মক আধানের স্বাভাবিক বিকৃতিও ঘটবে। এভাবে দিক্‌স্থিতি মেরুকরণ ঘটে। সবগুলি মেরুকরণের সমষ্টিকে মোট মেরুকরণ বলে। মেরুভবন-প্রবণতা প্রযুক্ত তড়িৎক্ষেত্রের প্রাধন্যের সমানুপাতিক।

মোসেত্তি-ক্লসিয়াম সমীকরণে পদার্থের দ্বি-তাড়িতিক ধ্রুবক ও আবিষ্ট মেরুকরণের সম্পর্ক নির্ণীত হয়।

দিক্‌স্থিতি মেরুকরণের মাত্রিক ধারণা পাওয়া যায় ডিবাই সমীকরণে। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে দিক্‌স্থিতি মেরুকরণের প্রবণতা কমে।

মোট মেরুকরণ/মেরুভবন নির্ণয় করার জন্য একাধিক পরীক্ষা আছে—একটি পদ্ধতি, তাপমাত্রা পদ্ধতি, প্রতিসরণ পদ্ধতি, আণবিক রশ্মি পদ্ধতি। মেরুকরণের পরিমাপ থেকে আণব ব্যাসার্ধ বার করা যায়।

দ্বিমেরু ভ্রামক থেকে সমযোজী বন্ধের শতকরা আয়নীয় মাত্রা বের করা সম্ভব।

ভিন্নকেন্দ্রিক সমযোজী বন্ধের দ্বিমেরুভ্রামক থাকবে। একে আমরা বলি বন্ধ-ভ্রামক। কোন যৌগের দ্বিমেরু ভ্রামক বলতে বুঝি এই বন্ধ-ভ্রামক সমূহের লব্ধি। এই লব্ধি শূন্য হতেও পারে। অণু গঠনের দিক থেকে প্রতিসম হলে দ্বিমেরু ভ্রামক শূন্য হবে। BF_3, CH_4, PF_5, ট্রান্স-জ্যামিতিক সমাগত—এসবের লব্ধি দ্বিমেরু ভ্রামক শূন্য। দ্বিমেরু ভ্রামক থেকে অণুর গঠন বিন্যাস জানা যায়। আবার বন্ধভ্রামক ও গঠন বিন্যাস জানা থাকলে দ্বিমেরুভ্রামক সহজ বলবিদ্যার নিয়মে জানা যায়।

7.13 প্রান্তিক প্রস্তাবলি

1. সিস্-ডাইক্লোরোইথিলিন $(M = 97)$-এর $302°K$ = তাপমাত্রায় আণব মেরুকরণ 93·13 মিলি এবং 403K তাপমাত্রায় 74·35 মিলি। এর দ্বিমেরুভ্রামক বের কর।

যৌগটির ঘনত্ব 1·28 গ্রাম মিলি $^{-1}$ বলে ঘনত্ব বের করুন। ধরে নিন যে পারমাণবিক মেরুকরণ 5%।

2. প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে নাইট্রোজেনের দ্বিতাড়িতিক ধ্রুবক 1·00485 এবং ঘনত্ব 1·25 গ্রা লিটার$^{-1}$। আবিষ্ট আণব মেরুকরণ ও মেরুভবন প্রবণতা বের করুন। $(N = 6·02 \times 10^{23})$।

3. ব্যাখ্যা করুন ঃ

(i) P-ডাই নাইট্রোবেঞ্জিন অধ্রুবীয় কিন্তু P-ডাইহাইড্রকিস বিনলের দ্বিধ্রুবীয় ভ্রামক 1·64D.

(ii) নাইট্রোবেঞ্জি ও মেটা ডাই নাইট্রোবিঞ্জেনের দ্বিমেরু ভ্রামক অভিন্ন।

4 ওরিয়েন্টেশান নির্দেশ করুন ঃ

তিনটি ক্লোরো নাইট্রোবেঞ্জিন—দ্বিমেরু ভ্রামক 13·4, 2·5, 4·3D।

7.13 উত্তরমালা

অনুশীলনী—1

1. আণব প্রতিসরাঙ্ক $(R_M) = \frac{1·333^2 - 1}{1·333^2 + 2} \times \frac{1}{2} \frac{18}{0·998} = 3·7$

এখন $P_M = P_a + P_i + P_o$

$P_a = O \qquad Pi = R_M$

$\therefore \quad P_M = R_M + \frac{4\pi N}{IKT}\mu^2$ বা, $74{\cdot}2 = 3{\cdot}7 + \frac{4\pi \times 6{\cdot}02\times10^{23}}{9\times(8{\cdot}4\times10^{7}/6{\cdot}02\times10^{23})\times297}\mu^2$

$\therefore \quad \mu = 1{\cdot}8\times10^{-18}$ ই-এস্-ইউ $= 1{\cdot}8$ D.

2. $r = \left(0{\cdot}4\times10^{-24}\right)^{\frac{1}{3}} = 0{\cdot}74\times10^{-8}$ cm $= 74$ cm.

অনুশীলনী—2

1. 280 cm $= 2{\cdot}8\times10^{-8}$ সেমি.

7.11.1 অংশ দেখে নিজে করুন। উত্তর হবে: 11%।

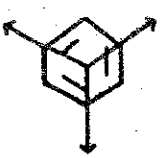
অনুশীলনী—3

1. $0{\cdot}95 = 2\mu_{3H}\cos 48{\cdot}5 = 25H\times0{\cdot}662 \quad \therefore \mu_{SH} = 0{\cdot}72D$।

অনুশীলনী—4

1. নিজে চেষ্টা করুন।

1. শূন্য



জানা আছে: বিকৃতি/আবিষ্ট মেরুকরণ $P_i = P_a + P_e$

302K-তে $P_M = P_i + \frac{B}{T_1} = 93{\cdot}13$

403·8K-তে $P_M = P_i + \frac{B}{T_2} = 74{\cdot}35$

$\therefore$ **B= (93·13 – 74·35)** $\left(\frac{1}{302} - \frac{1}{403{\cdot}8}\right)$

$$= \frac{18\cdot78}{0\cdot00084} = 22357$$

$\therefore \mu = 0\cdot0128\sqrt{B} = 0\cdot0128\sqrt{22357} = 1\cdot91D.$

এখন, $Pe = 0\cdot95\ P_i$

কিন্তু $P_i = 93\cdot13 - \frac{B}{T_i} = 93\cdot13 - \frac{22357}{302} = 16\cdot20$

$\therefore Pe = 0\cdot95 \times 18\cdot90 = 17\cdot96$ মিলি।

আমরা জানি $\frac{n^2-1}{n^2+2} = 17\cdot96 \times \frac{1\cdot28}{97} = 0\cdot2366$

$\therefore n = 1\cdot385।$

2. N_2 অধ্রুবীয়, $\therefore P = P_i$ বা $P_i = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \cdot \frac{M}{P}$,

$\rho = 1\cdot0048,\ M = 28,\ d = 1\cdot25$ গ্রা/লিঃ $= 0\cdot00125$ গ্রা. মিলি $^{-1}$।

$\therefore \rho_i = \frac{1\cdot00485-1}{1\cdot00485+2} \times \frac{28}{0\cdot00125} = 36\cdot16$ মিলি/মোল।

আবার, $\rho_i = \frac{4}{3}\pi N\alpha D$

$\therefore \alpha_D = \frac{3\rho i}{4\pi N} = \frac{3\times36\cdot16}{4\times3\cdot14\times6\cdot02\times10^{23}} = 1\cdot435 \times 10^{-23}$

3. (i), (ii) পাঠ্যাংশ দেখুন।

4. 0–; 4·3D; m–, 3·4D; p–, 2·5D.

7.15 অতিরিক্ত সহায়ক পুস্তকসমূহ

1. Physical Chemistry : P.C.Mukharjee (6th Edn.), Sarat Book Harc.
2. General and Inarganic Chemistry (vol. 2) R. Sarkar.
3. ভৌত রসায়ন : নিত্যানন্দ কুণ্ডু, রাজ্য পুস্তক পর্ষৎ

একক 8 ❑ আণব বর্ণালী ও পদার্থের গঠন

গঠন

4.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

8.2 শোষণ বর্ণালী এবং পদার্থের আণবিক গঠন

8.3 ঘূর্ণন বর্ণালী ও অণুর গঠন

8.3.1 ঘূর্ণন বর্ণালী

8.3.2 দৃঢ় দ্বি-পরমাণুক অণুর ঘূর্ণন বর্ণালী

8.3.3 বন্ধন দৈর্ঘ্য নির্ণয়

8.3.4 ঘূর্ণন শক্তিস্তরের পরিবর্তনের শর্তাবলী

8.3.5 বর্ণালী রেখার প্রাবল্য

8.3.6 অদৃঢ় ঘূর্ণন

8.3.7 অণুতরঙ্গ বর্ণালী বিশ্লেষণ ও পদার্থের আণবিক গঠন

8.4 অবলোহিত তরঙ্গ বর্ণালী

8.4.1. কম্পাঙ্ক বর্ণালীর শর্তাবলী

8.4.2. অসমঞ্জস দোলক ও বর্ণালী

8.4.3 কম্পন এবং ঘূর্ণন

8.4.4 কম্পন-সংখ্যা

8.4.5 কম্পন বর্ণালী ও পদার্থের আণবিক গঠন

8.5 ইলেক্ট্রন বর্ণালী

8.5.1 ইলেকট্রন বর্ণালী শর্তাবলী

8.5.2 ইলেকট্রন শক্তিস্তর মাত্রা পরিবর্তন

8.5.3 অণুর বিযোজন শক্তি

8.5.4 প্রতিপ্রভা এবং অণুপ্রভা

8.5.5 ইলেকট্রনিক বর্ণালী বিশ্লেষণ এবং পদার্থের আণবিক গঠন

8.6 সারাংশ

8.7 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

8.8 উত্তরমালা

8.9 অতিরিক্ত সাহায্যকারী পুস্তকসমূহ

সারণি-1

প্রয়োজনীয় ধ্রুবকের মান

ধ্রুবক	প্রতীক	মান
অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা	N_0	$6.02205 \times 10^{23}\ mol^{-1}$
প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক	h	$6.626 \times 10^{-34}\ Js$
বোলজম্যান ধ্রুবক	K	$1.38 \times 10^{-23}\ JK^{-1}$
আলোর গতি	c	$2.998 \times 10^{8} ms^{-11}$
পারমাণবিক ভর একক	amu	1.66×10^{-27} kg.
ইলেকট্রনের ভর (স্থির)	me	9.10953×10^{-31} kg.
প্রোটোনের ভর (স্থির)	mp	1.67265×10^{-27} kg.
আণব গ্যাসধ্রুবক	R	$8.31441 \times JK^{-1}mol^{-1}$
রিডবার্গ ধ্রুবক	R_{00}	2.179914×10^{-23}J.

সারণি-2

শক্তি এককের রূপান্তর গুণক

J	KJmol^{-1}	ev	au	cm^{-1}	Hz
1	6.022×10^{20}	6.242×10^{18}	2.2939×10^{17}	5.035×10^{22}	1.509×10^{33}
1 KJ. mol^{-1} $= 1.661 \times 10^{-21}$	1	1.036×10^{-2}	3.089×10^{-4}	83.60	2.506×10^{12}
1ev $= 1.602 \times 10^{-19}$	96.48	1	3.675×10^{-5}	8065	2.418×10^{14}
1 au $= 4.359 \times 10^{-18}$	2625	27.21	1	21.95×10^{5}	6.58×10^{15}
1 cm^{-1} $= 1.986 \times 10^{-23}$	1.196×10^{-2}	1.24×10^{-4}	4.556×10^{-6}	1	2.998×10^{10}
1 Hz $= 6.626 \times 10^{-34}$	3.99×10^{-13}	4.136×10^{-15}	1.52×10^{-16}	3.336×10^{-11}	1

8.1 প্রস্তাবনা

আলোকতরঙ্গ বা তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের সঙ্গে পদার্থের ক্রিয়ায় যে পরিমাণ শক্তি শোষিত বা বিকীরিত হয় তাকেই বর্ণালী বিজ্ঞান বলা হয়। পদার্থের অণুর ঘূর্ণনজনিত, কম্পনজনিত এবং ইলেকট্রন শক্তি স্তরজনিত বর্ণালী বিশ্লেষণের মাধ্যমে পদার্থের অণুর জাড্য ভ্রামক, বন্ধন-দৈর্ঘ্য, বন্ধনশক্তি এবং শক্তিস্তরে অণুসংখ্যা সহ পদার্থের আণবিক এবং জ্যামিতিক গঠন জানা সম্ভব। বর্ণালী বিজ্ঞান এই কারণে একবিংশ শতকের পদার্থে এবং রসায়ন বিজ্ঞানে এক বৈপ্লবিক পরিবর্তন সম্ভব করেছে। বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘের তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ পদার্থের অণুতে বিভিন্ন অণুতে বিভিন্ন প্রকার পরিবর্তন সাধন করে। অণু-তঙ্গ আলো অণুর ঘূর্ণনজনিত পরিবর্তন চিহ্নিত করে, অবলোহিত তরঙ্গ অণুর কম্পনজনিত পরিবর্তন চিহ্নিত করে, দৃশ্যমান এবং অতিবেগুনি আলোকরশ্মি পদার্থের অণুর ইলেকট্রন শক্তি স্তরে শোষণ বিকিরণের মাত্রা নির্ধারণ করে। সনাতন পদার্থে বিজ্ঞানের সাহায্যে পদার্থের বর্ণালী বিশ্লেষণ জানা সম্ভব ছিল না। কণায়িত গতিবিজ্ঞান এই অসম্ভবকে সম্ভব করেছে। কণায়িত গতিবিজ্ঞানের স্রোয়েডিঙ্গারের সমীকরণের সাহায্যে ঘূর্ণনজনিত, কম্পনজনিত এবং ইলেক্ট্রন শক্তিস্তর জনিত শোষণ অথবা বিকীরণের যে শক্তি পার্থক্য নির্ণয় করা যায় তার সাহায্যে পদার্থের বন্ধন দৈর্ঘ, রঞ্জনশক্তি থেকে পদার্থের গঠন পর্যন্ত জানা সম্ভব। পদার্থের ঘূর্ণন বর্ণালী, কম্পন বর্ণালী এবং ইলেক্ট্রন বর্ণালী বিশ্লেষণের মাধ্যমে পদার্থের রাসায়নিক এবং জ্যামিতিক গঠনের পরচিয় পাওয়া যায়।

বর্ণালী-বিজ্ঞানের পাঠের উদ্দেশ্য

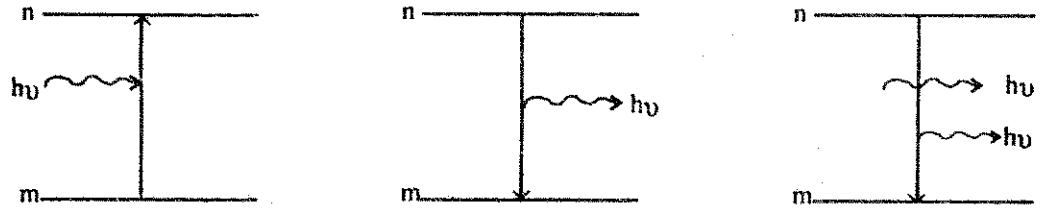
ঘূর্ণন-জনিত শক্তি পরবির্তনের সাহায্যে অণুর জাড্যভ্রামক এবং বন্ধদৈর্ঘ নির্ণয় করা যায়।

কম্পন-জনিত শক্তির পরিবর্তনের সাহায্যে অণুর বন্ধন-শক্তি নির্ণয় করা যায়। বলধ্রুবকের সাহায্যে বন্ধনীয় জড়তা নির্ণয় করা সম্ভব। সর্বোচ্চ কম্পন কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে বিয়োজন শক্তি জানা যায়।

ইলেকট্রন শক্তি স্তর পরিবর্তনের সাহায্যে অণুর গঠন, প্রতিপ্রভা, অণুপ্রভা ব্যাখ্যা করা যায়।

8.2 শোষণ বর্ণালী এবং পদার্থের আণবিক গঠন ঃ

আমরা জানি, বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ বিশিষ্ট আলো শোষিত হলে পদার্থের অণু অথবা ইলেকট্রনের বিভিন্ন শক্তিস্তরে উৎক্রমণ বোঝায়। একে আমরা শোষণ বর্ণালী বা absorption spectroscopy বলি। আবার, বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ বিশিষ্ট আলো বিকীরিত হলে পদার্থের অণু অথবা ইলেকট্রনের শক্তিস্তরে অবনয়ন বোঝায়। একে আমরা বিকীরণ বর্ণালী বীক্ষা বা emission spectroscopy বলি।



চিত্র 8.1

বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘর আলো বিভিন্ন আণবিক প্রক্রিয়া সংগঠিত করে। যেমন, অণুতরঙ্গ দৈর্ঘের আলো অণুর ঘূর্ণনজনিত শক্তিস্তর সম্পর্কে অবহিত করে আবার অবলোহিত তরঙ্গের আলো কম্পনজনিত শক্তিস্তর এবং দৃশ্যমান ও অতিবেগুনি তরঙ্গের আলো ইলেকট্রনের স্তর পরিবর্তন চিহ্নিত করে। নিচের সারণিতে তরঙ্গ দৈর্ঘ এবং শক্তিস্তর পরিবর্তনের প্রক্রিয়া উল্লেখ করা হল ঃ

সারণি-3

তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের অঞ্চল এবং তদ্‌জনিত আণবিক প্রক্রিয়া

তরঙ্গ	কম্পাঙ্ক Hz	তরঙ্গ দৈর্ঘ Cm	তরঙ্গ সংখ্যা cm^{-1}	শক্তি J $molka^{-1}$	আণবিক প্রক্রিয়া
অণুতরঙ্গ	10^9–10^{11}	3×10^{1}–	0.33×10^{-1}–	6.6×10^{-25}	বহু আণবিক
(microwave)		3×10^{-1}	0.33×10^{1}	6.6×10^{-23}	অণুর ঘূর্ণন
দূর অবলোহিত	10^{11}–10^{13}	3×10^{-1}–	0.33×10^{1}–	6.6×10^{-23}–	ক্ষুদ্র অণুর ঘূর্ণন
(far infrared)		0.33×10^{-3}	6.6×10^{-3}	6.6×10^{-21}	
অবলোহিত	10^{13}–10^{15}	3×10^{-3}–	0.33×10^{3}–	6.6×10^{-21}–	অণুর কম্পন
(infrared)		3×10^{-5}	0.33×10^{5}	6.6×10^{-23}	
দৃশ্য এবং	10^{15}–10^{17}	3×10^{-5}–	0.33×10^{5}–	6.6×10^{-23}–	ইলেকট্রন
অতিবেগুনি		3×10^{-7}	0.33×10^{7}	6.6×10^{-25}	স্বর পরিবর্তন
(Visible and UV)					

তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের বর্ণালী বৈশিষ্ট্য সারণিটি থেকে কিছুটা বোঝা যাচ্ছে।অণুতরঙ্গ দৈর্ঘের আলো, দূর অবলোহিত তরঙ্গ দৈর্ঘের আলো অণুর ঘূর্ণনজনিত শক্তিস্তরে উৎক্রমণ বা অবনয়ন বোঝায়; অবলোহিত তরঙ্গ দৈর্ঘ জনিত আলো অণুর কম্পনজনিত শক্তিস্তরে উৎক্রমণ বা অবনয়ন বোঝায়; দৃশ্য বা অতি-বেগুনি আলো ইলেকট্রন শক্তিস্তরে উৎক্রমণ বা অবনমন বোঝায়। বিকীরণের কম্পাঙ্ক নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ

$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\upsilon \quad ....8.2.1$$

E_2 এবং E_1 হল যথাক্রমে উচ্চ শক্তিস্তর এবং নিম্নশক্তিস্তর, υ হল আলোক তরঙ্গের কম্পাঙ্ক; h হল প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক।

10^{10}Hz বিশিষ্ট অণুতরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ, তরঙ্গ সংখ্যা এবং গণনা ঃ

শক্তি নির্ণয় ঃ

কম্পাঙ্ক, $\upsilon = 10^{10}\ Sec^{-1}$

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{c}{\upsilon} = \frac{3\times10^{10}}{10^{10}} = 3$ cm

তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\gamma} = \frac{\upsilon}{c} = \frac{10^{10}}{3\times10^{10}} cm^{-1}$

$$\upsilon = 0.33 cm^{-1} = 33 m^{-1}$$

শক্তিস্তরের পার্থক্য বোঝাতে বর্ণালী বিজ্ঞানে তরঙ্গ-সংখ্যা ব্যবহার করা হয়।

$$\Delta E = h\ \bar{C}\ \gamma$$
$$= (6.626\ 10^{-34} JS)\ (x\ 10^{8} ms^{-1})\ (0.33\ 10^{2}\ m^{-1})$$
$$= 6.6\ 10^{-24} J.$$

শক্তির পরিবর্তনের মান ঘূর্ণনজনিত শক্তির পরিবর্তনের মানের সঙ্গে তুলনীয়। অতএব, এই পরিমাণ শক্তির আলোকতরঙ্গ পাঠালে পদার্থের অণুর ঘূর্ণনজনিত শক্তির পরিবর্তন ঘটবে।

অনুশীলনী—1

1. 10μm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোর কম্পাঙ্ক Hz-এ এবং তরঙ্গসংখ্যা Cm^{-1}-এ নির্ণয় করুন। উৎক্রমণের শক্তি পরিবর্তন নির্ণয় করুন। এই তথ্য থেকে কী ধরনের শক্তিস্তরের পরিবর্তন পাওয়া যাবে?

পদার্থের অণুর শক্তিস্তর পরিবর্তনের সঙ্গে আলোক তরঙ্গের কম্পাঙ্ক সমতুল হলে অথবা বেশি হলে পরিবর্তন সাধিত হবে না হলে নয়। কম্পাঙ্কের সমীকরণটি লেখা যায় :

$$\upsilon = \Delta t/h \qquad \ldots\ldots \quad 8.2.2$$

বর্ণালী শক্তি দিয়ে প্রকাশ করা হয় :

$$\upsilon = \Delta t/hc \qquad \ldots\ldots \quad 8.2.3$$

c হল আলোর গতিবেগ।

অবলোহিত তরঙ্গ বিশিষ্ট আলোর বিকিরণে পদার্থের অণুর কম্পনজনিত শক্তিস্তরের পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়, তেমনই কম শক্তি সম্পন্ন ঘূর্ণনজনিত শক্তিস্তরেরও পরিবর্তন হয়। এই কারণে অবলোহিত বিকিরণ কম্পন-ঘূর্ণনজনিত শক্তি পরিবর্তন সাধন করে।

আবার, দৃশ্য ও অতিবেগুনি আলোর তরঙ্গশক্তি ইলেকট্রন শক্তি স্তরে পরিবর্তন সাধন করার সঙ্গে সঙ্গে পদার্থের অণুর কম্পনজনিত ও ঘূর্ণনজনিত শক্তির পরিবর্তনও সাধন করে।

অনুশীলনী—2

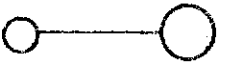
একটি 700 nm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোর বর্ণালী শক্তি তরঙ্গ সংখ্যা কত? এই তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো কি পরিবর্তন সাধন করে?

8.3 ঘূর্ণন বর্ণালী ও অণুর ঘূর্ণন ঃ

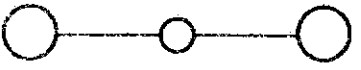
অণু-তরঙ্গ আলোর সাহায্যে পদার্থের অণুর ঘূর্ণন প্রক্রিয়া এবং ঘূর্ণন শক্তি পার্থক্য সম্পর্কে জানা যায়। ত্রিমাত্রিক আণবিক গঠনের ঘূর্ণন প্রক্রিয়ার জটিলতার কথা ভেবে আমরা তিনটি অক্ষে পদার্থের অণুর জাড্য ভ্রামকের কথা আলোচনা করব। তিনটি অক্ষে তিনটি প্রধান জাড্য ভ্রামক বর্তমান। এই তিনটি জাড্য ভ্রামকের মান পদার্থের ঘটন অনুযায়ী নির্ধারিত হবে।

জাড্য ভ্রামকের মান অনুযায়ী। অণুগুলিকে আমরা মোট চারটি ভাগে ভাগ করতে পারে।

(ক) **রৈখিক অণু**—এই অণুগুলিতে পরমাণুসমূহ একই সরলরেখায় আছে। যেমন



HCl



S-C-O

8.2

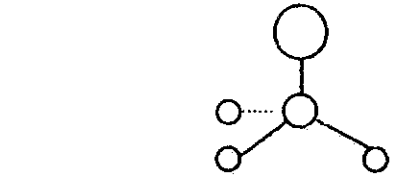
উপরের অণুদুটি HCl এবং OCS, ধ্রুবীয় তাই অণুতরঙ্গ আলোক সক্রিয়। নিচে তিনটি অক্ষের জাড্যভ্রামক আলোচনা করা হয়েছে।

(1) বন্ধনী অক্ষ বরাবর (about the bond axis)-রৈখিক অণুগুলির ক্ষেত্রে বন্ধনী-অক্ষ বরাবর জাড্যভ্রামক শূণ্য অথবা শূণ্যের কাছাকাছি। $I = 0$.

(2) **প্রান্ত-প্রতি প্রান্ত ঘূর্ণন** (end-over-and rotatim)—কাগজের তলে প্রান্ত-প্রতি প্রান্ত এবং কাগজের লম্বতলে প্রান্ত-প্রতিপ্রান্ত ঘূর্ণনের জাড্যভ্রামক সমান। $I_B = I_c$।

অতএব রৈখিক অণুর ক্ষেত্রে $I_B = I_C$, $I_A = 0$।

প্রতিসম অণু—মিথাইল ক্লোরাইড একটি প্রতিসম অণু।



CH_3Cl

○ H–পরমাণু ○ C–পরমাণু ◯ Cl–পরমাণু

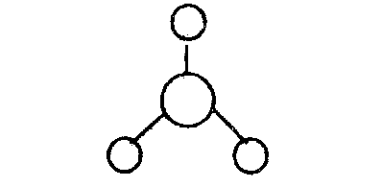
চিত্র 8.3

C–Cl বন্ধনী অক্ষ বরাবর জাড্য ভ্রামক শূণ্য হবে না। $I_A \neq 0$

কাগজের তলে এবং কাগজের লম্ব তলে প্রান্ত-প্রান্ত ঘূর্ণনের জাড্য ভ্রামক সমান হবে।

$I_B = I_C \neq I_A \neq \quad I_a \neq 0$

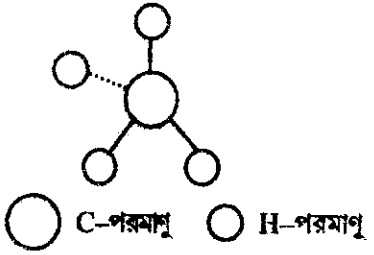
যে সমস্ত অণুর ক্ষেত্রে $I_B = I_C > I_A$ তাদের প্রোলেট (Prolate) প্রতিসম অণু বলে। যেমন, CH_3Cl অণু। আবার, যে সমস্ত অণুর ক্ষেত্রে $I_B = I_C \neq I_a$ তাদের ওবলেট (oblate) প্রতিসম অণু বলে। যেমন, BCl_3 অণু।



○ B–পরমাণু ◯ Cl–পরমাণু

চিত্র 8.4

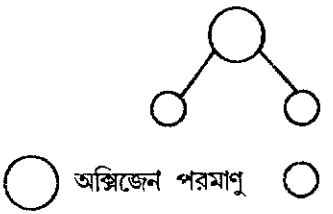
গোলক অণু—এই সমস্ত অণুর ক্ষেত্রে $I_A = I_B = I_C$ উদাহরণস্বরূপ, CH_4 অণু।



◯ C–পরমাণু ○ H–পরমাণু

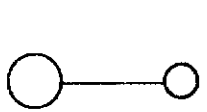
চিত্র 8.5

অপ্রতিসম অণু—যে সমস্ত অণুর কোন প্রতিসাম্য কেন্দ্র নেই সেই সব অণুর ক্ষেত্রে $I_A \neq I_B \neq I_C$। উদাহরণস্বরূপ,



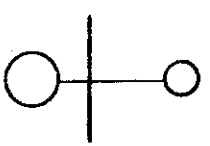
চিত্র 8.6

এই সমস্ত অণু তিনটি প্রধান অক্ষেই অণু-তরঙ্গ আলোক সক্রিয়।



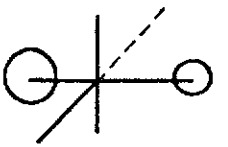
বন্ধনী অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন

8.7



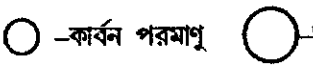
প্রান্ত-প্রতিপ্রান্ত ঘূর্ণন (কাগজ-তলে)

8.8



(প্রান্ত প্রতিপ্রান্ত ঘূর্ণন (কাগজের ⊥ তল)

8.9



8.3.1 ঘূর্ণন বর্ণালী ঃ

অন্যান্য শক্তির মতই ঘূর্ণন শক্তিরও কতকগুলি নির্দিষ্ট মান আছে, এই শক্তির যে কোন মান হতে পারে না। দুটি ঘূর্ণনশক্তির স্তরের মধ্যে শক্তির তফাৎ, $\Delta E = h\upsilon$, যেখানে υ কম্পাঙ্কের তরঙ্গ পদার্থের অণু বিকিরণ করে। ঘূর্ণন শক্তি স্তর একই রকমভাবে তরঙ্গের বিশেষ মানের উপর নির্ভর করে। অণুর ঘূর্ণন শক্তি শ্রোয়েডিঙ্গারের সমীকরণের সাহায্যে গণনা করা সম্ভব।

আমরা এখানে কেবল দৃঢ় দ্বি-আণবিক অণুর ঘূর্ণন শক্তির আলোচনা করব।

8.3.2 দৃঢ় দ্বি-পারমাণুক অণুর ঘূর্ণন বর্ণালী ঃ

দৃঢ় দ্বি-আণবিক অণুর ঘূর্ণনজনিত সক্তি শ্রোয়েডিঙ্গারের সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব। দৃঢ় ঘূর্ণায়মান বস্তুর শক্তি,

$$E = \frac{\lambda^2}{2I} J(J+1) \qquad \ldots\ldots 8.3.1$$

$\lambda = \frac{h}{2\lambda}$, h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক,

I = জাড্যভ্রামক

J = ঘূর্ণক কোয়ান্টাম সংখ্যা $E = \frac{h^2}{8\lambda^2 I} J(J+1)$ 8.3.2

শক্তি তরঙ্গ সংখ্যায় প্রকাশ করলে, $\nu = \frac{h}{8\lambda^2 IC} J(J+1)$ 8.3.3

$$\frac{h}{8\lambda^2 IC} = \text{ধ্রুবক।}$$

এই ধ্রুবকটি, $\frac{h}{8\lambda^2 IC}$ কে ঘূর্ণন ধ্রুবক বা B বলা হয়।

$$\upsilon = BJ\ (J+1) \qquad \text{..... 8.3.4}$$

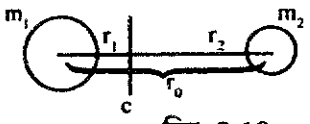
কোন পদার্থের ঘূর্ণনজনিত বর্ণালীর মাধ্যমে ঘূর্ণনরেখার মধ্যে দূরত্ব জানা থাকলে অর্থাৎ B জানা থাকলে পদার্থের জাড্য ভ্রামক এবং এই ভ্রামকের মান থেকে পদার্থের অণুর বন্ধন দৈর্ঘ নির্ণয় করা যায়।

দ্বি-আণবিক পদার্থের ক্ষেত্রে, জাড্য-ভ্রামক

$$I = \mu r^2 \qquad \text{..... 8.3.5}$$

μ হল অণুর সমানীত ভর (reduced man), r_o হ'ল দুটি পরমাণুর মধ্যে সাম্য-দূরত্ব।

অণুর সমানীত ভর গণনা করা যায় যদি আমরা নিচের চিত্রটির দিকে তাকাই। (চিত্র 8.10) দৃঢ় দ্বি-আণবিক অণুর বন্ধনী দৈর্ঘ বা সাম্য দূরত্ব, r_o। m_1 এবং m_2 হ'ল এই দুটি পরমাণুর ভর। c হ'ল ভরকেন্দ্র।



চিত্র 8.10

তাহ'লে, $m_1 n_1 = m_2 n_2$.

অণুটির মোট ভ্রামক,

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$$

$$I = m_2 r_2\ r_1 + m_1 r_1 r_2$$

$$I = r_1 r_2 (m_1 + m_2)$$

আবার, $m_1 r_1 = m_2 r_2 = m_2 (r_0 - r_0)$

$$r_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} r_0$$

অনুরূপভাবে, $r_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} r_0$

অথবা, $I = \mu r_0^2$ 8.3.6

যেখানে μ সমানীত ভর এবং $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ 8.3.7

পদার্থের অণুর জাড্য-ভ্রামক জানা থাকলে বন্ধন দৈর্ঘ গণনা করা সম্ভব।

শক্তির পরিবর্তন, $\Delta E = \frac{h^2}{8\lambda^2 I} J(J+1)$

বা, $hc\bar{\nu} = \frac{h^2}{8\lambda^2 IC} J(J+1)$

বা, $\bar{\nu} = \frac{h^2}{8\lambda^2 IC} J(J+1)$ 8.3.8

আবার, $\nu = BJ(J+1)$ ..... 8.3.9 $B = \frac{h}{8\lambda^2 IC}$ 8.3.10

ঘূর্ণন বর্ণালী থেকে ঘূর্ণন ধ্রুবক পাওয়া গেলে সহজেই জাত্য-ভ্রামক নির্ণয় করা সম্ভব।

$I = \frac{h}{8\lambda^2 BC}$ 8.3.11

আবার, $\mu r_0^2 = \frac{h}{8\lambda^2 BC}$

অর্থাৎ, $r_0 = \sqrt{\frac{h}{8\lambda^2 \mu c}}$ 8.3.12

উপরের সমীকরণটি থেকে সহজেই r_0 বা বন্ধনী দৈর্ঘ পাওয়া যায়।

যদি ঘূর্ণন স্তর পরিবর্তিত হয় J J'।

তাহ'লে ঘূর্ণন শক্তিস্তরের পার্থক্য গণনা করলে,

$\Delta\nu = BJ'(J'+1) - BJ(J+1)$ 8.3.13

এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, কোন্ স্তর থেকে কোন্ স্তরে উন্নীত হবে বা অবনত হবে তা নির্বাচন সূত্র বা Selection rules দ্বারা নির্ধারিত হয়। ঘূর্ণন শক্তি স্তরের পরিবর্তনে Selection rule হল $\Delta J = \pm 1$।

$\Delta\nu = B[(J'^2 - J^2) + (J' - J)]$

$= B(J' - J) + [J' + J + 1]$

$= 2B\,(J + 1)\ cm^{-1}$ $\Delta J = J' - J = +1$ 8.3.14

অতএব, $J = 0$ থেকে $J = 1$ উৎক্রমণে,

$\Delta\nu = 2B$ 8.3.15

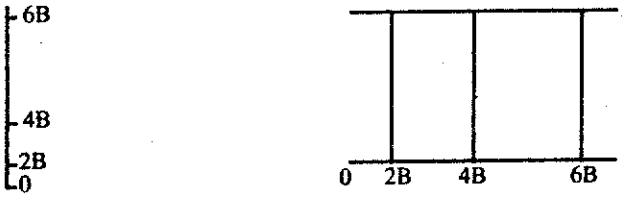
$J = 0\ 1$ থেকে $J = 2$ উৎক্রমণে,

$\Delta\nu = 4B$ 8.3.16

$J = 2$ থেকে $J = 3$ উৎক্রমণে

$\Delta\nu = 6B$ 8.3.17

দৃঢ় দ্বি-আণবিক বন্ধনীর ক্ষেত্রে বর্ণালী রেখ হবে নিম্নরূপ ঃ



চিত্র 8.11

8.3.3 (2) বন্ধনী-দৈর্ঘ নির্ণয়

অণুতরঙ্গ আলোর পদার্থের অণুর ঘূর্ণন-জনিত শক্তি থেকে বন্ধনী-দৈর্ঘ নির্ণয় করা সম্ভব। নিচের উদাহরণের সাহায্যে বন্ধনী দৈর্ঘ কী করে নির্ণয় করা যায় তা দেখানো হয়েছে।

ঘূর্ণন বর্ণালীর সাহায্যে CO-এর প্রথম বর্ণালী রেখা হ'ল 3.84235 cm^{-1}। CO-এর বন্ধনী দৈর্ঘ নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ণয় করা যায়।

CO-এর প্রথম বর্ণালী রেখা $3.84235cm^{-1}$ অর্থাৎ, ঘূর্ণন বর্ণালীর উৎক্রমণ $J = 0$ থেকে $J = 1$।

$J = 0$ $J = 1$ উৎক্রমণে তরঙ্গসংখ্যা অনুযায়ী শক্তির পরিবর্তন ঃ

$\Delta\nu = 2B = 3.84235cm^{-1}$

$B = 1.92175cm^{-1} = 192.175m^{-1}$

জাড্য-ভ্রামক ঃ $I_{co} = \frac{h}{8\lambda^2 BC}$

$$I_{CO} = \frac{6.627\times10^{-34}}{8\times(3.14)^2\times192.175\times3\times10^8} Kgm^2$$

$$I_{co} = 1.4573\times10^{-46} Kgm^2$$

$$I_{CO} = 14\cdot573\times10^{-47} Kgm^2$$

$$I_{co} = \mu r_0^2$$

$$r_0 = \sqrt{I_{CO}/\mu}$$

$$\mu_{CO} = \frac{m_c m_O}{m_c + m_O}$$

$m_c = 12.0$ $m_O = 16.0$; a.m.u = 1.67343×10^{-27}Kg

$$\mu = \frac{12\times16}{12+16}\times1.67343\times10^{-27} kg$$

$$\mu = 11.475\times10^{-27} kg.$$

$$r_o = \sqrt{I_{CO}/\mu}$$

$$r_o = \sqrt{\frac{14.573\times10^{-47}}{11.475\times10^{-27}} m}$$

$$r_o = 1.127\times10^{-10} m$$

$$r_o = 0.1127 nm = 112.7 pm$$

অর্থাৎ, ঘূর্ণন বর্ণালীর তথ্য থেকে CO অণুর বন্ধনী-দৈর্ঘ্য হবে 112.7

অনুশীলনী—3

1. $^1H^{35}Cl$-এর অণু-তরঙ্গ ঘূর্ণন বর্ণালী রেখার ব্যবধান 6.35 10^{11} Hz। ঘূর্ণন-ধ্রুবক B-এর মান তরঙ্গ সংখ্যায় এবং মেগা হার্ডসে প্রকাশ করুন।

2. $39_k 127_I$-এর অণু-তরঙ্গ ঘূর্ণন বর্ণালী রেখার ব্যবধান 3634 MHZ। $39_k 129_I$-এর অণুর বন্ধনী দৈর্ঘ নির্ণয় করুন।

8.3.4 ঘূর্ণন শক্তিস্তরের পরিবর্তনের শর্তাবলী ঃ

ঘূর্ণন শক্তি স্তরের পরিবর্তনের শর্তাবলী হ'ল ঃ

(i) অণু স্থায়ী দ্বি-মেরু ভ্রামক হ'তে হবে; এবং

(ii) উৎক্রমণের নির্বাচন সূত্র ঃ ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যার পার্থক $\Delta J = \pm 1$ হতে হবে।

$\Delta J = +1$ মানে শোষণ বর্ণালী আর $\Delta J = -1$ হ'ল বিকিরণ বর্ণালী।

শোষণ বর্ণালীর শক্তি পরিবর্তন ঃ

$$\Delta E = E_{J+1} - E_J$$

$$\Delta E = \frac{h^2}{8\lambda^2 I}(J+1)(J+2) - \frac{h^2}{8\lambda^2 I}J(J+1) \quad \text{..... 8.3.18}$$

$$\Delta E = \frac{h^2}{8\lambda^2 I}(J+1) \quad \text{..... 8.3.19}$$

$$\Delta E = \frac{\lambda^2}{I}(J+1) \quad J = 0,\ 1,\ 2 \quad \text{..... 8.3.20}$$

শক্তির এই পরিবর্তনকে Joule-এ প্রকাশ করা হয়।

সাধারণ বর্ণালী শক্তিস্তর তরঙ্গ সংখ্যার প্রকাশ করা হয়। কম্পাঙ্ক γ বিশিষ্ট আলোকতরঙ্গের শক্তি $\Delta E = h\gamma$

কম্পাঙ্ক তরঙ্গ সংখ্যায় প্রকাশ করলে, $\gamma = \frac{\gamma}{c}$

তাহলে, $\Delta E = hc\gamma$

8.3.18 সমীকরণ থেকে পাই,

$$hc\gamma = \frac{h^2}{8\lambda^2 IC}(J+1)(J+2) - \frac{h^2}{8\lambda^2 I}J(J+1)$$

$$\gamma = \frac{h}{8\lambda^2 IC}(J+1)(J+2) - \frac{h}{8\lambda^2 IC}J(J+1)$$

$\frac{h}{8\lambda^2 IC} = B$ অথবা ঘূর্ণন ধ্রুবক বলা হয়।

$$\gamma = B(J+1)(J+2) - BJ(J+1)$$

$$\gamma = 2B\ (J+1) \quad \text{..... 8.3.22}$$

শক্তিকে তরঙ্গসংখ্যায় সাধারণ Cm^{-1}-এ প্রকাশ করা হয়। বর্ণালী বিজ্ঞানে শক্তিস্তরের পার্থক্য আমরা তরঙ্গ সংখ্যায় প্রকাশ করি।

যে সমস্ত অণু দ্বি-মেরু ভ্রামক নয় তাদের অণু-তরঙ্গ আলোয় ঘূর্ণন বর্ণালী পাওয়া যাবে না। যেমন, দ্বি-পারমাণবিক অণু—H_2, N_2, O_2 প্রভৃতি। আবার, অণু-তরঙ্গ আলোয় ঘূর্ণন বর্ণালী পাওয়া যাবে না রৈখিক মধ্য প্রতিসম অণুর যেমন, CO_2, NO_2, প্রভৃতি। কিন্তু, কৌণিক অণুর ক্ষেত্রে অণু-তরঙ্গ বর্ণালী পাওয়া যাবে যেমন, H_2, SO_2 প্রভৃতি।

8.3.5 বর্ণালী রেখার প্রাবল্য ঃ

বর্ণালী রেখার আপেক্ষিক প্রাবল্য বিভিন্ন ঘূর্ণন স্তরের অণু-সংখ্যার উপর নির্ভর করবে। বিভিন্ন ঘূর্ণন স্তরের অণুসংখ্যার অনুপাত বোলৎজম্যান সূত্রানুযায়ী ঃ

$$\frac{n_j}{n_o} = e^{-E_j/\eta} \qquad \ldots\ldots \qquad 8.3.23$$

n_j এবং n_o হল j ঘূর্ণন স্তর এবং $J = 0$ ঘূর্ণন স্তরে অণু-সংখ্যা, E_j হল j ঘূর্ণন স্তরে অণু-সংখ্যা, E_j হল j ঘূর্ণন স্তরের শক্তি।

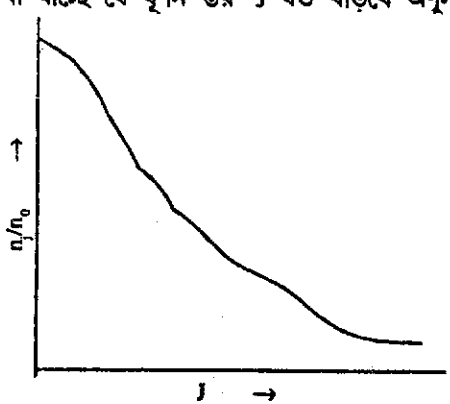
$$E_j = \frac{h^2}{8\lambda^2 I} J(J+1)$$

$$E_j = Bhc\ J(J+1) \qquad \ldots\ldots \qquad 8.3.24$$

যেখানে, ঘূর্ণন-ধ্রুবক, $B = \frac{h}{8\lambda^2 IC}$

তাহলে, $$\frac{n_j}{n_o} = e^{-BhcJ(J+1)/RT} \qquad \ldots\ldots \qquad 8.3.25$$

উপরের সমীকরণ 8.25 থেকে দেখা যাচ্ছে যে ঘূর্ণন স্তর J যত বাড়বে অণুসংখ্যা প্রাবল্য তত কমবে।



চিত্র 8.12

আবার উষ্ণতা যত বাড়বে সর্বনিম্ন ঘূর্ণন স্তরের, $J = 0$, অণু-সংখ্যা সর্বোচ্চ ঘূর্ণন স্তরের, J, অণু-সংখ্যার সমান হবে। অর্থাৎ, সর্বনিম্ন স্তর থেকে অণু সর্বোচ্চ স্তরে উন্নীত হবে।

অণু-সংখ্যা প্রাবল্য বনাম ঘূর্ণন স্তরের লেখচিত্র (চিত্র 8.12) থেকে দেখা যাচ্ছে যে, অণু-সংখ্যা প্রাবল্য ঘূর্ণন স্তরের সঙ্গে ঘাতাঙ্কে (exponentially) কমছে।

অণুসংখ্যা প্রাবল্য শক্তি স্তরের পরও বা dengeneracy) নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ণয় করা যায় ঃ

একটি ঘূর্ণকের ঘূর্ণন শক্তি $E=\frac{1}{2}I\omega^2$

যদি ω কৌণিক গতিবেগ হয় আর I জাড্য-ভ্রামণ হয়।

অর্থাৎ, $2EI = I^2\omega^2$

$$I\omega = \sqrt{2EI}$$

কৌণিক ভরবেগ, $\vec{P}=I\omega=\sqrt{2EI}$ 8.3.26

বা, $$\vec{P}=\sqrt{2\frac{h}{8\lambda^2 I}IJ(J+I)}$$

$$\vec{P}=\frac{h}{2\lambda}\sqrt{J(J+1)}$$

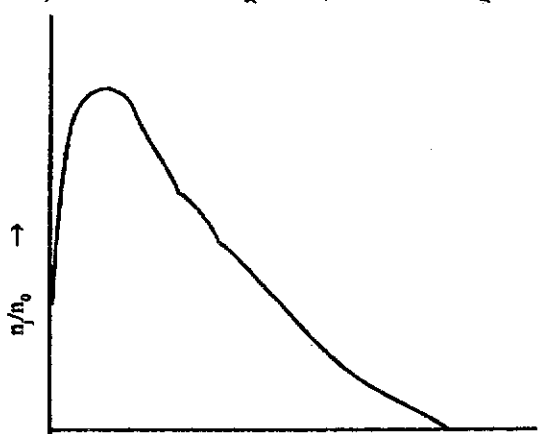
$\vec{P}=\sqrt{J(J+1)}$ $\hbar$এককে 3.27

তাহ'লে প্রতি শক্তিস্তরের পরত বা degeneracy হ'ল (2J + 1)। অর্থাৎ, J = 1 হ'লে তিনটি পরত, J = 2 হ'লে পাঁচটি পরত, প্রভৃতি।

অণুসংখ্যা প্রাবল্য, $\frac{n_j}{n_o}=(2J+1)e^{-Ej/Rt}$ 8.3.28

$$\frac{n_j}{n_o}=(2J+1)e^{BhcJ(J+1)/RT}$$ 8.5.29

উপরের সমীকরণ (8.29) থেকে আমরা অণুসংখ্যা প্রাবল্য বনাম ঘূর্ণন স্তরের লেখচিত্র আঁকলে পাই ঃ



চিত্র 8.13

লেখচিত্রে ঘূর্ণনস্তর বৃদ্ধির সঙ্গে অণুসংখ্যা প্রাবল্য বৃদ্ধি পাবে কারণ (n_j/n_o) (2J + 1)-এর সমানুপাতিক।

আবার, (n_j/n_o) ঘাতাঙ্কের সঙ্গে সমানুপাতিক ব'লে পরবর্তীকালে অণুসংখ্যা প্রাবল্য কমবে।

কোন্ ঘূর্ণনস্তরে অণুসংক্যা সর্বোচ্চ হবে তা 8.8.8.29-এ সমীকরণটি থেকে নির্ণয় করা যায়।

অণুসংখ্যা, $$\frac{n_j}{n_o} = P = (2J+1)e^{-BhcJ(J+1)/RT}$$

$$\frac{\partial P}{\partial J} = 2e^{-BhcJ(J+1)/RT} - (2J+1)^2 \frac{Bhc}{RT} e^{-BhcJ(J+1)/RT}$$

সর্বোচ্চ সংখ্যার শর্তানুযায়ী, $\frac{\partial P}{\partial J} = 0$

$$(2J+1)^2 \frac{Bhc}{RT} = 2$$

$$2J + 1 = \sqrt{\frac{2RT}{Bhc}}$$

সর্বোচ্চ, ঘূর্ণনস্তর, $$J = \sqrt{\frac{2RT}{Bhc}} - \frac{1}{2} \quad \ldots\ldots \quad 8.3.30$$

6.3.6. অদৃঢ় ঘূর্ণক ঃ

আদর্শ অবস্থায় ঘূর্ণকের বন্ধন দৃঢ় ধ'রে নেওয়া হয়। সাধারণত অণুর বন্ধন অদৃঢ় এবং ঘূর্ণকে অণু-বন্ধনে বিকৃতিও দেখা যায়। অতএব, বর্ণালী বিশ্লেষণে অদৃঢ় বন্ধনের জন্য শক্তিস্তরের ব্যবধানের মান পরিবর্তিত হয়। স্রোয়েডিঙ্গারের সমীকরণ সমাধান করলে ঘূর্ণন শক্তিস্তরের মান পাওয়া যায় ঃ

$$E_j = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1) - \frac{h^4}{32\pi^4 I^2 r^2 k} J^2(J+1)^2$$

$$hc\nu_j \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1) - \frac{h^4}{32\pi^4 I^2 r^2 R} J^2(J+1)^2 \quad \ldots\ldots \quad 8.3.31$$

$$\bar{\nu}_j = \frac{h}{8\pi^2 IC} J(J+1) - \frac{h^3}{32\pi^4 I^2 r^2 R} J^2(J+1)^2 \ cm^{-2}$$

$$B = \frac{h}{8\pi^2 IC} \quad ; \quad D = \frac{h^3}{32\pi^4 I^2 r^2 RC}$$

$$\nu_j = BJ(J+1) - DJ^2(J+1)^2 \ cm^{-1} \ldots\ldots \quad 8.3.32$$

অর্থাৎ, শক্তিস্তরের ব্যবধান ঃ

$$\Delta\nu_j = 2B(J+1) - 4D(J+1)^3 \quad \ldots\ldots \quad 8.3.33$$

$J = 0 \rightarrow J = 1$ উৎক্রমণে,

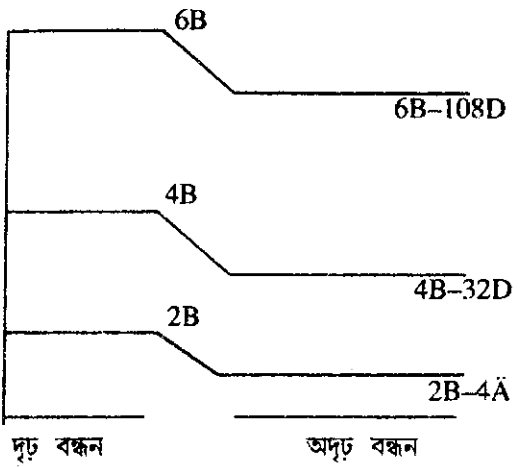
$$\Delta\nu_j = 2B - 4D \quad \ldots\ldots \quad 8.3.34$$

$J = 1 \rightarrow J = 2$ উৎক্রমণে,

$$\Delta\nu_j = 4B - 32D \quad \ldots\ldots \quad 8.3.35$$

$J = 2 \rightarrow J = 3$ উৎক্রমণে,

$$\Delta\nu_j = 6B - 108D \quad \ldots\ldots \quad 8.3.36$$



চিত্র 8.14

8.3.7 অণু তরঙ্গ বর্ণালী বিশ্লেষণ ও পদার্থের আণবিক গঠন ঃ

অণু-তরঙ্গ বর্ণালী বিশ্লেষণের দ্বারা পদার্থের আণবিক গঠনের যে দিকগুলি জানা যায় সেগুলি হ'ল ঃ

(i) পদার্থে সমস্থানিকের উপস্থিতি;

(ii) সমাবয়বের উপস্থিতি;

(iii) পদার্থের মিশ্রণ বিশ্লেষণ; এবং

(iv) পদার্থের অণুর বন্ধনী দৈর্ঘ।

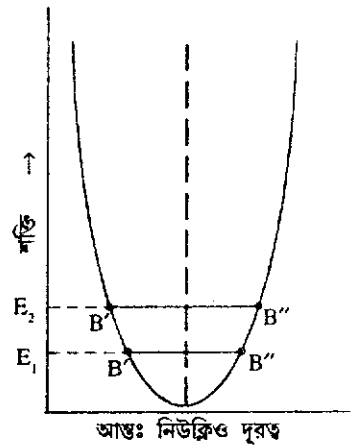
অনুশীলনী—3

1. $H^{35}Cl$-অণুর বর্ণালী রেখার ব্যবধান 6.35×10^{11} Hz। $H^{35}Cl$ অণুর বন্ধনী দৈর্ঘ গণনা করুন।

2. J = 10 ঘূর্ণনস্তরে $23Na^{35}Cl$ অণু প্রতি সেকেন্ডে কতবার ঘুরবে? $^{23}Na\ ^{35}Cl$ অণুর ঘূর্ণন ধ্রুবক 6500 MH_2।

8.4 অবলোহিত তরঙ্গ বর্ণালি

আমরা দৃঢ় বন্ধনীর ঘূর্ণন বর্ণালী আলোচনা করার সময় অণুর বন্ধনীর নমনীয়তা আলোচনা করিনি। অণু বন্ধনী বাস্তবে নমনীয় এবং বন্ধনীর সাম্য অবস্থানের সাপেক্ষে কম্পমান। যখন দুটি পরমাণু যুক্ত হয় তাদের মধ্যে যেমন আকর্ষণজনিত শক্তি থাকে, তেমন বিকর্ষণ শক্তিও থাকে। ইলেকট্রন-নিউক্লিয়াস আকর্ষণজনিত শক্তি এবং ইলেকট্রন-ইলেকট্রন ও নিউক্লিয়াস-নিউক্লিয়াস আকর্ষণজনিত শক্তি এবং ইলেকট্রন-ইলেকট্রন ও নিউক্লিয়াস-



চিত্র 8.15

নিউক্লিয়াস বিকর্ষণজনিত শক্তি সম্পর্কে আমরা অবহিত। আকর্ষণজনিত ও বিকর্ষণজনিত শক্তির সাম্য বজায় রেখে এবং সর্বনিম্ন শক্তি অবস্থানে দুটি পরমাণুর মধ্যে যে সাম্য দূরত্ব প্রতিষ্ঠিত হয় তাকে বন্ধনী দূরত্ব বলা হয়। এই বন্ধনী গঠনের অনেক মধ্যবর্তী অবস্থানে আছে। যেখানে বন্ধনীর সঙ্কোচন ও সম্প্রসারণ হয়। এর ফলে অণুর কম্পন সৃষ্টি হয়। অণুর কম্পাঙ্ক যদি আলোক তরঙ্গের কম্পাঙ্কের সঙ্গে সমান অথবা কম হয়, তাহলে অণু কম্পাঙ্ক বর্ণালী প্রদর্শন করবে।

অণু বন্ধনী সঙ্কোচন বেশি হলে বিকর্ষণজনিত শক্তি বেশি হবে, প্রসারণ বেশি হলে আকর্ষণজনিত শক্তি বেশি হবে। শক্তি বলাস আন্তঃনিউক্লিও দূরত্বের লেখচিত্র অধিবৃত্তাকার হবে, যদি আমরা ধরে নিই অণুর কম্পন

সরলদোলক গতিসম্পন্ন। সরল দোলকের কম্পন শক্তির লেখচিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে কম্পনশক্তি বৃদ্ধি পেলে বিস্তার বৃদ্ধি পায়, কিন্তু কম্পাঙ্ক-অপরিবর্তিত থাকে। অণু-বন্ধনী স্প্রিং-এর ন্যায় কাজ করে বলে হুকের সূত্র Hooke's Las) মেনে চলে।

অণুবন্ধনী পূর্বাবস্থায় ফিরিয়ে আনার শক্তি,

$$F = -K(r - r_e)$$

r এবং r_e হল আন্তঃনিউক্লীয় দূরত্ব এবং সাম্য দূরত্ব। R হল বল-ধ্রুবক। সরল দোলকেরগতি সম্পন্ন বস্তুর শক্তি;

$$E = \frac{1}{2}K\ (r - r_e)^2$$

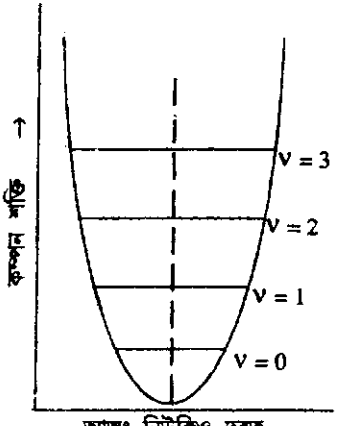
স্থিতিস্থাপক বন্ধনীর কম্পাঙ্ক অণুর ভরের উপর নির্ভরশীল।

$$\omega_{osc} = \frac{1}{2\lambda}\sqrt{\frac{K}{\mu}} \qquad \text{..... 8.4.1}$$

তরঙ্গ-সংখ্যায় প্রকাশ করলে $\omega_{osc} = \frac{1}{2\lambda C}\sqrt{\frac{K}{\mu}}$ 8.4.2

অন্যান্য শক্তির মতই কম্পন শক্তি ও কোয়ান্টীকৃত। কম্পন শক্তির মাত্রা,

$$E_v = \left(v + \frac{1}{2}\right)\frac{1}{2}h\omega_{osc} \text{ Joules} \qquad \text{..... 8.4.3}$$



চিত্র 8.16

v হল কম্পন কোয়ান্টাম সংখ্যা। কম্পনশক্তি কখনও শূণ্য হবে না, শূণ্যাঙ্ক শক্তিতে (Zero point energy)

$$E_o = \frac{1}{2} h\omega_{osc} \quad \text{Joules} \quad \ldots\ldots 8.4.4$$

কম্পন শক্তিকে বর্ণালী শক্তিতে পরিণত করলে,

$$E_v = \frac{Ev}{hc} = (v + \frac{1}{2}) \frac{w}{c} osc = \left(v + \frac{1}{2}\right) \omega_{osc} cm^{-1} \quad \ldots\ldots 8.4.5$$

$$E_o = \frac{1}{2} \omega_{osc} cm^{-1} \quad \ldots\ldots 8.4.6$$

শূণ্যাঙ্ক শক্তির মান $\frac{1}{2} \varpi_{osc}$ অতএব, অণু কখনও স্থির থাকবে না, সবসময়েই অণুর কম্পন বর্তমান থাকবে।

8.4.1 কম্পাঙ্ক বর্ণালীর শর্তাবলি ঃ

কম্পাঙ্ক বর্ণালীর শর্তাবলী হল ঃ

(i) কম্পনে অণুর দ্বি-মেরু ভ্রামক পরিবর্তিত হতে হবে;

(ii) কম্পন শক্তিস্তরের উৎক্রমণ বা অধক্রমণে নির্বাচন সূত্র $\Delta v = \pm 1$ হবে।

তরঙ্গ সংখ্যার কম্পাঙ্ক বর্ণালীর শক্তির পরিবর্তন নিম্নরূপ ঃ

শোষণ বর্ণালী ঃ $E_{v+1} - E_v = \left(v + 1\frac{1}{2}\right) \varpi_{osc} - \left(v + \frac{1}{2}\right) \varpi_{osc}$

$$E_v \rightarrow v + 1 = \varpi_{osc} cm^{-1}$$

বিকিরণ বর্ণালী ঃ $E_v + 1 \rightarrow v = \varpi_{osc} cm^{-1}$

8.4.2 অসমঞ্জস দোলক ও বর্ণালী (anharmonic oscillator & spectra)

বাস্তবে অণুগুলি সরল দোরক নয়। কম্পন শক্তির একটি বিশেষ স্তরের পর অণুবন্ধনীর বিয়োজন হয়, যা সরল দোলক হলে হত না। অণুগুলির বন্ধনীর সঙ্কোচন বা প্রসারণে কম্পাঙ্ক ও স্থির থাকে না। অণুর বন্ধনী প্রসারিত হয়ে এমন একটি পর্য্যায় পৌঁছোয় যখন বন্ধন ছিন্ন হয়ে যায়। তরঙ্গ সংখ্যায় শক্তি গণনা করলে পাওয়া যায় ঃ

$$E_v = \left(v + \frac{1}{2}\right) \varpi_e - \left(v + \frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e cm^{-1} \quad \ldots\ldots \quad 8.4.7$$

$(v = o.\ 1,\ 2,\ \ldots\ldots)$

x_e হল anharmonicity বা অসমঞ্জস দোলন ধ্রুবক।

বন্ধনী প্রসারণ যত বাড়বে x_e -র মান তত কমবে। অর্থাৎ, কম্পাঙ্ক শক্তির উপরের দিকে ঘূর্ণন স্তরের ব্যবধান কমবে। তরঙ্গ সংখ্যায় সাম্য-কম্পাঙ্ক, ϖ_{osc}, এবং দোলন কম্পাঙ্ক ϖ_{osc} সমান হবে যদি $v=\frac{-1}{2}$ হয়।

$$E_v=\left\{1-\left(v+\frac{1}{2}\right)x_e\right\}\varpi_e\left(v+\frac{1}{2}\right)$$

$v=0$ কম্পাঙ্ক স্তরে, অসমঞ্জস দোলকের শূণ্যাঙ্ক শক্তি, $E_o=\frac{1}{2}\varpi_e\left(1-\frac{1}{2}x_e\right)$ 8.4.8

আবার, $E_v=\left(v+\frac{1}{2}\right)\varpi_{osc}$

সরল দোলকের শূণ্যাঙ্ক শক্তি, $E_o=\frac{1}{2}\varpi_{osc}$

$$\varpi_{osc}=\varpi_e\left\{1-\left(v+\frac{1}{2}\right)x_e\right\} \qquad \text{.....} \qquad 8.4.40$$

$v=-\frac{1}{2}$ হলে $\varpi_{osc}=\varpi_e$ অর্থাৎ ϖ_e, অর্থাৎ ϖ_eকে

আমরা আদর্শ-সাম্য কম্পাঙ্ক বলি। যদিও কম্পন কোয়ান্টাম সংখ্যা কখনও $(-\frac{1}{2})$ হতে পারে না।

শূণ্যাঙ্ক শক্তিতে তরঙ্গসংখ্যা, $\varpi_{osc}=\varpi_e\left(1-\frac{1}{2}x_e\right)Cm^{-1}$

$$\varepsilon_o=\frac{1}{2}\varpi_e\left(1-\frac{1}{2}x_e\right).Cm^{-1}$$

অসমঞ্জস দোলকের ক্ষেত্রে কম্পন স্তরের নির্বাচন সূত্র, $\Delta v=\pm1, \pm2, \pm3, ...$ সাধারণত, ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যার অন্তর $\Delta v=\pm1, \pm2,$ এবং ±3 -এর মধ্যে থাকলেও $v=0\rightarrow1$, $v=0\rightarrow2$ এবং $v=0\rightarrow3$এর মধ্যে হয়। অর্থাৎ, $v=1\rightarrow3$, $v=2\rightarrow4$ ইত্যাদি উৎক্রমণ খুবই কম হবে। কারণ $v = 1, 2, ...$ স্তরে অণুসংখ্যা কম থাকবে।

প্রথম ক্ষেত্র, $v=0\rightarrow1$ হলে

$$\Delta\varepsilon=\varepsilon_{v=1}-\varepsilon_{v=0}$$

$$\Delta\varepsilon=\left(1+\frac{1}{2}\right)\varpi_e-\left(1+\frac{1}{2}\right)^2\varpi_e x_e-\frac{1}{2}\varpi_e+\frac{1}{4}\varpi_e x_e$$

$$\Delta\varepsilon = \varpi_e(1-2x_e).Cm^{-1} \quad \ldots\ldots \quad 8.4.10$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $v=0\rightarrow 2$ হলে

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{v=2} - \varepsilon_{v=0}$$

$$\Delta\varepsilon = \left(2+\frac{1}{2}\right)\varpi_e - \left(2+\frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e - \frac{1}{2}\varpi_e + \frac{1}{4}\varpi_e x_e$$

$$\Delta\varepsilon = 2\varpi_e - 6\varpi_2 x_2$$

$$\Delta\varepsilon = (1-3x_x)Cm^{-1} \quad \ldots\ldots \quad 8.4.11$$

$v=0\rightarrow 3$ হলে

$$\Delta\varepsilon = \left(3+\frac{1}{2}\right)\varpi_e^{*} - \left(3+\frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e - \frac{1}{2}\varpi_e + \frac{1}{4}\varpi_e x_e$$

$$= 3\varpi_e - 12\varpi_e x_e$$

$$= 3\varpi_e(1-4x_e)cm^{-1}$$

$v = 0$ স্তরে অণুসংখ্যা সর্বোচ্চ। অতএব, $v=0\rightarrow 1$ স্তরের উৎক্রমণে অণু প্রাবল্য সবচেয়ে বেশি। $v=0\rightarrow 1$ স্তরের উৎক্রমণকে মৌল কম্পন বা fundamental vibration বলে।

$v=0\rightarrow 2$ এবং $v=0\rightarrow 3$ স্তরের উৎক্রমণে প্রাবল্য অনেক কম। এই দুই স্তরের উৎক্রমণ ক্ষীণ হয়। এই স্তরের উৎকর্মণকে গৌণ কম্পন বা ovetone বলে। $v=0\rightarrow 2$ কম্পক স্তরের উৎক্রমণকে প্রথম গৌণ কম্পন বা First overtone বলে। দ্বিতীয় গৌণ কম্পন প্রথম গৌণকম্পনের চেয়ে আরও ক্ষীণ হবে।

HCl অণুর কম্পন বর্ণালী বিশ্লেষণ করলে $2886cm^{-1}$ তরঙ্গ সংখ্যায় তীব্র শোষণ, $5668cm^{-1}$ তরঙ্গসংখ্যায় দুর্বল শোষণ এবং $8347cm^{-1}$ তরঙ্গসংখ্যায় দুর্বলতর শোষণ বর্ণালি দেখা যায়।

তাহলে $v=0\rightarrow 1\ \Delta\varepsilon = \varpi e(1-2x_e) = 2886cm^{-1}$

$v=0\rightarrow 2\ \Delta\varepsilon = 2\varpi e(1-3x_e) = 5668cm^{-1}$

$v=0\rightarrow 3\ \Delta\varepsilon = 3\varpi e(1-4x_e) = 8347cm^{-1}$

সমীকরণ 8.41, 8.42 এবং 8.43 থেকে পাওয়া যায়

$\varpi_e = 2990\ Cm^{-1}$

$x_e = 0.0174$

HCl অণুর বল – ধ্রুবক বা force anstant-এর মান

$$R = 4\pi^2 \varpi_c^2 C^2 \mu$$

$$R = 4 \times (3.14)^2 \times (2990 \times 10^2)^2 \times (3 \times 10^8)^2 \times 1.62 \times 10^{27}\ Nm^{-1}$$

$$R = 514\ Nm^{-1}$$

অণুসংখ্যার প্রাবল্য ঃ বোলৎজম্যান বণ্টন সূত্র অনুযায়ী

অণুসংখ্যার প্রাবল্য ঃ $\frac{n_v}{n_0} = e^{-ev/RT}$ 8.4.13

$$\frac{n_v}{n_0} = e^{-hc\varpi_{osc}/RT} \quad \text{.....} \quad 8.4.14$$

HCl অণুর তরঙ্গসংখ্যায় কম্পাঙ্ক 2990 Cm^{-1}। $v = o \rightarrow 1$ উৎক্রমণে 27° উষ্ণতায় $v = 1$ ঘূর্ণন স্তরের অণুসংখ্যা, $\frac{n_1}{n_0} = e^{\frac{-6\cdot627\times10^{-34}\times3\times10^8\times2990\times10^2}{1\cdot38\times10^{-23}\times300}}$

$$\frac{n_1}{n_o} = e^{-14.3585} = 5\times10^{-6}$$

$v = 1$ ঘূর্ণন স্তরের অণুসংখ্যা প্রাবল্য 5×10^{-6}। অর্থাৎ, 27°C উষ্ণতায় প্রায় সমস্ত অণুই $v = 0$ ঘূর্ণন স্তরে থাকবে।

উষ্ণতা বাড়লে অণুসংখ্যা $v =$ স্তরে বাড়বে। যেমন 900K উষ্ণতায় অণুসংখ্যা প্রাবল্য হবে 8×10^{-2} উষ্ণতা 23 গুণ বাড়লে অণুসংখ্যা প্রাবল্য বাড়বে 1600 গুণ।

একটি উদাহরণ দিলে ব্যাপারটা পরিষ্কার হবে। মনে করুন রাখা হচ্ছে ঃ

ICl অণুর 127°C উষ্ণতায় $v = 1$ স্তরে অণুসংখ্যা প্রাবল্য কত হবে যদি কম্পন স্তর ব্যবধান 384Cm^{-1} হয়?

এর উত্তর আমরা নিচের পদ্ধতিতে বার করতে পারি।

$$\frac{n_v}{n_0} = e^{hc\varpi_{osc}/RT}$$

$$\frac{n_{v=1}}{n_{v=0}} = e^{\frac{6.627\times10^{-34}\times3\times10^8\times384\times10^2}{1.38\times10^{-23}\times400}}$$

$$\frac{n_{v=1}}{n_{v=0}} = 0.2508$$

127°C উষ্ণতায় শতকরা 25.03টি অণু $v = 1$ স্তরে থাকবে।

অধিক উষ্ণতায় $v = 1$ স্তর থেকে $v = 2$ স্তরে উৎক্রমণ হবে। তাই বর্ণালী রেখা ক্ষীণ হবে।

$$\Delta\varepsilon = \left(2+\frac{1}{2}\right)\varpi_e - \left(2+\frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e - \left(1+\frac{1}{2}\right)\varpi_e + \left(1+\frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e$$

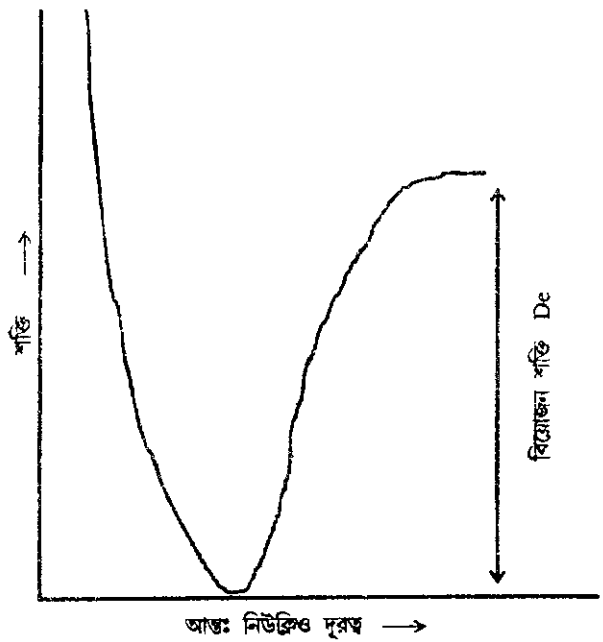
$$\Delta\varepsilon = \varpi_e - (14x_e) \qquad \ldots\ldots \quad 8.4.15$$

এই কম্পাঙ্ক শোষণ বর্ণালীকে উত্তপ্ত ব্যান্ড বা hot band বলে। যেহেতু $v = 1$ স্তর থেকে উৎক্রমণ সাধারণত অধিক উষ্ণতায় হয়ে থাকে; সেইজন্য এই বর্ণালীকে উত্তপ্ত ব্যান্ড বা hot band বলে।

অসমঞ্জস দোলনের শক্তি বনাম আন্তঃ-নিউক্লিও দূরত্বের লেখচিত্র নিচে দেখানো হল।

8.4.3 কম্পন এবং ঘূর্ণন ঃ

কম্পনজনিত শক্তি ঘূর্ণন জনিত শক্তির প্রায় 300 – 3000 গুণ। অতএব, কম্পন বর্ণালীর সঙ্গে ঘূর্ণণ বর্ণালীও যুক্ত থাকে। অবলোহিত বর্ণালী থেকে বিশুদ্ধ কম্পাঙ্ক বর্ণালী পাওয়া যায় একথা ঠিক নয়। এই বর্ণালীর সঙ্গে



চিত্র 8.17

ঘূর্ণন বর্ণালীও যুক্ত থাকে। অদৃঢ় বন্ধনী অণুর উপর 300 cm^{-1} থেকে 33000 cm^{-1} তরঙ্গ সংখ্যা বিশিষ্ট আলোর প্রভাবে কম্পন বর্ণালী ও ঘূর্ণন বর্ণালী দুইই পাওয়া যায়।

অবলোহিত আলোক তরঙ্গ শক্তির মান (তরঙ্গ সংখ্যায়)

$$\varepsilon = BJ(J+1) - DJ^2(J+1)^2 + \left(v+\frac{1}{2}\right)\varpi_e - \left(v+\frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e \quad \ldots\ldots 8.4.16$$

তাহলে শক্তির পার্থক্য ঃ

$$\Delta\varepsilon = 2B(J+1) - 4D(J+1)^3 + \varpi_e - 2(v+1)\,\varpi_e x_e \quad \ldots\ldots$$

যখন, $\Delta v = \pm 1$ এবং $\Delta J = \pm 1$.

$$\Delta\varepsilon = 2B(J+1) - 4D(J+1)^3 + 2\varpi_e\{1 - 2(2v+1)x_e\} \quad \ldots\ldots 8.4.17$$

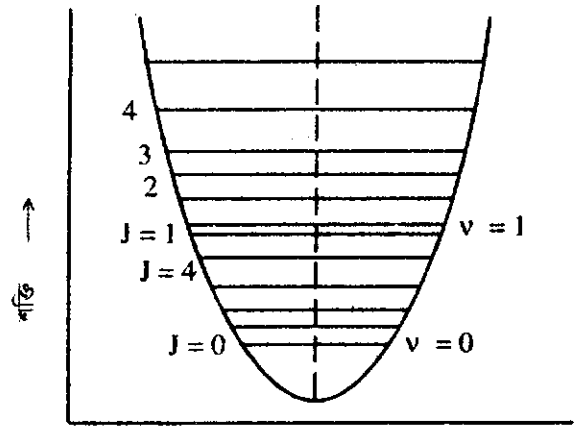
আবার, $\Delta\varepsilon = 2B(J+1) - 4D(J+1)^3 + 2\varpi_e - 2(2v+3)\,\varpi_e x_e$

যখন, $\Delta v = \pm 2$ এবং $\Delta J = \pm 1$

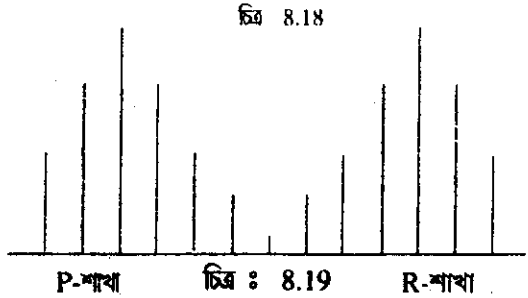
$$\Delta\varepsilon = 2B(J+1) - 4D(J+1)^3 + 2\varpi_e\{1 - (2v+3)x_e\} \quad \ldots\ldots 8.4.18$$

$v = 0$ থেকে $v = 1$ কম্পনস্তরের এই উৎক্রমণের অনেক ঘূর্ণন স্তর থাকে। নিচের লেখচিত্রের সাহায্যে বিষয়টি পরিষ্কার করার চেষ্টা করা হয়েছে।

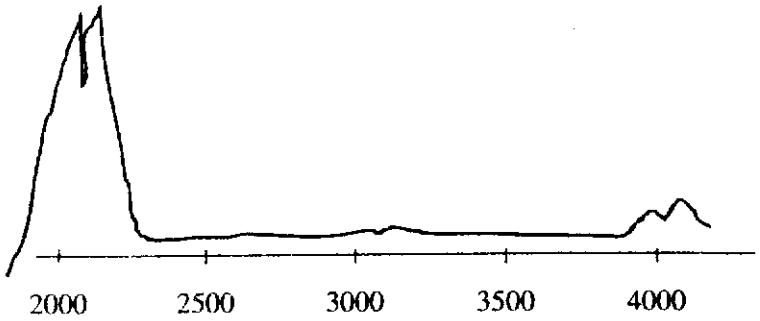
$\Delta J = -1$ হলে বর্ণালী রেখাকে P-শাখা এবং $\Delta J = \pm 1$ হলে বর্ণালী রেখাকে R-শাখা বলা হয়।



চিত্র 8.18



চিত্র ঃ 8.19



চিত্র ঃ 8.20

চিত্রে CO-এর শোষণ বর্ণালী দেখানো হয়েছে। মুখ্য বর্ণালী রেখা $2160Cm^{-2}$ (fundamental) গৌণ বর্ণালী রেখা $4260Cm^{-1}$ (first overtone)।

8.4.4 কম্পন সংখ্যা ঃ

সরল অণুর ক্ষেত্রে খুব সহজেই আমরা কম্পন সংখ্যা নির্ণয় করতে পারি। AB_2 ধরণের তিনটি পরমাণু বিশিষ্ট অণুর ক্ষেত্রে দু'ধরনের অণু দেখা যায়—রৈখিক অণু (linear molecule) এবং কৌণিক অণু (non-linear molecule)।

রৈখিক অণুর কম্পন সংখ্যা $= 3N - 5$

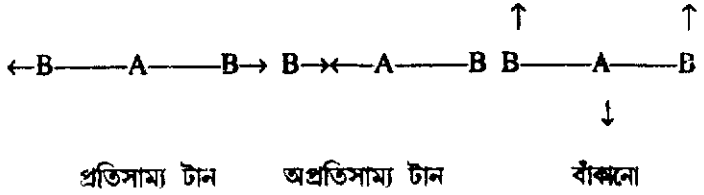
কৌণিক অণুর কম্পন সংখ্যা হবে $= 3N - 6$.

যদি AB_2 অণুরৈখিক হয় AB_2-অণুর ক্ষেত্রে কম্পন সংখ্যা হবে $= (3 \times 3 - 5)$ বা 4।

যদি AB_2 অণু কৌণিক হয় AB_2 অণুর কম্পন সংখ্যা হবে $(3 \times 3 - 6)$ বা 3।

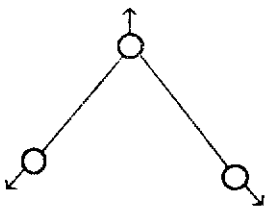
AB_2-রৈখিক অণু ঃ

রৈখিক AB_2-অণুর কম্পন সংখ্যা নিচের চিত্রের সাহায্যে বোঝানো হল ঃ

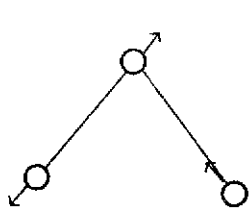


চিত্র ঃ 8.21

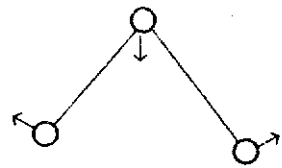
কৌণিক AB_2 অণু ঃ



প্রতিসম টান



অপ্রতিসম টান



বাঁকানো টান

চিত্র ঃ 8.21

রৈখিক অণুর ক্ষেত্রে প্রতিসম টানে দ্বি-মেরু ভ্রামক পরিবর্তিত হয় না, অতএব প্রতিসম টানে অণু অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয় নয়।

অপ্রতিসম এবং বাঁকানো টানে দ্বি-মেরু ভ্রামক পরিবর্তিত হয়। অতএব, এই দুটি টানে অণু অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয়, যদিও অণুটি কেন্দ্র প্রতিসম হওয়ায় স্থায়ী দ্বি-মেরু ভ্রামক শূণ্য।

কৌণিক AB_2 অণুর তিনটি কম্পনেই দ্বি-মেরু ভ্রামক পরিবর্তিত হয়। অতএব, তিনটি কম্পনই অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয়।

অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয় হওয়ার শর্ত ঃ

(i) অণুর দ্বি-মেরু ভ্রামক কম্পন জনিত কারণে পরিবর্তিত হবে;

(ii) কম্পন স্তরের পরিবর্তন নির্বাচনসূত্র অনুযায়ী হবে—$\Delta v = \pm 1$। সুমঞ্জস দোলনের জন্য; $\Delta v = \pm 1$, $\Delta v = \pm 2$, ... অসমঞ্জস দোলনের জন্য।

8.4.5. কম্পন বর্ণালী ও পদার্থের আণবিক গঠন ঃ

কম্পন বর্ণালীর সাহায্যে পদার্থের আণবিক গঠন সম্পর্কে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি জানা যায় ঃ

(i) পদার্থের আণবিক গঠনের জ্যামিতি রৈখিক না কৌণিক, সমতালিক না ত্রি-মাত্রিক;

(ii) গ্রুপ কম্পাঙ্কের সাহায্যে অণুর গ্রুপ নির্ধারণ করা যায়। প্রত্যেকটি গ্রুপের একটি বিশেষ কম্পাঙ্ক আছে—সেই কম্পাঙ্কের দ্বারা বলা যায় অণুটিতে কোন্ গ্রুপ বর্তমান।

সারণি-4

	গ্রুপ	কম্পাঙ্ক (আসন্ন মাণ)
		Cm^{-1}
	$-OH$	3600
	$-NH_2$	3400
	$\equiv CH$	3300
	$>C=0$	1750 – 1600
	$>C=S$	1100
$\geqslant C-F$	$\rightarrow C-F$	1050
$\geqslant C-Cl$	$\rightarrow C-Cl$	725
$\geqslant C-Br$	$\rightarrow C-Br$	650
$\geqslant C-I$	$\rightarrow C-I$	550

যে গ্রুপ যত ধ্রুবীয় সেই গ্রুপের কম্পাঙ্ক তত বেশি। $>C=0$, চেয়ে $>C=S$ এর কম্পাঙ্ক কম। কম্পাঙ্কের ক্রম অনুযায়ী সাজালে $\rightarrow C-F > \rightarrow C-Cl > \rightarrow C-BR > \rightarrow C-I$।

যদিও কম্পাঙ্ক বর্ণালীর দ্বারা আণবিক গঠনের সমস্ত দিক জানা যায় না, তাহলেও আণবিক গঠনে কোন্ গ্রুফ আছে, কোন বন্ধনী শক্তিশালী কোন্, বন্ধনী দুর্বল বলা যায়।

8.5 ইলেকট্রন বর্ণালী

অতিবেগুনী থেকে দৃশ্যমান আলোকতরঙ্গ পদার্থের অণুর ইলেকট্রন শক্তি স্তরে পরিবর্তন করে। আলোকতরঙ্গ শোষিত হলে শোষণ বর্ণালী বলে এবং আলোকতরঙ্গ বিকীরিত হলে বিকীরণ বর্ণালী বলে। অতিবেগুনী থেকে দৃশ্যমান আলোকতরঙ্গের শোষণ বা বিকীরণ বর্ণালীর সাহায্যে অণুর ইলেকট্রন শক্তিস্তরের পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে ঘূর্ণন স্তর এবং কম্পন স্তরেরও পরিবর্তন হয়। অতিবেগুনি থেকে দৃশ্যমান আলোকতরঙ্গ দৈর্ঘ 10^{-4}Cm থেকে 10^{-6}Cm বিস্তৃত। এই আলোকশক্তি তরঙ্গসংখ্যা কম্পনজনিত পরিবর্তন সাধনের জন্য আলোকতরঙ্গের 100 গুণ, আবার ঘূর্ণনজনিত পরিবর্তন সাধনের জন্য আলোক শক্তির 1000 গুণ। অতএব, ইলেকট্রন শক্তিস্তরের পরিবর্তনের সঙ্গে ঘূর্ণন স্তর ও কম্পনস্তরের পরিবর্তন সাধিত হয়। বর্ণ-ওপেনহাইমারের আসন্নতা অনুযায়ী ইলেকট্রনের শক্তিস্তরে উৎক্রমণ বা অবনমন ঘূর্ণন বা কম্পনজনিত শক্তিস্তর নিরপেক্ষভাবে ঘটে। ইলেকট্রনের গতি নিউক্লিয়াস সাপেক্ষে এত বেশি যে বর্ণ-ও ওপেনহাইমার আসন্নতা অনুযায়ী নিউক্লিয়াসকে স্থির ধরে গণনা করা হয়। আবার, নিউক্লিয়াসের জন্য ঘূর্ণন এবং কম্পন শক্তিস্তরের পার্থক্যকেও আলাদা করে দেখানো হয়। তাহ'লে, বর্ণ-ওপেনহাইমার আসন্নতা অনুযায়ী দৃশ্যমান ও অতিবেগুনি আলোকতরঙ্গের ফলে পদার্থের অণুর ইলেকট্রন শক্তিস্তরের পরিবর্তনের মান ইলেকট্রন শক্তিস্তর ঘূর্ণন শক্তিস্তর এবং কম্পন শক্তিস্তর পার্থক্যের

যোগফল হিসেবে দেখানো যায়। অর্থাৎ, এই আসন্নতা অনুযায়ী ধরে নেওয়া হচ্ছে যে, প্রত্যেকটি উৎক্রমণ বা অবনমন প্রক্রিয়া পৃথকভাবে সংগঠিত হয়। তাহ'লে শক্তিস্তরের পরিবর্তন জুল এককে,

$$\Delta E_{tot.} = \Delta E_{el} + \Delta E_{rot} + \Delta E_{vib.j} \quad ..... \quad 8.5.1$$

শক্তিস্তর তরঙ্গসংখ্যায় প্রকাশ করলে,

$$\Delta \varepsilon_{tot.} = \Delta \varepsilon_{el} + \Delta \varepsilon_{rot} + \Delta \varepsilon_{vib.j} \, Cm^{-1} \quad ..... \quad 8.5.2$$

ইলেকট্রনিক শক্তিস্তরের পরিবর্তন Cm^{-1}এ কম্পনজনিত শক্তিস্তর পরিবর্তনের প্রায় 10^3 গুণ। আবার, ঘূর্ণন শক্তিস্তর পরিবর্তনের প্রায় 10^6 গুণ।

অদৃঢ় এবং অসমঞ্জস দোলন বিশিষ্ট পদার্থের অণুর ইলেকট্রন শক্তিস্তরের পরিবর্তন Cm^{-1} এককে ঃ

$$\Delta \varepsilon_{tot.} = \Delta \varepsilon_{el} + 2B(J+1) - 4D(J+1)^3 + \varpi_e + (1 - 2x_e)$$

যখন $\Delta J = \pm 1$ এবং $\Delta v = \pm 1$.

8.5.1 ইলেকট্রন বর্ণালীর শর্তাবলী ঃ

ইলেকট্রন বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য হল—

(i) ইলেকট্রন শক্তিস্তর পরিবর্তনের জন্য পদার্থের অণুর দ্বিমেরু ভ্রামক এবং কম্পনজনিত কারণে অণুর আবিষ্ট দ্বিমেরু ভ্রামক না থাকলেও হবে।

(ii) ইলেকট্রন শক্তিস্তরের পরিবর্তনের জন্য ঘূর্ণন বা কম্পন শক্তি স্তরের পরিবর্তনের নির্বাচন সূত্র $\Delta J = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \ldots$ এবং $\Delta v = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \ldots$ হতে পারে।

ইলেকট্রন শক্তিস্তরের এই বৈশিষ্ট্যের জন্য যে কোন অণুর ইলেকট্রন শক্তিস্তরের পরিবর্তন সম্ভব। পদার্থের অণু প্রতিসম হলেও ইলেকট্রন বর্ণালী পাওয়া যায়। যেমন, O_2, N_2 অণুসহ সমস্ত পদার্থের অণুর ইলেকট্রন বর্ণালী পাওয়া যায়। যে সমস্ত পদার্থের অণুর ঘূর্ণনজনিত অথবা কম্পনজনিত পরিবর্তন বর্ণালী পাওয়া সম্ভব নয়, সমস্ত অণুর ইলেকট্রন শক্তিস্তর জনিত পরিবর্তনের বর্ণালী পাওয়া সম্ভব।

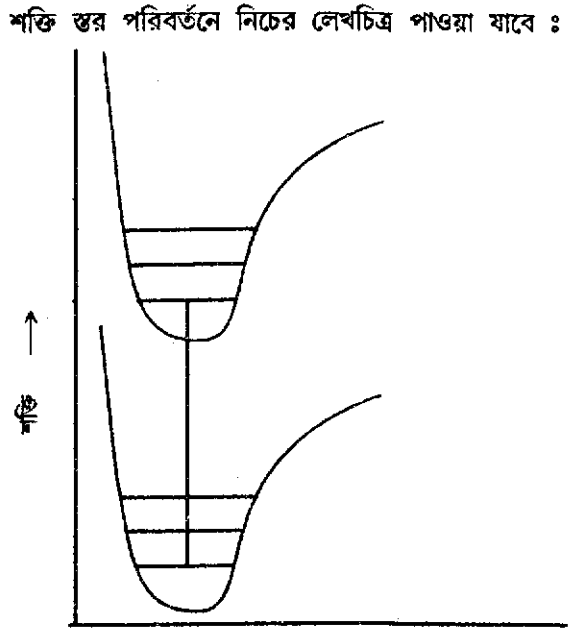
8.5.2 ইলেকট্রন শক্তিস্তর জনিত পরিবর্তন ঃ

বর্ণ-ওপেনহাইমারের আসন্নতা অনুযায়ী ইলেকট্রন শক্তিস্তরজনিত পরিবর্তন, কম্পনজনিত এবং ঘূর্ণনজনিত পরিবর্তন নিরপেক্ষ। অন্যান্য শক্তিস্তরের পরিবর্তন সাপেক্ষে ঘূর্ণন শক্তিস্তরের পরিবর্তনকে নগণ্য ধরে নেওয়া হয়। কেবলমাত্র, ইলেকট্রন শক্তিস্তরের এবং কম্পনজনিত শক্তিস্তরের পরিবর্তন হয় ধরে নিলে মোট শক্তির পরিবর্তন Cm^{-1}-এ

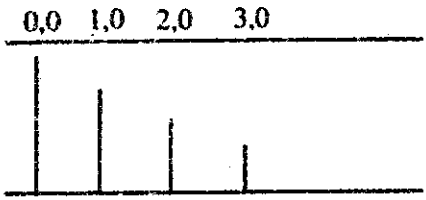
$$\Delta \varepsilon_{tot.} = \Delta \varepsilon_{el} + \Delta \varepsilon_{vib} \quad ..... \quad 8.5.4$$

$$\Delta \varepsilon_{tot.} = \Delta \varepsilon_{el} + (v' - v) - \varpi_2 - \{(v' + v + 1)(v' - v)\} \varpi_e x_e \quad ..... \quad 8.5.5$$

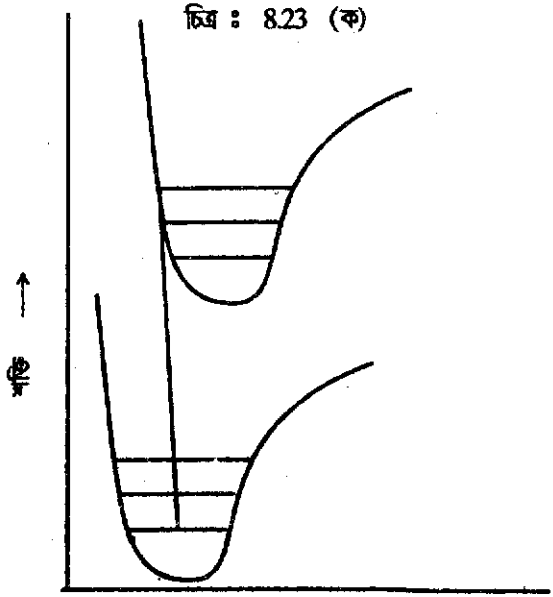
ফ্র্যাঙ্ক-কন্ডনের নীতি অনুযায়ী নিউক্লিয়াস সাপেক্ষে ইলেকট্রনের গতি এত দ্রুত যে নিউক্লিয়াসকে স্থির ধরা হয়। তাহলে আলোকতরঙ্গের ক্রিয়ায় ইলেকট্রন শক্তি স্তর পরিবর্তনে নিচের লেখচিত্র পাওয়া যাবে ঃ



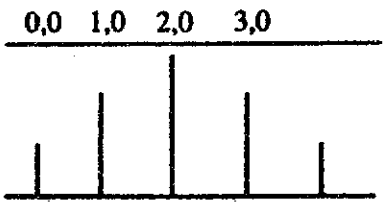
চিত্র ঃ 8.23 (ক)



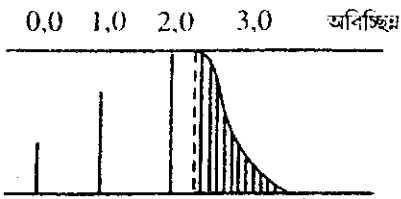
চিত্র ঃ 8.23 (খ)



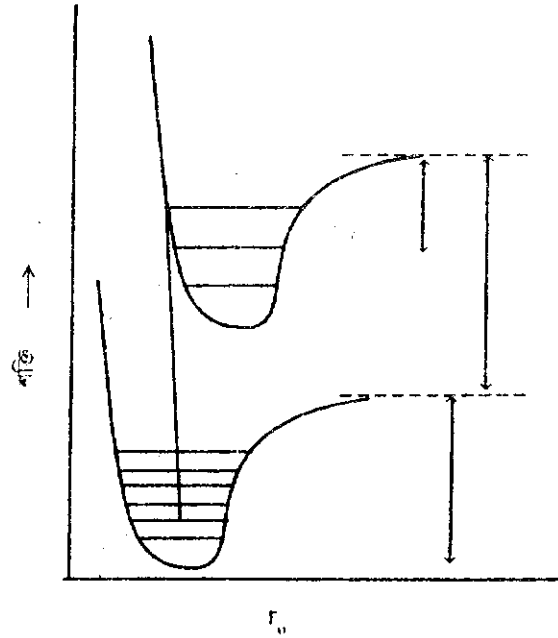
চিত্র ঃ 8.24 (ক)



চিত্র ঃ 8.24 (খ)



চিত্র ঃ 8.25 (খ)



চিত্র ঃ 8.25 (ক)

উপরের তিনটি চিত্র থেকে এটা স্পষ্ট যে, $\Delta v = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots$ হতে পারে।

ফ্রাঙ্ক-কণ্ডনের নীতি অনুযায়ী, ইলেকট্রনিক শক্তিস্তরের পরিবর্তন উল্লম্বভাবে হবে। ইলেকট্রনিক শক্তি স্তরের পরিবর্তনের সঙ্গে কম্পনজনিত শক্তিস্তরের পরিবর্তন যুক্ত থাকে বলে এই উৎক্রমণকে 'ভাইব্রনিক' (vibronic) উৎক্রমণ বলা হয়।

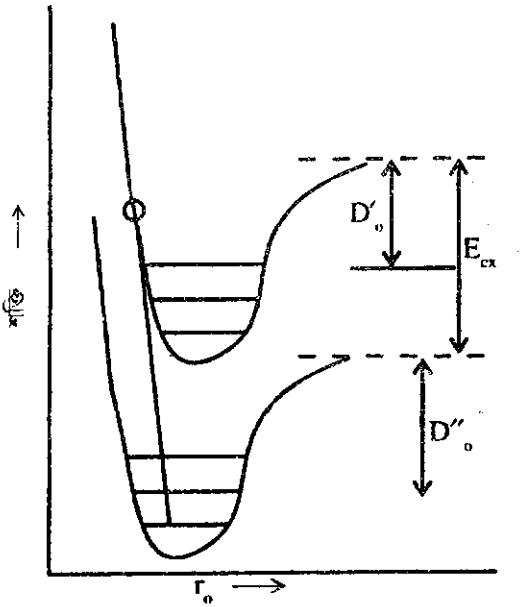
চিত্র 8.23 (খ) চিত্র 8.24 (খ) চিত্র 8.25 (খ)

দেখা যায় যে, উচ্চশক্তিস্তরের আন্তঃ-নিউক্লিও দূরত্ব পৃথক হলে 'ভাইব্রনিক' উৎক্রমণের প্রাবল্য পৃথক হয়। যদি আন্তঃ নিউক্লীয় দূরত্ব মোটামুটি স্থির থাকে তাহলে ভাইব্রনিক উৎক্রমণের প্রাবল্য বেশি হবে ০,০ পরিবর্তনে। চিত্র ঃ 8.23 (খ) দ্রষ্টব্য। (1,0) থেকে (2,0) উৎক্রমণে প্রাবল্য ক্ষীণ থেকে ক্ষীণতর হবে।

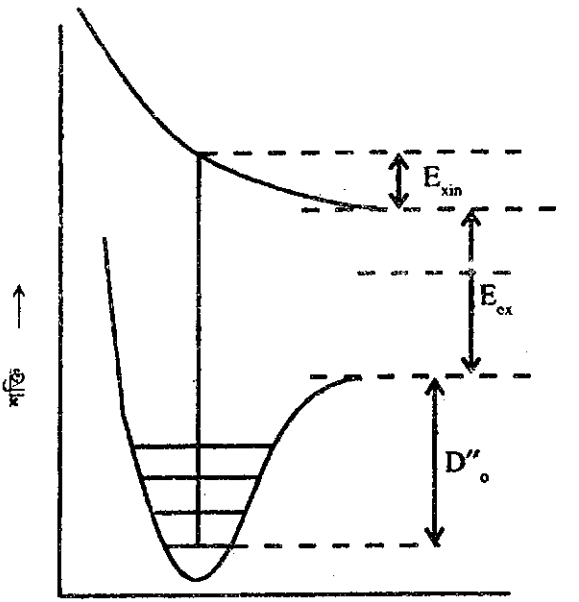
যে সমস্ত উচ্চশক্তিসুরে আন্তঃনিউক্লীয় দূরত্ব অল্প বেশি সেই সব ভাইব্রনিক উৎক্রমণে (2,0) রেখার প্রাবল্য বেশি। চিত্র 8.24 (খ) দ্রষ্টব্য। আবার, আন্তঃ নিউক্লীয় দূরত্ব বেশি হলে প্রথমদিকে বিচ্ছিন্ন পাওয়া যায়। 8.25 (খ) দ্রষ্টব্য।

8.5.3 অণুর বিয়োজন শক্তি ঃ

ইলেকট্রনের উৎক্রমণে যখন শক্তিস্তরের পরিবর্তন এমন হয় যে অণুর বন্ধনী ঘটে তখন ইলেকট্রন বর্ণালীর নিরবচ্ছিন্নতা লক্ষ্য করা যায়। এই বর্ণালীকে বিযোজন বর্ণালী বলে। ইলেকট্রন বর্ণালীর সাহায্যে অণুর বিযোজন শক্তি নির্ণয় করা যায়। মোর্স স্থিতিশক্তি লেখচিত্রের সাহায্যে আমরা বিযোজন শক্তির পরিমাপ করতে পারি।



চিত্র ঃ 8.26 (ক)



চিত্র ঃ 8.26 (খ)

চিত্র ঃ 8.26 থেকে দেখা যায় যে, ইলেকট্রন শক্তিস্তরের উৎক্রমণ যদি কোয়ান্টিকৃত কম্পন স্তরের বিযোজন শক্তিস্তরে হয় তাহলে অণু-বন্ধনীর বিযোজন ঘটে। নিম্ন বিযোজন শক্তি স্তর থেকে উচ্চ বিযোজন শক্তি স্তরের ব্যবধান, E_x, নিম্ন ইলেকট্রন শক্তি স্তরের বিযোজন শক্তি, D''_0 এবং উচ্চ ইলেকট্রন শক্তিস্তরের বিযোজন শক্তি, D_0।

আবার, চিত্র 8.26 (খ) থেকে দেখা যায় যে,

ইলেকট্রন শক্তিস্তরের উৎক্রমণ যদি নিরবচ্ছিন্ন শক্তি স্তরের হয় তাহলে নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী পাওয়া যায়। ইলেকট্রনিক বর্ণালীর সাহায্যে বিযোজন শক্তি নির্ণয় করা যায়। ইলেকট্রনিক শক্তি স্তরের ব্যবধান

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{v+1} - \varepsilon_v$$

$$\Delta\varepsilon = \{(v + 1 + \frac{1}{2})\ \varpi_e - (v + \frac{1}{2})\varpi_e\} - \{(v + 1 + \frac{1}{2})^2 \varpi_e x_e - (v + \frac{1}{2})^2 \varpi_e x_e\}$$

$$\Delta\varepsilon = \varpi_e \{1 - 2(v + 1) x_e\} \qquad ..... \qquad 8.5.6$$

কম্পন স্তরের যত বৃদ্ধি হয় ততই কম্পনস্তরের ব্যবধান কমতে থাকে। বিযোজন শক্তিতে কম্পনস্তর নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী প্রদর্শন করে। এই শক্তিস্তরের ব্যবধান ধরে নেওয়া যেতে পারে, $\Delta\varepsilon = 0$।

তাহলে, $$v_{max} = \frac{1}{2x_e} - 1 \qquad ..... \qquad 8.5.7$$

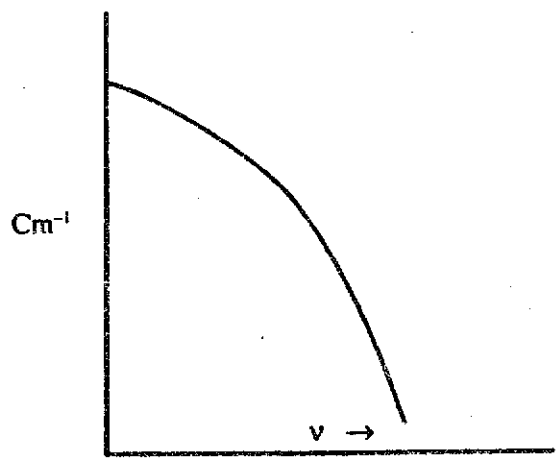
অসমঞ্জস দোলন ধ্রুবকের (anharmonicity Constant) মাপ 10^{-2}এর কাছাকাছি। v_{max}-এর মাণ তাহলে 50-এর কাছাকাছি।

অনুশীলনী—5

1. HI-এর সাম্য-কম্পাঙ্ক, $\varpi_e = 2309.5$ Cm^{-1} এবং $x_e = 0.0172$। HI-এর সর্বোচ্চ ঘূর্ণন-কোয়ান্টাম সংখ্যা এবং বিযোজন শক্তি কত? তাপ রসায়ন থেকে বিযোজন শক্তির মান 299 KJ mol^{-1}। বর্ণালী বিশ্লেষণ থেকে প্রাপ্ত বিযোজন শক্তির মানের সঙ্গে পার্থক্য থাকলে, কেন হয়?

8.5.1 ঃ সমীকরণ থেকে বলা যায় যে, ঘূর্ণনসংখ্যার মাণ যত বাড়বে কম্পন শক্তিস্তরের ব্যবধান তত কমবে। কম্পনশক্তির ব্যবধান বনাম ঘূর্ণনসংখ্যার লেখচিত্র নিচে দেখানো হল ঃ

চিত্র ঃ 8.27



এই লেখচিত্রের সাহায্যে বন্ধনী বিযোজন শক্তি নির্ণয় করা সম্ভব।

বর্ণালী বিশ্লেষণ সূক্ষ্ম হলে ঘূর্ণন স্তর পাওয়া যাবে। দৃঢ় ঘূর্ণক ধরে নিলে, ইলেকট্রন শক্তি স্তরের পরিবর্তনে মোট শক্তির পরিবর্তন

$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon_{el} + \Delta\varepsilon_{vib.} + \Delta\varepsilon_{rot.} Cm^{-1}$$

$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon_{el} + (v' - v')\varpi_e [1 - (v'' + v' + 1)\, x_2] + B'J'(J' + 1) - B'J'(J'' + 1) \quad \ldots\ldots 8.5.8$$

যদি কম্পন শক্তিস্তরের ঘূর্ণনস্তরের B-এর মান প্রায় কাছাকাছি হলেও ইলেকট্রন শক্তিস্তরে B-এর মাণ পৃথক হবে। তাহলে,

P-শাখা ঃ যেখানে, $\Delta J = -1,\ J'' = J' + 1$

$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon_{el} + (v'' - v')\,\varpi_e [1 - (v'' + v' + 1)x_e] - (B' + B'')(J' + 1) + (B' + B'') + (J' + 1)^2 Cm^{-1}$$

..... 8.5.9

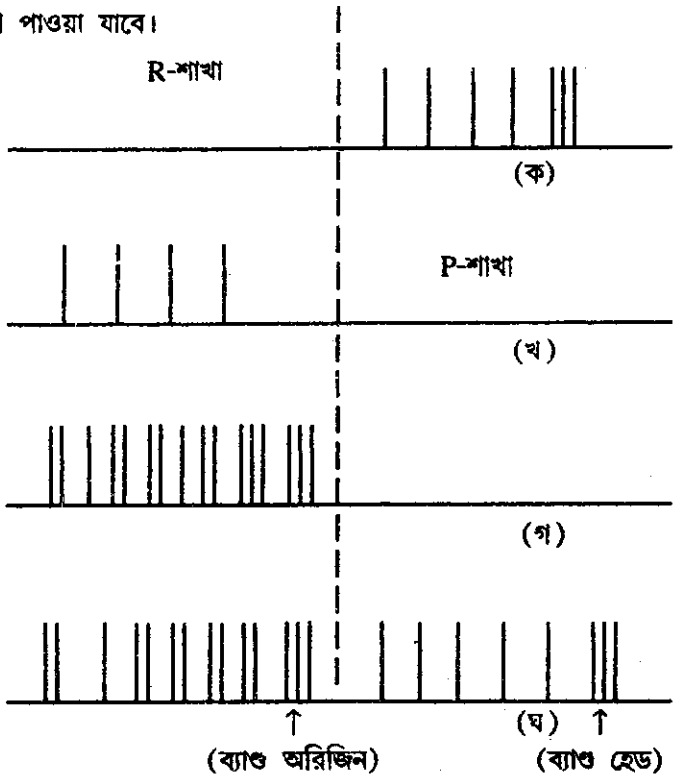
যেখানে, $J' = 0,\ 1,\ 2.$ 8.5.10

এই দুটি শক্তির ব্যবধান একত্রে লেখা যায়,

$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon_{el} + (v'' - v')\,\varpi_e [1 - (v'' + v' + 1)x_e]\ (B' + B'')(J' + 1)^2 Cm^{-1} \quad \ldots\ldots \quad 8.5.11$$

যেখানে $m = \pm 1, \pm 2, \ldots\ldots$ 8.5.11

m ধনাত্মক হলে $\Delta J = \pm 1$, অতএব, R-শাখার বর্ণালী পাওয়া যাবে। m ঋণাত্মক হলে $\Delta J = -1$, অতএব P-শাখার বর্ণালী পাওয়া যাবে।



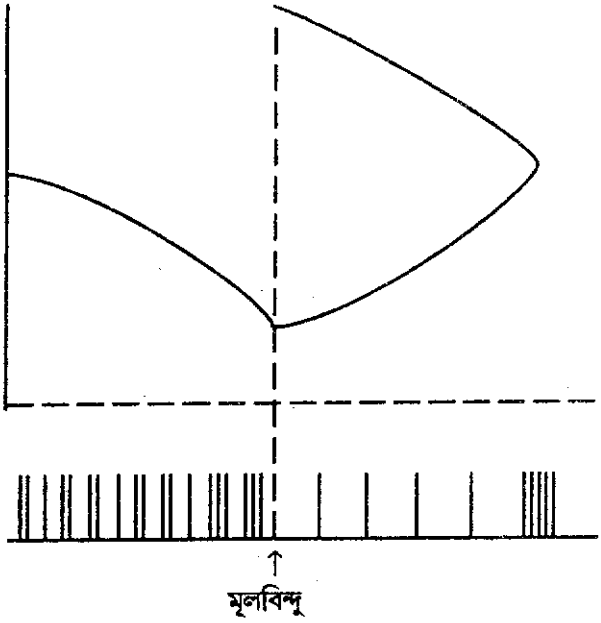
চিত্র ঃ 8.28

Q-শাখার জন্য $\Delta J = 0,\ J' = J''$

$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon_{el} + (v'' - v')\,\varpi_e\,[1 - (v'' + v' + 1)x_e] + (B' - B'')J''^2 + (B' - B'')J''Cm^{-1}..... \quad 8.5.12$$

চিত্র 8.28 (ক)-এ R শাখা চিত্র 8.28 (খ)-এ Q শাখা এবং চিত্র 8.28 (গ)-এ Q শাখা এবং চিত্র 8.28 (ঘ)-এ মিলিত চিত্র আঁকা হয়েছে।

নিচে ফোর্টাটের চিত্র আঁকা হয়েছে।

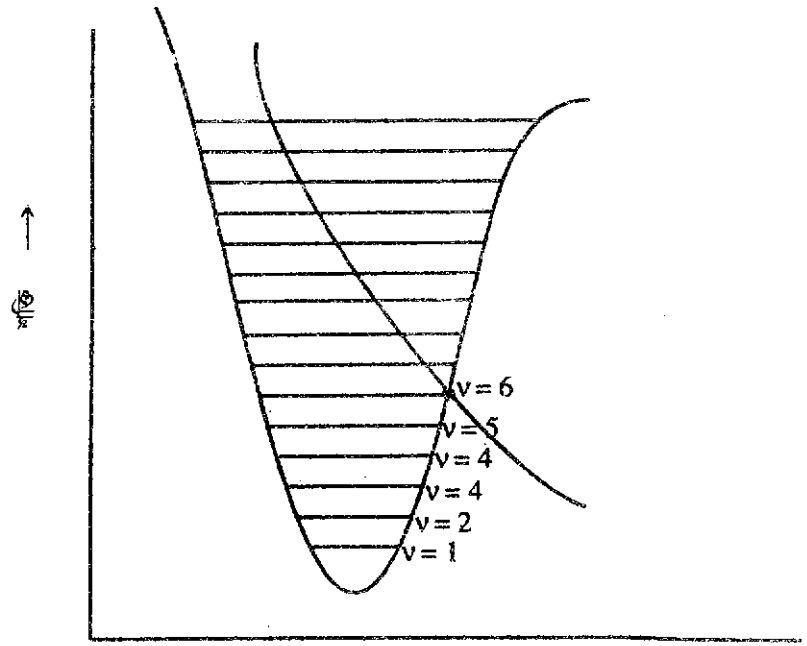


চিত্র ঃ 8.29

ইলেকট্রন শক্তিস্তরে পরিবর্তনের সময় অনেক ক্ষেত্রে বিযোজন শক্তির চেয়ে কম শক্তি শোষণ করে অণুর বিযোজন ঘটে তখন এই বর্ণালীকে প্রাক্-বিযোজন বর্ণালী বলে। এই বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য হল এই যে বিযোজনের আগে এবং পরে সূক্ষ্ম ঘূর্ণন বর্ণালী রেখা পাওয়া যায়।

চিত্র ঃ 8.30

নিচের চিত্রে শোষণ পরবর্তী বিযোজন বর্ণালী দিয়ে প্রাক্ বিযোজন বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা করা যায়।

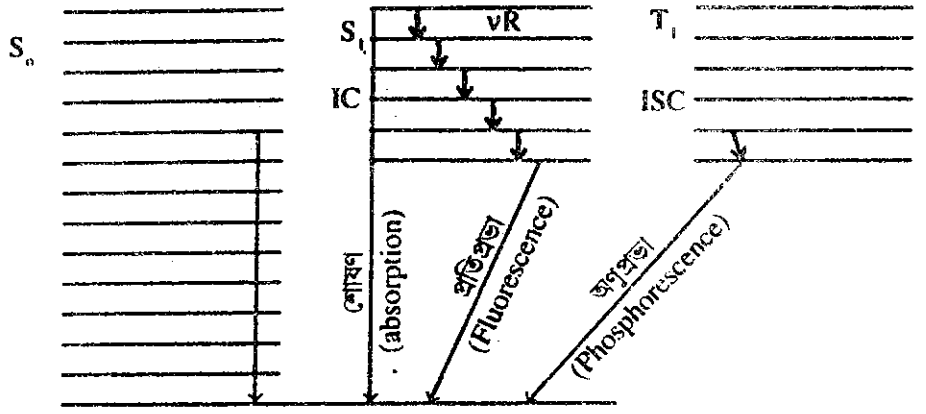


চিত্র : 8.31

চিত্রে একটি স্থায়ী অবস্থার সোর্স রেখচিত্রের সঙ্গে একটি অস্থায়ী অবস্থার ছেদবিন্দুতে বিযোজন ঘটে। এই স্তরের উপরে বা নীচে কোয়ান্টীকৃত কম্পনস্তরের সঙ্গে ঘূর্ণনস্তরের বর্ণালী পাওয়া যায়।

8.5.4 প্রতিপ্রভা (Eluorescence) এবং অনুপ্রভা (Phosphorescence)

অতিবেগুনি বা দৃশ্যমান আলোকতরঙ্গ শোষণ করে পদার্থের অণু এক ইলেকট্রনশক্তি স্তর থেকে আরেক ইলেকট্রন শক্তি স্তরে উন্নীত হলে বিকিরণের সময় বিভিন্ন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে সর্বনিম্ন শক্তিস্তরে উপনীত হয়। পদার্থের অণু উচ্চশক্তি স্তর থেকে নিম্নশক্তি স্তরে উপনীত হতে যে সমস্ত প্রক্রিয়ার মধ্য দিয়ে যায় সেই সমস্ত প্রক্রিয়ায় প্রতিপ্রভা বা অনুপ্রভা লক্ষ্য করা যায়। নিচে চিত্রের সাহায্যে বিকিরণ প্রক্রিয়া বোঝানো হয়েছে। এই চিত্রটিকে জ্যাব্লনস্কি চিত্র বা Jablonsky diagram বলা হয়।



চিত্র ঃ 8.32 জ্যাব্‌লনস্কি চিত্র

S_0 = একক রেখা বিশিষ্ট সর্বনিম্ন অবস্থা (Singlet ground state)।

S_1 = একক রেখা বিশিষ্ট উদ্দীপিত অবস্থা (Siglet excited state)।

T_1 = ত্রিয়ত রেখা বিশিষ্ট উদ্দীপিত অবস্থা।

v.r. = vibrational relaxation বা কম্পনজনিত শৈথিল্য।

I.C. = Internal conversion বা অভ্যন্তরীন বিনিময়।

I.S.C. = Inter System Crossing বা আন্তঃ তন্ত্র অতিক্রমণ।

জ্যাবলন্‌স্কি চিত্রে শোষণ থেকে বিকিরণ প্রক্রিয়ার রূপরেখা দেখানো হয়েছে। অতিবেগুনি অথবা দৃশ্যমান আলোকতরঙ্গ শোষণ করে পদার্থের অণু একক রেখা বিশিষ্ট সর্বনিম্ন অবস্থা (S_0) থেকে একক রেখা বিশিষ্ট উদ্দীপিত অবস্থার (S_1) উৎক্রান্ত হয়। উদ্দীপিত অবস্থা থেকে সর্বনিম্ন অবস্থায় ফিরে আসার জন্য অণু নানারকম প্রক্রিয়া অবলম্বন করে। এই প্রক্রিয়াগুলি বিকিরণহীন অধক্রমণ অবস্থা বিকিরণ যুক্ত অধক্রমণ।

8.5.4. প্রতিপ্রভা (Fluorescence)

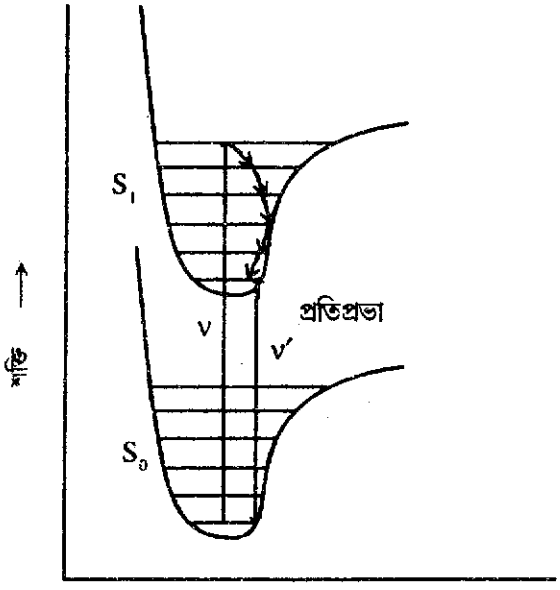
ফোটন কণার শক্তি শোষণ করে পদার্থের অণু সর্বনিম্ন শক্তিস্তর (S_0) থেকে উদ্দীপিত হয়ে একক-রেখ বিশিষ্ট উদ্দীপ্তস্তরে (S_1) উৎক্রান্ত হয়। উদ্দীপ্ত অণ অন্যান্য অণুর সঙ্গে সংঘর্ষের ফলে শিথিল হয় এবং সর্বনিম্ন শক্তিস্তরে নেমে আসে। একরেখ বিশিষ্ট উদ্দীপিত অবস্থা থেকে শোষণ কম্পাঙ্কের চেয়ে কম কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট বিকিরণকে প্রতিপ্রভা বলা হয়। অর্থাৎ, A অণুর উৎক্রমণের প্রক্রিয়ার ধাপগুলি ঃ

$A + h\nu \rightarrow A^*$

$A^* + A \rightarrow A + A$ উদ্দীপন প্রশমন (Quenching)

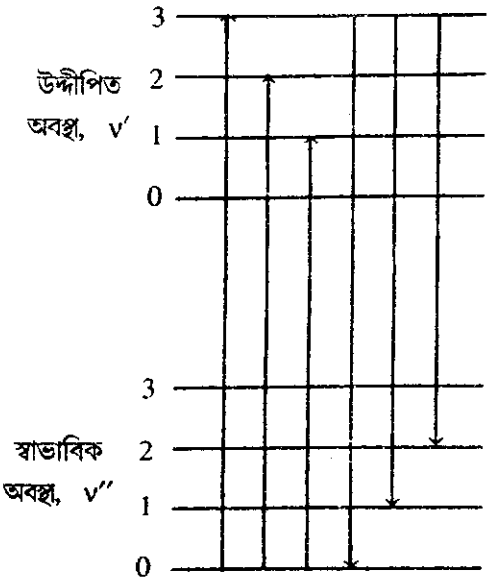
$A^* \rightarrow A + h\nu$ আণুনাঙ্গিক বিকিরণ reoonance radiation

$A^* \rightarrow A + h\nu'$ প্রতিপ্রভা (Fluoresecnee)

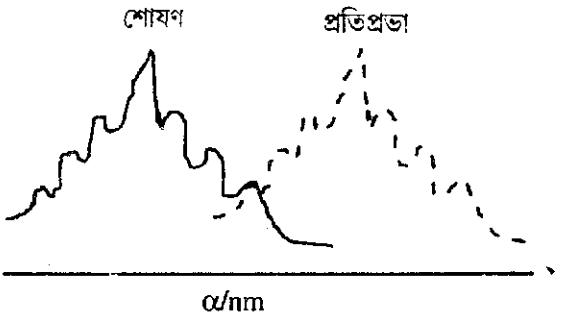


চিত্র : 8.33

একরেখ বিশিষ্ট সর্বনিম্ন শক্তিস্তর S_0, থেকে ν কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলোককণার দ্বারা উদ্দীপিত হয়ে একরেখ বিশিষ্ট উদ্দীপক স্তরে উন্নীত হয় এবং উদ্দীপনা প্রশমণ করে ν′ কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলোকরশ্মি বিকিরণ করে এবং সর্বনিম্ন শক্তিস্তরে অবস্থান করে। ν′ কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলো দৃশ্যমাণ। যেমন, সবুজ ক্লোরোফিলের অ্যাসিটোন দ্রবণে লাল রঙের প্রতিপ্রভা লক্ষ্য করা যায়। প্রতিপ্রভার বৈশিষ্ট্য হল ইলেকট্রনের স্পিনজোড়ের ঘূর্ণন সর্বনিম্ন শক্তিস্তরে এবং উদ্দীপিত শক্তিস্তরে বিপরীতমুখী। অর্থাৎ, উৎক্রমণটিতে স্পিনজোড়ের ঘূর্ণন পরিবর্তিত হয় না। $S_0 \rightarrow S_1$ উৎক্রমণটি সংগত (allowed transition)। $S_1 \rightarrow S_0$ অধক্রমণে স্পিন জোরের ঘূর্ণন পরিবর্তিত হয় না। যে সমস্ত অধক্রমণ বিকিরণ প্রক্রিয়ায় স্পিন ঘূর্ণনের কোন পরিবর্তন হয় না সেই সমস্ত প্রক্রিয়াকে প্রতিপ্রভা ব fluorescence বলা হয়। $S_1 \rightarrow S_0$ অধক্রমণে স্পিন ঘূর্ণনের কোন পরিবর্তন হয় না, সেই কারণে সেই বিকিরণ প্রতিপ্রভা বলে। এই পরিবর্তনে ইলেকট্রন স্পিন বহুলতা (Spin multiplicity) অপরিবর্তিত থাকে। প্রতিপ্রভায় একক রেখ বিশিষ্ট উদ্দীপিত অবস্থা থেকে একক রেখ বিশিষ্ট স্বাভাবিক অবস্থায় অবতরণ হয় বলে এই প্রক্রিয়ায় সময় কম লাগে। আলোকতরঙ্গ শোষণের ফলে অণুগুলি উদ্দীপিত হয়। উদ্দীপিত অণু অন্যান্য অণুর সঙ্গে সংঘর্ষের ফলে স্থানান্তরিত হয় এবং কম্পন শৈথিল্যের দরুণ অণু উদ্দীপিত অবস্থার সর্বনিম্ন কম্পনস্তরে অবতরণ করে এবং প্রতিপ্রভার মাধ্যমে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে আসে।



চিত্র ঃ 8.34



চিত্র ঃ 8.35

ইলেকট্রনের স্বাভাবিক অবস্থা এবং উদ্দীপিত অবস্থার কম্পাঙ্ক যদি সমান হয় তাহলে প্রতিপ্রভা বর্ণালী শোষণ বর্ণালীর প্রতিবিম্বের আকার ধারণ করে (চিত্র 8.35 (4) দ্রষ্টব্য)। প্রতিপ্রভার মাত্রা দ্রাবকের প্রকৃতির উপর এবং আয়নের উপস্থিতির উপর, বিশেষত অ্যানায়নের উপর নির্ভর করে। থায়াসায়ানেট, আয়োডাইড, ব্রোমাইড এবং ক্লোরাইড আয়নের যথেষ্ট উদ্দীপনা প্রশমণের ক্ষমতা আছে। সাল্ফ দ্রাবকের প্রতিপ্রভা ক্ষমতা বেশি কারণ এই ধরনের দ্রাবকে প্রশমন কম হয়। ফ্লুওরেসিনের সোডিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণে প্রতিপ্রভা না দেখা গেলেও জিলেটিন, সুক্রোশ বা সাকিসনিক অ্যাসিডের দ্রবণে তা দেখা যায়।

8.5.4.2 অণুপ্রভা (Phosphorescence) ঃ

উদ্দীপিত ত্রিরেখ অবস্থা অনেকক্ষেত্রেই উদ্দীপিত একরেখ অবস্থার চেয়ে শক্তির দিক থেকে কম বলে এবং কাছাকাছি থাকার ফলে আন্তঃতন্ত্র অতিক্রমণ (inter system crossing) সম্ভব। উদ্দীপিত একরেখ অবস্থা থেকে উদ্দীপিত ত্রি-রেখ অবস্থায় অতিক্রমণে স্পিন ঘূর্ণন পরিবর্তিত হয়। উদ্দীপিত ত্রি-রেখ অবস্থা T_1 থেকে স্বাভাবিক এক-রেখ অবস্থায়, S_0 অবতরণকে অণুপ্রভা বা Phosporescence বলে। অণুপ্রভাব স্পিন ঘূর্ণনের পরিবর্তন হয়। উদ্দীপিত এক-রেখ অবস্থা থেকে আন্তঃতন্ত্র অতিক্রমণের দ্বারা ত্রিরেখ উদ্দীপিত অবস্থায় অবতরণ করে। এই ত্রিরেখ উদ্দীপিত অবস্থা, T_1 থেকে একরেখ স্বাভাবিক অবস্থায়, S_0, অবতরণকে অণুপ্রভা বলে। অণুপ্রভায় প্রায় 10^3 গুণ বেশি সময় লাগে। আন্তঃতন্ত্র অতিক্রমণে স্পিনবহুলতা পরিবর্তিত হয়। এই পরিবর্তন যদিও স্পিন নিষিদ্ধ তা হলেও উদ্দীপিত অবস্থায় একরেখ দ্বি-রেখ তন্ত্রে সমাপতিত অংশে অতিক্রমণ করে। পরবর্তীকালে

অণু উদ্দীপিত অবস্থা থেকে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে আসে। অণুপ্রভার বিকিরণ কম্পাঙ্ক, ν', প্রতিপ্রভার বিকিরণ কম্পাঙ্কের, ν, চেয়ে কম। অণুপ্রভার বিকিরণে স্পিন ঘূর্ণনের শূণ্য নয় অর্থাৎ, $\Delta S \neq 0$। অণুপ্রভা স্পিন ঘূর্ণন পরিবর্তনের নির্বাচন সূত্র, $\Delta S = 0$ মেনে চলে না। যদি উদ্দীপিত ত্রি-রেখ বিশিষ্ট শক্তির মাণ কম হয় তা'হলে অণুপ্রভা 10^{-3} S থেকে 1S পর্য্যন্ত স্থায়ী হয়। অণু সংঘর্ষ কম হলে অণুপ্রভার বেশিক্ষণ স্থায়ী হয়, কারণ সংঘর্ষের ফলে অণুগুলি নিষ্ক্রিয় হয়ে পড়ে। অতএব, নিম্ন উষ্ণতায় এবং কঠিন মাধ্যমে অণুপ্রভা বিশেষভাবে লক্ষ্য করা যায়। সাধারণ উষ্ণতায় বোরিক অ্যাসিডে ফ্লুওরেসিন নীল (570 nm) এবং হলুদ (480 nm) অণুপ্রভা দেখা যায়। নীল আলোকে α-অণুপ্রভা কমে যায়। 0°C উষ্ণতায় কার্যত α অণুপ্রভা দেখা যায় না। হলুদ আলোকে আমরা β-অণুপ্রভা বলি। উষ্ণতা যতই কমানো যাক না β-অণুপ্রভা একই রকম থাকে। অর্থাৎ, β-অণুপ্রভা উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল নয়।

8.5.43 রাসায়নিক সংদীপ্তি ঃ

সাধারণ উষ্ণতায় রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন পদার্থের অণুর উদ্দীপিত অবস্থা থেকে অধঃক্রমণের ফলে যে আলো বিকিরিত হয় তাকে রাসায়নিক সংদীপ্তি বা Chemi heminesunce বলে। এই আলো যেহেতু উত্তাপের ফলে সৃষ্টি হয় না সেই জন্য একে 'শীতল আলো' বলে। রাসায়নিক সংদীপ্তির বিক্রিয়াকে আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিপরীত বলা যায়।

হাইড্রোজেন পারঅক্সাইডের দ্বারা লুমিনলের ক্ষারীয় দ্রবণের জারণে যে উজ্জ্বল সবুজ আলো দেখা যায় তা রাসায়নিক সংদীপ্তির একটি উদাহরণ। লুসিফেরেস উৎসেচকের দ্বারা লুসিফেরিনের জারণে জোনাকি পোকার আলো জৈব-রাসায়নিক সংদীপ্তির একটি কৌতূহলোদ্দীপক দৃষ্টান্ত। আবার জলাভূমিত পচনশীল জৈব পদার্থের জারণে যে আলেয়া দেখা যায় তাও রাসায়নিক সংদীপ্তিরই উদাহরণ স্বরূপ।

8.5.5 ইলেকট্রনিক বর্ণালী বিশ্লেষণ এবং পদার্থের আণবিক গঠন ঃ

ইলেকট্রন বর্ণালী থেকে অণুর গঠন, আকৃতি এবং ইলেকট্রন বণ্টন জানা যায়। দৃশ্যমান এবং অতিবেগুনি আলোক তরঙ্গে ইলেকট্রন বর্ণালী পাওয়া যায়। ইলেকট্রন বর্ণালীকে তিনটি ভাগে ভাগ করা যায়—(১) 400 – 700 nm আলোকতরঙ্গের দৃশ্যমান অঞ্চল, (২) 200–400 nm আলোকতরঙ্গের অতিবেগুনি অঞ্চল, (৩) 200 nm–এর নিচের আলোকতরঙ্গ।

Lambert-Bur এর সূত্র অনুযায়ী আপতিত আলোকের যে অংশ দ্রবণের মধ্য দিয়ে নির্গত হয়ে আসে তার মাণ,

$$I/I_0 = e^{-\varepsilon cl}$$

অথবা, $\log I_0/I = \varepsilon cl$

c দ্রবণের আণব গাঢ়ত্ব, l, দৈর্ঘ্য এবং E, আণব শোষণাঙ্ক। তীব্র থেকেদুর্বল শোষণের ক্ষেত্রে আণব গাঢ়ত্বের মান 5×10^5 থেকে 1 হয়।

দ্বি-বন্দনী যুক্ত যৌগের ক্ষেত্রে ইলেকট্রন বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য লক্ষণীয়। দ্বিবন্ধনীতে $\pi-\pi^*$ এবং $n-\lambda^*$ উৎক্রমণ লক্ষ্য করা যায়। যে সমস্ত অণুতে $-C=-C$ বর্তমান সেই সমস্ত অণুতে $\pi-\pi^*$ উৎক্রমণ লক্ষ্য করা যায়। যে সমস্ত অণুতে $-C=0$ বা $-C\equiv N$ জাতীয় পরমাণু থাকে তাদের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়ের $n-\lambda^*$ উৎক্রমণ লক্ষ্য করা যায়।

সংযুগ্মিত দ্বি-বন্ধনী যুক্ত অণুর ক্ষেত্রে দৃশ্যমান আলোকতরঙ্গ বিকিরিত হয়। p-বেঞ্জোকুইননের $n\to\pi^*$ শোষণ বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ 425 nm–অর্থাৎ, নীল আলোকতরঙ্গের।

পদার্থটি যে আলোকতরঙ্গ বিকিরণ তা থেকে পদার্থটির বন্ধনীর গঠন সম্পর্কে জানা যায়।

নিচের তালিকায় দ্বিবন্ধনী এবং ত্রিবন্ধনীযুক্ত পদার্থের $\pi-\pi^*$ এবং $n\to\pi^*$ উৎক্রমণের আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ দেওয়া হল ঃ

	$\pi-\pi^*$ nm	$n\to\pi^*$ Nm
$>C=C<$	170	—
$—C\equiv C—$	170	—
$>C=0$	166	280
$-C=C—C=0$	240	320
O = = O	245	435

সংযুগ্মিত দ্বি-বন্ধনী অণুর প্রতিস্থাপিত পরমাণু বা গ্রুপের জন্য নির্দিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ পদার্থটির সর্বোচ্চ তরঙ্গ দৈর্ঘের সঙ্গে যোগ করলে মোট সর্বোচ্চ তরঙ্গ দৈর্ঘ পাওয়া যায়। 1, 4 বিটাডাইনে যদি ক্লোরিন এবং মেথক্সি গ্রুপ প্রতিস্থাপিত হয় তাহলে বিকিরিত আলোর মোট তরঙ্গ দৈর্ঘ (217 + 5 +6) বা 228 nm হবে। পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে এই মাণ প্রায় কাছাকাছি। পদার্থের মূল আণবিক গঠনের সঙ্গে প্রতিস্থাপিত গ্রুপগুলি এই সূত্রের সাহায্যে সহজেই সনাক্ত করা সম্ভব।

ইলেকট্রনিক বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য হল একই পরমাণু বিশিষ্ট অণুর ক্ষেত্রে এই বর্ণালী প্রযোজ্য। যেমন H_2, O_2, N_2-অণুর ক্ষেত্রেও এই বর্ণালী বিশ্লেষণ সম্ভব।

2 $^1H^{35}Cl$ আণুব অণু-তরঙ্গ বিকিরণ জনিত কম্পাঙ্ক $6\cdot35\times10^{11}$Hz। এক গ্রাম অণু $^1H^{35}Cl^-$-এর ঘূর্ণন শক্তির পরিবর্তন কত হবে।

৪·6 সারাংশ ঃ

● আলোক তরঙ্গ বিকিরণে ঘূর্ণনজনিত এবং ইলেকট্রন শক্তি স্তর জনিত পরিবর্তন দেখা যায়। বিভিন্ন আণবিক প্রক্রিয়ার জন্য ভিন্ন ভিন্ন আলোক তরঙ্গ প্রয়োজন।

● আলোক তরঙ্গ কম্পাঙ্কের মান শক্তির পরিবর্তন নির্ধারণ করে। অর্থাৎ

$$E = h\upsilon$$

অথবা, $\upsilon = \Delta E/h.$

● বর্ণালী বিজ্ঞানে শক্তির মান পরিবর্তনকে তরঙ্গ সংখ্যায় প্রকাশ করা হয়।

$$\text{তরঙ্গ সংখ্যা, } \bar{\upsilon} = \frac{\upsilon}{C} = \Delta E / hC.$$

● ঘূর্ণন বর্ণালী বিশ্লেষণ থেকে পদার্থের অণুর জাড্য ভ্রামক এবং বন্ধনী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।

$$\text{ঘূর্ণন-ধ্রুবক, } B = \frac{h}{8\pi IC} \text{ A} \quad \text{বন্ধনী দৈর্ঘ্য, } r_o = \sqrt{I/\mu}$$

● অণুসংখ্যার প্রাবল্য থেকে ঘূর্ণন স্তরে অণু সংখ্যা নির্ণয় করা যায় $\frac{n_j}{n_o} = e^{-Bhc\tau(\tau+1)/RT}$

● অণু-তরঙ্গ সক্রিয় হতে হ'লে পদার্থের অণু স্থায়ী দ্বি-মেরু ভ্রামক হতে হবে। অর্থাৎ, পদার্থের অণু ধ্রুবীয় হতে হবে।

● উৎক্রমণের নির্বাচন সূত্র-ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যার ব্যবধান $\Delta J = \pm 1$ হ'তে হবে।

$\Delta J = +1$ হ'লে শোষণ বর্ণালী হবে,

$\Delta J = -1$ হ'লে বিকিরণ বর্ণালীয় হবে।

● শোষণ বর্ণালীর শক্তি পরিবর্তন ঃ $\Delta E = E_{j+1} - E_j$.

$$\Delta E = \frac{h^2}{I}(J+1)$$

শক্তির পরিবর্তন তরঙ্গ সংখ্যায়, $\Delta\bar{\upsilon} = 2B(\tau = 1)$

● ঘূর্ণন স্তরের পরত বা degeneracy-র জন্য অণুসংখ্যা প্রাবল্য

$$\frac{n_j}{n_o} = (2J+1)e^{-Bhcj(j+1)/RT}$$

● সর্বোচ্চ ঘূর্ণন স্তর, $J = \sqrt{2RT/Bhc} - \frac{1}{2}$

● অদৃঢ় বন্ধনী যুক্ত অণুর শক্তি, $E_j = BhcJ(J+1) - Dhc\tau^2(\tau+1)^2$

$$B = \frac{h}{8\pi^2 IC}; \qquad D = \frac{h^3}{32\pi^4 I^2 \tau^2 RC}$$

শক্তির ব্যবধান তরঙ্গ-সংখ্যায়, $\Delta\bar{\upsilon} = 2B(J+1) - 40\ (J+1)^3$.

● অণুতরঙ্গ বর্ণালী বিশ্লেষণের সাহায্যে পদার্থের অণুর সম্পর্কে যে সমস্ত ধারণা করা যায় তা হ'ল ঃ

(i) অণুর বন্ধনী-দৈর্ঘ্য নির্ণয়;

(ii) পদার্থের মধ্যে সমস্থানিকের উপস্থিতি;

(iii) পদার্থের অণুবিন্যাসী সমাবায়ের উপস্থিতি;

(iv) পদার্থের মিশ্রণ বিশ্লেষণ।

● অণুর বন্ধনী সম্প্রসারণ ও সঙ্কোচন সরল দোলকের গতির ন্যায় আচরণ করে।

● তরঙ্গ সংখ্যায় কম্পাঙ্কের মান,

$$\varpi_{osc} = \frac{1}{2\pi c}\sqrt{\frac{R}{\mu}}$$

কম্পন স্তরের শক্তির মান, $\Sigma_\theta = \varpi_{osc} hc\left(v + \frac{1}{2}\right)$

● বিভিন্ন ঘূর্ণনস্তরে অণুসংখ্যার প্রবল্য,

$$\frac{n_\theta}{n_\upsilon} = e^{-\left(v+\frac{1}{2}\right)\varpi_{osc} hc/RT}.$$

● বাস্তবে অণুগুলি সুমমণ্ডলে দোলক নয়, এদের অসমণ্ডলে দোলনের জন্য কম্পন স্তরের শক্তির মান,

$$\Sigma_\upsilon = \left(\upsilon + \frac{1}{2}\right)\varpi_e - \left(\upsilon + \frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e xe.$$

● সুমমঞ্জস দোলনে কম্পন স্তরের শক্তি পার্থক্য সর্বদা সমান, $\Delta\Sigma_\upsilon = \varpi_{osc}$

অসমঞ্জস দোলনে কম্প স্তরের শক্তি-পার্থক্য

$\Delta\Sigma_\upsilon = \varpi_e(1 - 2x_e)$.....(1)

$\Delta\Sigma_\upsilon = 2\varpi_e(1 - 3x_e)$.....(2)

$\Delta\Sigma_\upsilon = 3\varpi_e(1 - 4x_e)$.....(3)

(1) নং সমীকরণকে মৌল ব্যক্ত বা fundamental band বলে;

(2) এবং (3) নং সমীকরণকে অপ্রধান বা গৌণ ব্যান্ড বলে (overtone)।

● উষ্ণতার বৃদ্ধির সঙ্গে কম্পন শক্তির উপরের স্তরের অনুসংখ্যা বৃদ্ধি পায়। উষ্ণতা তিনগুণ বৃদ্ধি পেলে অণুসংখ্যা উপরের স্তরে প্রায় 100 গুণ হবে।

● কম্পন জনিত শক্তি স্তরের সঙ্গে ঘূর্ণনজনিত শক্তি স্তর থাকে। কম্পনজনিত শক্তি স্তরের তরঙ্গ সংখ্যা 1000 cm^{-1}-এর কাছাকাছি কিন্তু, ঘূণনজনিত শক্তি স্তরের তরঙ্গ সংখ্যা $10cm^{-1}$। যেহেতু, কম্পনজনিত শক্তি স্তরের সঙ্গে ঘূর্ণনজনিত শক্তি স্তর থাকে, মোট শক্তির মান তরঙ্গ সংখ্যায়,

$$\Sigma_\upsilon = BJ(J+1) - \Delta J^2(J+1)^2 + \left(\upsilon + \frac{1}{2}\right)\varpi_e - \left(\upsilon + \frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e,$$

শক্তির পরিবর্তন, $\Delta\Sigma_\upsilon = 2B(J+1) - 3D(J+1)^3 + \varpi_e(1 - 2x_e)$

$\Delta J = \pm 1$, $\Delta \upsilon = \pm 1$ হ'লে।

● $\Delta J = -1$ হ'লে বর্ণালী রেখাকে p-শাখা আর $\Delta J = +1$ হ'লে বর্ণালী রেখাকে R-শাখা বলে।

● অণুর কম্পনজনিত স্বতন্ত্র সংখ্যা থেকে কোন্ কোন্ কম্পনের জন্য অণু অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয় তা জানা যায়। যেমন, অণু অপ্রতিসম টানে অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয়। কিন্তু, অণু প্রতিসম টানে অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয় নয়।

● কম্পন বর্ণালী থেকে পদার্থের আণবিক গঠনের পরিচয় পাওয়া যায়—যেমন, কোন গ্রুপ আছে বলা যায়, অণুর জ্যামিতি-সমতালিক না ত্রিমাত্রিক, রৈখিক না কৌণিক সে সম্পর্কে জানা যায়।

● ঘূর্ণন বা কম্পনজনিত বর্ণালীর মত ইলেকট্রন বর্ণালীর পদার্থকে দ্বি-মেরু ভ্রামক বা আবিষ্ট দ্বি-মেরু ভ্রামক না হলেও চলবে।

ঘূর্ণন বা কম্পনজনিত শক্তি স্তরের নির্বাচন সূত্র

$\Delta t = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots\ldots$ এবং $\Delta u = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots\ldots$ হলেও চলবে।

প্রতিসম অণু বা একই পরমাণুবিশিষ্ট অণুর ক্ষেত্রেও ইলেকট্রন বর্ণালী প্রযোজ্য।

● ইলেকট্রন বর্ণালী ফ্রাঙ্ক কম্পনের নীতি মেনে চলে।

● ইলেকট্রন বর্ণালীতে শক্তির সর্ব-নিম্নস্তর থেকে। পরবর্তী স্তরে উৎক্রমণে শোষণ বর্ণালী বা বিকিরণ বর্ণালী দেখা যায়। ঘূর্ণন শক্তি স্তর জনিত পরিবর্তন নগন্য ধরলে, মোট শক্তি স্তরে পরিবর্তন,

$$\Delta\Sigma_{tot} = \Delta\Sigma_{el} + \Delta\Sigma_{vil}$$

$$\Delta\Sigma_{tot} = \Delta\Sigma_{el} + (\upsilon^1 - \upsilon)\varpi_e - \{(\upsilon^1 - \upsilon)(\upsilon^1 + \upsilon + 1)\}\varpi_e x_e$$

$$\Delta\Sigma_{tot} = \Delta\Sigma_{el} + (\upsilon^1 - \upsilon)\varpi_e - [1 - (\upsilon^1 + \upsilon + 1)x_e]$$

● ইলেকট্রন বর্ণালীর সাহায্যে বিযোজন শক্তি নির্ণয় করা যায়। উৎক্রমণে সর্বোচ্চ কম্পন শক্তি স্তর নির্ণয় করা সম্ভব—$\upsilon_{max} = \frac{1}{2x_e} - 1$

● ঘূর্ণন শক্তি স্তরের পরিবর্তনকে গন্য করলে, মোট শক্তি স্তরের পরিবর্তন;

$$\Delta\Sigma = \Delta\Sigma_{el} + (\upsilon^{11} + \upsilon^1)[1 - (\upsilon^{11} + \upsilon^1 + 1)]\varpi_e x_e + B^1J^1(J^1 + 1) - B^{11}J^{11}(J^{11} + 1)$$

● ইলেকট্রন বর্ণালীতে প্রতিপ্রভা, অনুপ্রভা এবং রাসায়নিক সংদীপ্তি লক্ষ্য করা যায়।

প্রতিপ্রভায় কোনো আন্তঃতন্ত্র অতিক্রমণ হয় না, অনুপ্রভায় আন্তঃতন্ত্র অতিক্রমণ হয়।

প্রতিপ্রভাব চেয়ে অণুপ্রভায় প্রায় 1000 গুণ বেশি সময় লাগে।

● ইলেকট্রন বর্ণালী বিশ্লেষণের দ্বারা পদার্থের আণবিক গঠন এবং পদার্থের অণুর গ্রুপগত বৈশিষ্ট্য জানা যায়।

8·7 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. একটি আলোক তরঙ্গের দৈর্ঘ 3μm. তরঙ্গসংখ্যা এবং শক্তি কত হবে? এই তরঙ্গ সংখ্যার শক্তি কোন্ ধরনের আণবিক প্রক্রিয়া সম্পন্ন করে?

2. 10^8 Hz কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলোক তরঙ্গ ঘূর্ণনজনিত শক্তি স্তর পরিবর্তনে সক্ষম হবে কি?

3. 10^{20}Hz কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলোক তরঙ্গ পদার্থের আণবিক গঠনে কী ধরনের পরিবর্তন সম্পন্ন করবে?

4. C–H বন্ধন বিযোজন শক্তি 435 Kτmol^{-1}, কোন্ আলোক তরঙ্গ C–H বন্ধনী বিযোজনে সক্ষম?

5. লাল আলোর তরঙ্গের 9700 nm) শক্তি ক্যালরিতে কত?

8·8·8·(II) : প্রশ্নমালা ঃ

6·1· কোন্‌টি সত্য, কোন্‌টি মিথ্যা বলুন ঃ

(i) দ্বি-মেরু ভ্রামক শূন্য হ'লে অণু ঘূর্ণন স্তরে কোন পরিবর্তন সাধন করতে পারে না;

(ii) CO_2- অণু অণু-তরঙ্গ আলোক সক্রিয় নয়, কিন্তু N_2O-অণু অণুতরঙ্গ আলোক সক্রিয়;

(iii) H_2, N_2, O_2,-অণু অণুতরঙ্গ আলোক সক্রিয়;

(iv) H_2O, SO_2 অণু অণুতরঙ্গ আলোক সক্রিয়;

(v) CH_4, CH_3Cl অণুতরঙ্গ আলোক সক্রিয়;

(vi) সমস্থানিকের সাহায্যে বন্ধনী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা সহজ;

(vii) অণুতরঙ্গ বিকিরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 0·03 cm;

(viii) 0·03 cm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোকের ঘূর্ণন শক্তির $6·6\times10^{-22}$ Soule molal^{-1};

(ix) বৃহদাণুর ক্ষেত্রে ঘূর্ণনস্তরের ব্যবধান বেশি, ক্ষুদ্রাণুর ক্ষেত্রে কম;

(x) ক্ষুদ্রাণুর ক্ষেত্রে অণুতরঙ্গ বিকিরণ বর্ণালী বিশেষভাবে প্রযোজ্য।

7. নিম্নলিখিত অণুগুলি প্রতিসম, গোলক না অপ্রতিসম

SF_6; IF_5; H_2S; PF_3; CO_2; BF_3; HCl; H_2O; NH_3; $CHCl_3$

উপরের অণুগুলির মধ্যে কোন্‌টি অণুতরঙ্গ বিকিরণ সক্রিয়, কোন্‌টি নয়।

8. প্রতি ফোটনে lev শক্তি সম্পন্ন আলোক তরঙ্গের কম্পাঙ্ক, তরঙ্গ দের্ঘ এবং তরঙ্গ সংখ্যা কত? এটি কোন ধরনের আলোক তরঙ্গ এবং কোন্ আণবিক প্রক্রিয়ার বর্ণালী পাওয়া যায়?

9. একটি দ্বি-আণবিক অণুর $J = 2$ থেকে $J = 3$ ঘূর্ণন স্তরের উৎক্রমণ হয় $\lambda = 2$ cm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে, $J = 6$ থেকে $J = 7$ ঘূর্ণন স্তরে উৎক্রমণ হতে গেলে λ র মান কত হবে?

10. $^{39}k^{37}Cl$ অণুর $J = 2 \rightarrow 3$ ঘূর্ণন স্তরের কম্পাঙ্ক 22410 MHz। $J = O \rightarrow 1$ উৎক্রমণের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করুন।

11. $H^{127}I$ অণুর আন্তঃ নিউক্লিও সাম্য দূরত্ব হ'ল 160·4 pm; তরঙ্গ সংখ্যায় এবং মেগাহার্ৎজে ঘূর্ণন ধ্রুবকের (B) মান কত হবে?

12. $H^{12}C^{14}N$-এর জাড্য ভ্রামকের মান $1{\cdot}89 \times 10^{-46} kg.m^2$। দৃঢ় ঘূর্ণক ধরে নিলে অণুতরঙ্গ বর্ণালী কি ধরণের হবে?

13. $H^{35}Cl$-অণুর $J = 2 \rightarrow 3$ ঘূর্ণন স্তর উৎক্রমণের তরঙ্গ সংখ্যা $63{\cdot}56\ Cm^{-1}$। অণুটির জাড্য ভ্রামক এবং বন্ধনী দৈর্ঘ্য কত?

14. $H^{35}Cl$-অণুর ঘূর্ণন ধ্রুবক $10{\cdot}59\ Cm^{-1}$ হ'লে $H^{37}Cl$- এবং $^2D^{35}Cl$ অণুর ঘূর্ণন ধ্রুবক কত হবে?

15. $^{12}C^{16}O$-অণুর প্রথম বর্ণালী রেখাটির তরঙ্গ সংখ্যা $3{\cdot}8\ Cm^{-1}$। $J = 1$ ঘূর্ণন স্তরে 27°C উষ্ণতায় অণুসংখ্যা কত হবে? কোন্ ঘূর্ণন স্তরে ঐ উষ্ণতায় সর্বোচ্চ অণুসংখ্যা হবে?

16. নিচের কোন্ কোন্ অণুগুলি অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয়ঃ

H_2O, CO_2, COS, N_2O, NO,

H_2S, SO_2, HF, H_2, O_2.

17. $H^{35}Cl$ অণুর কম্পনজনিত বর্ণালী থেকে নিম্নলিখিত তথ্য পাওয়া যায়ঃ

তীব্র রেখাঃ $2886\ Cm^{-1}$

দুর্বল রেখ ঃ $5668\ Cm^{-1}$

ক্ষীণ রেখাঃ $8347\ Cm^{-1}$ ব্যাখ্যা করুন।

18. $^{14}N^{16}O$ অণুর কম্পনজনিত বর্ণালীর মৌল এবং প্রথম গৌণ রেখা যথাক্রমে $1876{\cdot}06\ Cm^{-1}$ এবং $3724{\cdot}00\ Cm^{-1}$। সাম্য কম্পাঙ্ক, অসমঞ্জসতা, বল ধ্রুবক এবং শূন্যাঙ্ক শক্তি গণনা করুন।

19. নিচের অণুগুলির বিভিন্ন ধরনের স্বাতন্ত্র সংখ্যা কত হবে?

HCl, CO_2, H_2O, NH_3 এবং CH_4

20. নিচের জোড়গুলির মধ্যে কোন্‌টির কম্পাঙ্ক বেশিঃ

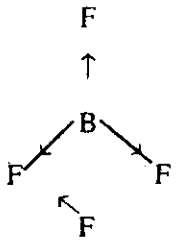
(i) C = C; C ≡ C

(ii) C – H; C – D

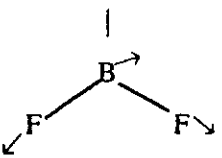
(iii) C – H: CH_2 (বাঁকানো)

21. BF_3 অণুর কোন্ ধরনের কম্পন অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় হবে—

(i)



(ii)



22. জৈব যৌগে C – H-বন্ধনী কম্পনজনিত টানের কম্পাঙ্ক 2900 Cm^{-1} হ'লে বলধ্রুবক কত হবে? C–D বন্ধনীর কম্পনজনিত টানের কম্পাঙ্ক কত হবে?

23. $^{79}Br^{79}Br$ অণুর বল-ধ্রুবক 240 Nm^{-1}। $^{79}Br_2$-র মৌল কম্পাঙ্ক এবং শূন্যাঙ্ক শক্তি কত হবে?

24. I_2 -অণুর সাম্য কম্পাঙ্ক 215 Cm^{-1} এবং অসমঞ্জস দোলন ধ্রুবক 0·003; $\upsilon = o \rightarrow 1$। মৌল কম্পাঙ্ক সাপেক্ষে 300k উষ্ণতায় $\upsilon = 1 \rightarrow 2$ উত্তপ্ত ব্যান্ডের তীব্রতা কত?

25. $\upsilon = o$ স্তরে HCl, DCl, D_2 এবং HD-এর তরঙ্গ সংখ্যায় কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 2885 Cm^{-1}, 1990 Cm^{-1}, এবং 3627 Cm^{-1}। নিম্নলিখিত বিক্রিয়ার শক্তি $KJmol^{-1}$ -এ গণনা করুন;

$HCl + D_2 \rightarrow DCl + HD.$

এবং শক্তি শোষিত হ'ল না বিকিরিত হ'ল।

26. দেখা যে, H_2, HD এবং D_2-র বলধ্রুবক এবং আন্তঃনিউক্লিও দূরত্ব বর্ণ-ওপেনহাইমারের আসন্নতা অনুযায়ী সমান। এই অণুগুলির মৌল কম্পাঙ্ক কি প্রমাণ?

27. $H^{35}Cl$ -অণুর মৌল কম্পাঙ্ক তরঙ্গ সংখ্যায় 2990 Cm^{-1}। $D^{35}Cl$-অণুর মৌল কম্পাঙ্ক কত?

28. H_2, HD এবং D_2 অণুর বল-ধ্রুবক এবং সাম্য নিউক্লিও দূরত্ব সমান — ব্যাখ্যা করুন।

29. উপরি উক্ত অণুগুলির মৌল কম্পাঙ্ক কি সমান হবে উত্তরে স্বপক্ষে যুক্তি দিন।

30. উপরি-উক্ত অণুগুলির ঘূর্ণন ধ্রুবকও কি সমান হবে—উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দিন।

31. $H^{35}Cl$ অণুর মৌল কম্পাঙ্ক 2990 Cm^{-1}, $D^{35}Cl$-অণুর মৌল কম্পাঙ্ক নির্ণয় করুন।

32. H_2 এবং D_2 অণুর নিম্নলিখিত মানগুলি সমান না পৃথক ঃ D_e; এবং I_e। কারণ সহকারে ব্যাখ্যা করুন।

33. H_2 এবং D_2 অণুর বন্ধ কম্পন স্তর কি একই হবে—কারণ সহকারে ব্যাখ্যা করুন।

34. একটি পলিইন যৌগের রঙের তীব্রতা বাড়াতে হ'লে শৃংখলটির দৈর্ঘ্য কমাবেন না বাড়াবেন? এর ফলে বিকিরিত আলোক তরঙ্গ লালের দিকে নীলের দিকে যাবে?

35. জলীয় দ্রবণে অনেক ক্ষেত্রেই প্রতিপ্রভা দেখা যায় না—ব্যাখ্যা করুন।

36. প্রতিপ্রভা বিকিরণ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য শোষণ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের চেয়ে কম হবে—ব্যাখ্যা করুন।

37. অণুপ্রভা বিকিরণে প্রতিপ্রভা বিকিরণের চেয়ে বেশি সময় লাগে —ব্যাখ্যা করুন।

38. অণুপ্রভা বিকিরণ অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতায় ভাল হয়—ব্যাখ্যা করুন।

39. জ্যাবলন্স্কি চিত্রটি আঁকুন এবং প্রতিটি প্রক্রিয়া করুন।

40. অ্যালডিহাইড এবং কিটোনের $-C=O$ গ্রুপের 270-295 nm-এ দুর্বল শোষণ বর্ণালী দেখা যায়, আবার, 180–195 nm তরমগ দৈর্ঘে তীব্র বর্ণালী পাওয়া যায় কেন?

41. প্রতিপ্রভা বিকিরণের সাহায্যে পদার্থের বর্ণালী বিশ্লেষণে সহজে করা যায় কেন?

42. প্রতিপ্রভা বিকিরণের তীব্রতা বনাম তরঙ্গ সংখ্যা চিহ্ন আঁকুন এবং ব্যাখ্যা করুন।

8·8 উত্তরমালা

অনুশীলনী—1

1. $3 \times 10^{13} H_3$; $10^3 Cm^{-1}$; $19{\cdot}9 \times 10^{-21} J$; অণুর কম্পনজনিত শক্তিস্তর পরিবর্তন।

অনুশীলনী—2

1. তরঙ্গদৈর্ঘ, $\lambda = 700\ nm = 700 \times 10^{-9} m.$

$$= 700 \times 10^{-7}\ Cm$$

$$= 7 \times 10^{-5}\ Cm.$$

বর্ণালী শক্তি, $\bar{\gamma} = \frac{\gamma}{C} = \frac{2}{\lambda}$

$$\bar{\gamma} = \frac{i}{7 \times 10^{-5}}\ Cm^{-1}$$

$\bar{\gamma} = 1{\cdot}43 \times 10^4 Cm^{-1}$.

এই তরঙ্গ দৈর্ঘের আলোর শক্তি

$\Delta E = hc\bar{\gamma} = (6{\cdot}627 \times 10^{-34}\ JS) \times (3 \times 10^{8}\ ms^{-1}) \times (1{\cdot}43 \times 10^{6} m^{-1})$

$DE = 2{\cdot}84 \times 10^{-19} J$

ইলেকট্রন শক্তি স্তরের পরিবর্তন সাধন করবে।

2. এক গ্রাম অণু $^{1}H^{35}Cl$-এর ঘূর্ণন-শক্তি $= \Delta E = Nh\gamma$

$= 6{\cdot}023 \times 10^{23} \times 10^{-34} \times 6{\cdot}35 \times 10^{4} J = 253{\cdot}456 J.$

অনুশীলনী—3

1. $B = 3{\cdot}175 \times 10^{5}$ MHZ; $10{\cdot}585\ Cm^{-1}$

2. $r_o = 304$ pm.

অনুশীলনী—4

1. $\Delta\gamma = 6{\cdot}35 \times 10^{11}$ Hz

$$\Delta\bar{\gamma} = \frac{\Delta\gamma}{C} = \frac{6{\cdot}35 \times 10^{11}}{3 \times 10^{8}} m^{-1}$$

$\Delta\bar{\gamma} = 2{\cdot}1167 \times 10^{3}\ m^{-1}$

আবার, বর্ণালী রেখার ব্যবধান

$2B = 2{\cdot}1167 \times 10^{3}\ m^{-1}$

$B = 1{\cdot}05835 = 1058{\cdot}35 m^{-1}.$

জাড্য ভ্রামক, $I = \dfrac{h}{8\pi^2 BC}$

$$I = \frac{6{\cdot}627 \times 10^{-34}}{8 \times (3{\cdot}14)^2 \times 1058{\cdot}35 \times 3 \times 10^{8}} kgm^2$$

$I = 2{\cdot}646 \times 10^{-47} kg\text{-}m^2$

$H^{35}Cl$- অণুর বন্ধনী-দৈর্ঘ্য,

$r_o = \sqrt{I/\mu}$

$$\mu = \frac{m_H m_{Cl}}{M_H + m_{Cl}}$$

$= \frac{1\times35}{36}\times1\cdot67343\times10^{-27}\,kg.$

$= 1\cdot627\times10^{-27}\,kg.$

অতএব, $r_o = \sqrt{2\cdot646\times10^{-47}/1\cdot627\times10^{-27}}\,m$

$= 1\cdot28\times10^{-10}\,m$

$= 128$ pm.

2 ঘূর্ণন শক্তি, $E = \frac{1}{2}I\omega^2$

$$\omega = \sqrt{\frac{2E}{I}}$$

বা, $\omega = \sqrt{2BhJ(J+1)\frac{h}{8\pi^2B}}$

$$\omega = \cdot4\pi B\sqrt{J(J+1)}$$

$$\omega = 4\times3\cdot14\times6500\times10^6\times\sqrt{10\times11}\,S^{-1}$$

$$\omega = 4\times3\cdot14\times65\times\sqrt{110}\times10^8 \quad S^{-1}$$

$$\omega = 8\cdot562\times10^{11} \quad S^{-1}$$

অনুশীলনী—5

1. সর্বোচ্চ ঘূর্ণন-সংখ্যা,

$$\theta_{max} = \frac{1}{2x_e} - 1$$

$$= \frac{1}{2\times\cdot0172} - 1$$

$$= \frac{1}{\cdot0344} - 1$$

$= 28\cdot07 \cong 28.$

বিয়োজন শক্তি,

$$\Sigma_\upsilon = \Sigma_\upsilon = \left(\upsilon + \frac{1}{2}\right)\varpi_e - \left(\upsilon + \frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e$$

$\Sigma_\upsilon = 28{\cdot}5 \times 2309{\cdot}5 - (28{\cdot}5)^2 \times 2309{\cdot}5 \times {\cdot}0172\ Cm^{-1}$

$\Sigma_\upsilon = 33555{\cdot}42\ Cm^{-1}$

$\Sigma_\upsilon = 33555{\cdot}42 \times 3 \times 10^{10} \times 6{\cdot}023 \times 10^{23} \times 6{\cdot}627 \times 10^{-34} \times 10^{-3} kJmol^{-1}$

$\Sigma_\upsilon = 401{\cdot}8\ KJ\ mol^{-1}$

তাপ রসায়ন থেকে HI-এর বিযোজন শক্তি 299 $k\tau\ mol^{-1}$ ।

অবলোহিত তরঙ্গ বর্ণালী থেকে প্রাপ্ত বিযোজন শক্তির সঙ্গে তাপ রসায়ন থেকে প্রাপ্ত শক্তির ব্যবধানের কারণ—(১) কম্পন বর্ণালী থেকে কেবলমাত্র মৌল এবং প্রথম ও দ্বিতীয় গৌণ রেখা পাওয়া যায় এবং (2) সর্বোচ্চ ঘূর্ণনসংখ্যায় $\Sigma_\upsilon = \left(\upsilon + \frac{1}{2}\right)\varpi_e - \left(\upsilon + \frac{1}{2}\right)^2 \varpi_e x_e$ সমীকরণটি প্রযোজ্য নয়।

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. $\bar{\gamma} = 3{\cdot}3 \times 10^5 m^{-1}$; $\Delta E = 6{\cdot}56 \times 1{\cdot}0^{-20} Jmoleacl^{-1}$; জনিত শক্তির পরিবর্তন হবে।

2. $\bar{\gamma} - = 0{\cdot}33\ m^{-1}$; ঘূর্ণনজনিত শক্তি স্তরের পরিবর্তনে সক্ষম নয়। এই তরঙ্গ শক্তি নিউক্লিও চৌম্বক অনুনাদ বা ইলেকট্রন স্পিন অনুনাদ শক্তি স্তরে পরিবর্তন সম্পন্ন করে।

3. $\bar{\gamma} = 3{\cdot}3 \times 10^{11}\ m^{-1}$. এই তরঙ্গ সংখ্যা বিশিষ্ট আলোক শক্তি নিউক্লিও কণার পুন বিন্যাস সম্পন্ন করে।

4. 276 nm তরঙ্গদৈর্ঘের আলো অথবা তার চেয়ে কম তরঙ্গদৈর্ঘের আলো।

5. $\Delta E = 4{\cdot}09\ k\ Cal\ mol^{-1}$

6. (i) সত্য

   (ii) সত্য

   (iii) মিথ্যা

   (iv) সত্য

   (v) সত্য

   (vi) সত্য

   (vii) মিথ্যা

   (viii) সত্য

(ix) মিথ্যা

(x) মিথ্যা

7. SF_6 – প্রতিসম গোলক

IF_5 – অপ্রতিসম

H_2S – অপ্রতিসম

PF_3 – গোলক

CO_2 – প্রতিসম

BF_3 – অপ্রতিসম

HCi – অপ্রতিসম

H_2O – অপ্রতিসম

NH_3 – গোলক

$CHCl_3$ – গোলক

8. সূত্র : lev শক্তি $\equiv 1{\cdot}602177 \times 10^{-19}\tau$ molecule^{-1}

$\gamma = 2{\cdot}419 \times 10^{14}$ Hz

$l = 1{\cdot}24 \times 10^{-6}$ m

$\bar{\gamma} = 8{\cdot}06 \times 10^{5}$ m^{-1}

অবলোহিত তরঙ্গের আলো। অণুর কম্পনজনিত বর্ণালী।

9. $l = 0{\cdot}857$ Cm.

10. $\gamma = 74{\cdot}7 \times 10^{9}$ Hz $= 74700$ MHz.

11. $\bar{\gamma} = 10{\cdot}536$ m^{-1}

$\gamma = 3160{\cdot}8$ MHz.

12. $\gamma = 8{\cdot}88 \times 10^{10}$ S^{-1}

সম-অন্তর বিশিষ্ট রেখা পাওয়া যাবে।

13. $I = 26{\cdot}074 \times 10^{-47}$ kg m^2. $r_o = 406$ pm

14. সূত্র : $B_{H^{35}Cl} = \dfrac{h}{8\pi^2 I_{H^{35}Cl} C}$, $B_{H^{37}Cl} = \dfrac{h}{8\pi^2 I_{H7Cl} C}$

$$B_{2_{D^{35}Cl}} = \frac{h}{8\pi^2 I_{2_{D^{35}Cl}} C}.$$

$$\frac{B_{H^{37}Cl}}{B_{H^{35}Cl}} = \frac{I_{H^{35}Cl}}{I_{H^{37}Cl}} = \frac{\mu_{H^{35}Cl}}{\mu_{H^{37}Cl}} = \frac{35}{36} \times \frac{38}{37}$$

$$= 0{\cdot}9985.$$

$$B_{H^{37}Cl} = 0{\cdot}9985 \times B_{H^{35}Cl}$$

$$= 0{\cdot}9985 \times 10{\cdot}59\ Cm^{-1}$$

$$= 10{\cdot}574\ Cm^{-1}$$

$$\frac{B_{2_{D^{35}Cl}}}{B_{H^{35}Cl}} = \frac{I_{2_{D^{35}Cl}}}{I_{H^{35}Cl}} = \frac{\mu_{2_{D^{35}Cl}}}{\mu_{H^{35}Cl}}$$

$$= \frac{70}{37} \times \frac{36}{35} = 1{\cdot}9459$$

$$B_{2_{D^{35}Cl}} = 1{\cdot}9459 \times 10{\cdot}59\ Cm^{-1}$$

$$= 20{\cdot}607\ Cm^{-1}.$$

15. $$\frac{n_1}{n_o} = e^{-BhcJ(J+1)/RT}$$

$$\frac{n_1}{n_o} = e^{-190 \times 6{\cdot}627 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times 2/1{\cdot}38 \times 10^{-23} \times 300 \cdot}$$

$$\frac{n_1}{n_o} = e^{{\cdot}01825} = 98{\cdot}27$$

27°C উষ্ণতায় J = 1 ঘূর্ণন স্তরে অণুসংখ্যা 98·2%.

সর্বোচ্চ অণুসংখ্যা বিশিষ্ট ঘূর্ণন স্তর

$$J = \sqrt{\frac{2RT}{Bhc}} - \frac{1}{2}$$

$$J = \left(\frac{2\times1\cdot38\times10^{-23}\times300}{190\times6\cdot627\times10^{-34}\times3\times10^{8}}\right)^{1/2} - \frac{1}{2}$$

$J = 14.$

উত্তরমালা

16. H_2O — সক্রিয়

CO_2 — নিষ্ক্রিয়

COS — সক্রিয়

N_2O — সক্রিয়

NO — সক্রিয়

H_2S — সক্রিয়

SO_2 — সক্রিয়

HF — সক্রিয়

H_2 — নিষ্ক্রিয়

O_2 — নিষ্ক্রিয়।

17. $2886\ Cm^{-1}$ — মৌল কম্পন

$5668\ Cm^{-1}$ — প্রথম গৌণ কম্পন

$8347\ Cm^{-1}$ — দ্বিতীয় গৌণ কম্পন,

18. $\varpi_e = 1904\ Cm^{-1}$

$x_e = 0{\cdot}00735$

$R = 1563{\cdot}2\ Nm^{-1}$

$\Sigma_o = 1{\cdot}89 \times 10^{-20}$ ব molecub^{-1}

19.

অণু	মোট	গতিজনিত	ঘূর্ণনজনিত	কম্পনজনিত
HCl	6	3	2	1
CO_2	9	3	2	4
H_2O	9	3	3	3
NH_3	12	3	3	6
CH_2	15	3	3	9

20. $C \equiv C > C = C$

$C — H > C — D$

$C — H$ (সোজা টান) $> C — H$ (বাঁকানো)

21. (ii)

22. $R = 448{\cdot}3\ Nm^{-1}$

$\varpi e = 3010{\cdot}2\ Cm^{-1}$

23. $\varpi_e = 319{\cdot}85\ Cm^{-1}$

$\Sigma_o = 3{\cdot}17946 \times 10^{-21}\ J\ molecub^{-1}$.

24. $v = 1$ 2 স্তর উৎক্রমণের উত্তপ্ত ব্যান্ডের

অণুসংখ্যা $= e^{-\varpi_e hc(1-4=0)/RT}$

$= 0{\cdot}36$.

25. $\Delta\Sigma_{v=0} = \left(\Sigma_{HCl} + \Sigma_{D_{2_{v=0}}}\right) - \left(\Sigma_{DCl} + \Sigma_{HD_{v=0}}\right)$

$= (35{\cdot}17 - 33{\cdot}62)$ kJ.

$= 1{\cdot}55$ kJ.

$= 1{\cdot}55$ kJ পরিমাণ শক্তি নির্গত হবে।

26. বর্ণ-ওপেনহাইমারের আসন্নতা অনুযায়ী আন্তঃনিউক্লিও দূরত্ব অপরিবর্তিত থাকবে; অতএব, H_2, HD এবং D_2-র বল-ধ্রুবক অপরিবর্তিত থাকবে।

27. $\frac{\varpi_{DCl}}{\varpi_{HCl}} = \sqrt{\frac{\mu_{HCl}}{\mu_{DCl}}} = 0{\cdot}72$

$\Sigma\omega_{DCl} = 3990 \times 0{\cdot}72\ Cm^{-1}$

$\Sigma_{DCl} = 2152{\cdot}80\ Cm^{-1}$.

28. বর্ণ ওপেনহাইমারের আসন্নতা অনুযায়ী নিউক্লিও গতিকে ইলেকট্রন গতির তুলনায় নগন্য বলে উপেক্ষা করা হয়। এই কারণে, H_2 এবং HD-র নিউক্লিও পোটেনশিয়াল এনার্জী লেখচিত্র একই থাকে। ফলে, সাম্য নিউক্লিও দূরত্ব এবং বল-ধ্রুবক অপরিবর্তিত থাকে।

29. মৌল কম্পাঙ্ক (fundamental vibration frequency) অণুর সমানীত ভরের বর্গের সঙ্গে ব্যস্তানুপাতিক হওয়ায় H_2 এবং HD-এর মৌল কম্পাঙ্কের মান পৃথক হবে। $\varpi = \frac{1}{2\pi c}\sqrt{K/\mu}$.

30. অণুর ঘূর্ণন ধ্রুবক সমানীত ভরের সঙ্গে সমানুপাতিক। অতএব, H_2 এবং HD-র ঘূর্ণন ধ্রুবক পৃথক হবে।

31. $\frac{\varpi_1}{\varpi_2}\sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$

$\varpi_1 = 2114{\cdot}5\ Cm^{-1}$.

32. H_2 এবং D_2-র বিযোজন শক্তির, D_e, মান সমান হবে, কারণ, দুটি ক্ষেত্রেই আন্ত ঃ নিউক্লিওস্থিতি শক্তির রেখ চিত্র এক।

H_2 এবং D_2-র জাড্য ভ্রামক পৃথক হবে। কারণ, জাড্য ভ্রামক সমানীত ভরের সঙ্গে সমানুপাতিক।

33. H_2 এবং D_1-র কম্পন স্তর একই হবে। কারণ, দুটি অণুর ক্ষেত্রে আন্তঃ নিউক্লিও দূরত্ব এক থাকবে (বর্ণ-ওপেনহাইমারের আসন্নতা অনুযায়ী)

34. দৈর্ঘ্য বাড়াতে হবে।

নীলের দিকে যাবে।

35. জলীয় দ্রবণে কিছুটা কম্পন প্রশমিত হয়। প্রতিপ্রভা বিকিরণ অনেক ক্ষেত্রে পাওয়া যায় না।

36. যেহেতু আলোক তরঙ্গ শোষণের পর কম্পন অনেকটা প্রশমিত হয়ে ইলেকট্রন নিম্নশক্তিস্তরে আসে, সেই কারণে বিকিরণ তরঙ্গ দৈর্ঘ শোষণ তরঙ্গ দৈর্ঘর চেয়ে কম হবে।

37. অণুপ্রভা বিকিরণে আন্তঃতন্ত্র অতিক্রমণ হয় বলে এই বিকিরণে প্রতিপ্রভা বিকিরণের চেয়ে বেশি সময়য লাগে।

38. অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতাঙ্ক কম্পন শক্তি প্রশমনে সহায়ক। এই কারণে অণুপ্রভা বিকিরণ সুবিধাজনক।

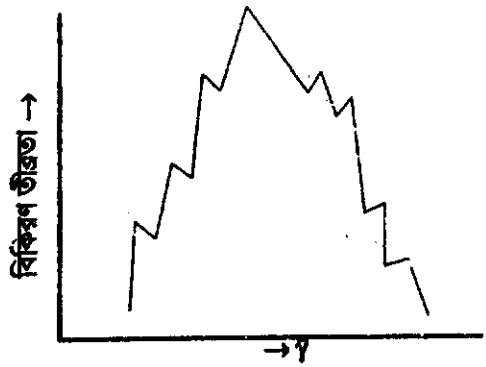
39. মূল পাঠ্যে দেওয়া আছে।

40. 270 – 295 nm-এর দুর্বল শোষণ বর্ণালী $n \rightarrow \pi^*$

180 – 195 nm-এর তীব্র শোষণ বর্ণালী $\pi \rightarrow \pi^*$.

41. প্রতিপ্রভায় অতি বেগুনি থেকে দৃশ্যমান আলোক তরঙ্গ বিকিরিত হয় বলে বর্ণালী বিশ্লেষণ সহজে করা যায়।

42.



89. অতিরিক্ত সাহায্যকারী পুস্তক সমূহ

(১) **Fundamentals of molecular spectroscopy**

—C. N. Banwell - Tata Megraw Hill Publiating company Limited.

(২) **Quantum chemistry – Donald A. McQuamrrie**

—Viva Books Private limited.

একক 9 ❑ রামন বর্ণালী ও পদার্থের গঠন

গঠন

9. 1. প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

9.2 রামন বর্ণালী ও কোয়ান্টাম তত্ত্ব

9.3 রামন বর্ণালীর শর্তাবলী

9.4 বিশুদ্ধ রামন বর্ণালী ঃ স্টোকস্ এবং অ্যান্টি স্টোকস লাইন। P এবং R শাখা

9.5 কম্পনজনিত রামন বর্ণালী—ধ্রুবীয়তা পরিবর্তন এবং অণুর গঠন প্রকৃতি

9.5.1 প্রতিসম লাট্টুর ন্যায় অণুর ক্ষেত্র

9.5.2 অপ্রতিসম অণুর ক্ষেত্র

9.5.3 কম্পনজনিত রামন বর্ণালী

9.6 পারস্পরিক অপবর্জনের সূত্র

9.7 কম্পনজনিত রামন বর্ণালী এবং মৌল ও গৌণ কম্পন

7.8 রামন বর্ণালীর থেকে পদার্থের গঠন

9.9 রামন বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য

9.10 সারাংশ

9.11 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

9.12 উত্তরমালা

9.13 অতিরিক্ত সাহায্যকারী পুস্তকসমূহ

9.1 প্রস্তাবনা ঃ

ভূমিকা ঃ শোষণ বর্ণালীর সঙ্গে রমন বর্ণালীর প্রার্থক্য হল শেষোক্ত প্রক্রিয়ায় বিক্ষেপনের মাধ্যমে বর্ণালী পাওয়া যায়। বিক্ষেপনের ফলে সমস্ত অণুর ক্ষেত্রেই রমন বর্ণালী লক্ষ্য করা যায়। শোষণ বর্ণালীর ঘূর্ণন বা কম্পনজনিত বর্ণালীর আবশ্যিক শর্ত ছিল অণুগুলি স্থায়ী জাড্যভ্রামক হতে হবে। অণুর ঘূর্ণন বা কম্পনজনিত কারণে বিক্ষিপ্ত বিকিরণের চেয়ে কম বা বেশি পরিমান বিকিরণ হয়। বিক্ষিপ্ত বিকিরণের কম্পাঙ্কের চেয়ে কম কম্পাঙ্কের বিক্ষেপন হলে তাকে অ্যান্টি-স্টোকস্ বিকিরণ বলে। আর বেশি বিকিরণ হলে স্টোকস্ বিকিরণ বলে। সমান কম্পাঙ্কের বিকিরণ হলে তবে র‍্যালে বিক্ষেপন বলে (Rayleigh Scathing)। রামন বর্ণালীর সাহায্যে অণু-পরমাণুর গঠন বৈশিষ্ট্য জানা যায়। যে সমস্ত অণুর গঠন-প্রকৃতি অবলোহিত বর্ণালীর দ্বারা জানা যায় না, সেই সমস্ত অণুর গঠন রামন বর্ণালীর সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব। রামন বর্ণালীর ব্যাপক প্রয়োগের জন্য এই বর্ণালীর আবিষ্কর্তা সি. ভি. রামন পদার্থবিদ্যার নোবেল পুরস্কার পান, 1933 সালে।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনারা জানতে ও বুঝতে পারবেন।

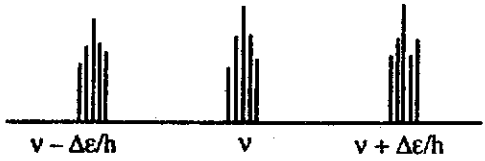
- রামন বর্ণালী কী ও কেন?
- রামন বর্ণালী ও কোয়াটাম তত্ত্ব।
- রামন বর্ণালীর শর্তাবলী ও বিভিন্ন ধরনের রামন বর্ণালী।
- রামন বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য ও তা থেকে পদার্থের গঠন সম্বন্দে কী ধারণা পাওয়া যায়।

9.2 রামন বর্ণালী ও কোয়াণ্টাম তত্ত্ব

যখন কোন স্বচ্ছ পদার্থের মধ্য দিয়ে একগুচ্ছ আলো পাঠানো হয়, তখন স্বল্প পরিমান আলোর বিক্ষেপন ঘটে। এই বিক্ষেপনের ফলে আপতিত বিকিরনের সমান কম্পাঙ্কের আলো বিকিরিত হলে র‍্যালে বিক্ষেপন বলে। আবার, এই বিক্ষেপনের ফলে আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্কের চেয়ে কম বা বেশি কম্পাঙ্কের আলো বিক্ষেপন করলে রামন বিক্ষেপন বলে।

রামন বিক্ষেপন সহজেই কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। ধরা যাক, ν কম্পাঙ্কের আলোর ফোটন কণার পদার্থের অণুর সঙ্গে সংঘর্ষ হলে যদি একই কম্পাঙ্কের আলো বিক্ষেপন করে তাহলে তাকে র‍্যালে বিক্ষেপন বলে। আবার, ফোটন কণা পদার্থের সঙ্গে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়ে কিছু পরিমান শক্তি বিনষ্ট হতে পারে, অথবা শক্তি বৃদ্ধি হতে পারে। অস্থিতিস্থাপক সংঘর্ষের ফলে শক্তি হ্রাস অথবা বৃদ্ধি পায়। শক্তি হ্রাস পেলে বিক্ষেপন কে স্টোকস্ বিকিরণ (Stoke's radiation) বলে। আর, শক্তি বৃদ্ধি পেলে বিক্ষেপনকে অ্যান্টি-স্টোকস্ বিকিরণ বলে (anti-stoke's radiation)।

ν যদি ফোটন কণার কম্পাঙ্ক হয়, তাহ'লে র‍্যালে বিক্ষেপনে বিকিরিত শক্তি $h\nu$। যদি ফোটন কণার সঙ্গে পদার্থের অণুর অস্থিতিস্থাপক সংঘর্ষের ফলে শক্তি হ্রাস বা বৃদ্ধি পায় তাহ'লে, $h\nu - \Delta\varepsilon$ হ'ল স্টোক্‌স বিকিরণ, $h\nu + \Delta\varepsilon$ হ'ল এন্টি স্টোকস্‌ বিকিরণ।



(চিত্র ঃ 9.1)

অতএব, রামন বিক্ষেপনের ফলে বিকিরণ কম্পাঙ্ক। $\nu' = \nu \pm \Delta\varepsilon / h$

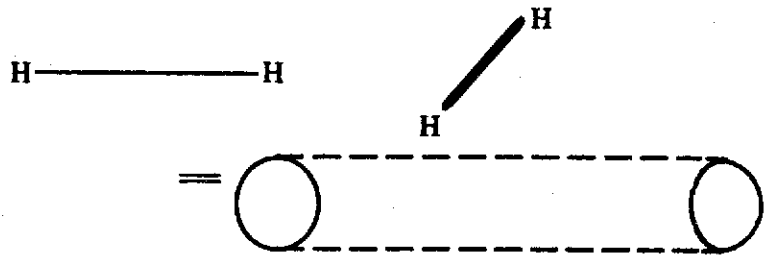
9.3 রামন বর্ণালীর শর্তাবলী ঃ

পদার্থের অণু রামন বর্ণালী সক্রিয় হবে কিনা তা নির্ভর করবে নিম্নলিখিত শর্তের উপর ঃ

(১) পদার্থের ঘূর্ণন অথবা কম্পনে ধ্রুবীয়তার পরিবর্তন হতে হবে। এই পরিবর্তন পরিমানে বা দিক্‌নির্দেশে হতে পারে।

(২) ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যার এবং কম্পন কোয়ান্টাম সংখ্যার পরিবর্তন নির্বাচন সূত্র অনুযায়ী ±। না হলেও চলবে। রামন বর্ণালীর নির্বাচন সূত্র $\Delta J = \pm 1, \pm 2, \ldots\ldots$এবং $\Delta\nu = \pm 1, \pm 2, \ldots\ldots$হলেও অণু রামন সক্রিয় হবে।

ঘূর্ণন এবং কম্পন বর্ণালীতে পদার্থের অণুর দ্বি-মেরু ভ্রামক থাকতে হবে। কিন্তু, রামন সক্রিয় হতে গেলে পদার্থের অণুর ধ্রুবকশীল-এর পরিবর্তন আবশ্যক। এই কারণে প্রায় সমস্ত অণুই রামন সক্রিয়। যেমন হাইড্রোজেন অণু অণু-তরঙ্গ এবং অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় নয়। কিন্তু, হাইড্রোজেন অণু রামন সক্রিয়। হাইড্রোজেন অণুর ধ্রুবীয়তা উপবৃত্তের আয়তন দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।



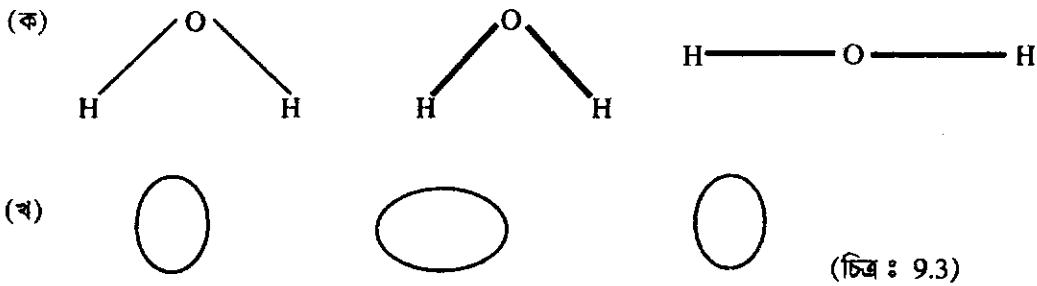
(চিত্র ঃ 9.2)

চিত্র থেকে এটা স্পষ্ট যে অক্ষ পরিবর্তিত হওয়ায় হাইড্রোজেন অণুর ধ্রুবীয়তা পরিবর্তিত হয়েছে। এই পরিবর্তন উপবৃত্তের আয়তনে পরিবর্তন সাধন করে।

যে কোন অণু স্থির তড়িতে ধ্রুবীয় হয়। এই আবিষ্ট ধ্রুবীয়তা দ্বিমেরু ভ্রামকের সঙ্গে যে সমীকরণ দ্বারা সম্পর্কিত তা হ'ল। $\mu = \alpha l$

একক আন্তঃ নিউক্লিয় দূরত্বে দ্বি-মেরু ভ্রামক অণুর ধ্রুবীয়তার সমান। পদার্থের অণুর ইলেকট্রন যে উপবৃত্তের সৃষ্টি করে সেই উপবৃত্ত বা বৃত্তের আয়তন ধ্রুবীয়তার বর্গমূলের সঙ্গে ব্যাস্তানুপাতিক। $\nu \propto \frac{1}{\sqrt{\alpha}}$

আন্তঃ নিউক্লীয় দূরত্ব যত কম হয়, ধ্রুবীয়তা তত কমে এবং উপবৃত্তের আয়তন তত বৃদ্ধি পায়। তিনটি অক্ষে জলের অণুর ধ্রুবণশীল উপবৃত্ত নিচে চিত্রের সাহায্যে দেখানো হয়েছে—



(চিত্র ঃ 9.3)

এই চিত্র থেকে তিনটি অক্ষেই জলের অণুর ধ্রুবীয়তা বোঝা যায়।

9.4 বিশুদ্ধ রামন বর্ণালী স্টোক্স এবং অ্যান্টি স্টোক্স্ লাইন P এবং R শাখা

রৈখিক অণুর ক্ষেত্রেঃ আগেই আপনারা দেখেছেন যে, পদার্থের অণুর ঘূর্ণন শক্তিস্তর,

$$\varepsilon_j = BJ(J+1) - DJ_2(J+2)^2 \ cm^{-1}$$

বিশুদ্ধ রামন ঘূর্ণন বর্ণালীতে কেন্দ্রাতিগ বিকৃত ধ্রুবক (contrifugal distortion constant)-কে উপেক্ষা করা যায়, তাহ'লেঃ

$$\varepsilon_j = BJ(J+1) \ cm^{-1}.$$

এই উৎক্রমণের নির্বাচনী সূত্রঃ $\Delta J = 0, \pm 2, 1.$

অর্থাৎ, $\Delta\varepsilon_j = B(J+2)(J+3) - BJ(J+1)$

$$\Delta\varepsilon_j = B(4J+6) \ cm^{-1} \ldots\ldots\ldots\ldots 9.1$$

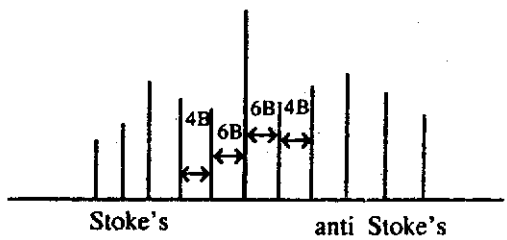
যেখানে $J = 0, 1, 2,...$

যখন $J = 0 \rightarrow 2;\ \Delta\varepsilon_j = 6B\ cm^{-1}$.....9.2

$J = 1 \rightarrow 3;\ \Delta\varepsilon_j = 10B\ cm^{-1}$.....9.3

$J = 2 \rightarrow 4;\ \Delta\varepsilon_j = 14B\ cm^{-1}$.....9.4

যদি ফোটন কণার সংঘর্ষের ফলে ঘূর্ণন শক্তি বৃদ্ধি পায় তাহলে নিম্নতরঙ্গ সংখ্যায় S-শাখার রেখা পাওয়া যায়। এদের স্টোকস্ রেখা (Stoke's line) বলে। আবার, যদি ফোটন কণার সংঘর্ষের ফলে ঘূর্ণন শক্তি হ্রাস পায় তাহ'লে উচ্চ তরঙ্গ সংখ্যার রেখা মূল রেখার ডানদিকে S-শাখার রেখা পাওয়া যায়। এদের অ্যান্টি-স্টোক্স রেখা (anti-stokes line) বলে।



চিত্র ঃ S শাখা 9.4

9.5 কম্পনজনিত রামন বর্ণালী—ধ্রুবীয়তার পরিবর্তন এবং অণুর গঠন প্রকৃতি ঃ

9.5.1 প্রতিসম লাট্টুর ন্যায় অণুর ক্ষেত্রে ঃ

মূল অক্ষের চতুর্দিকে ঘূর্ণনের ফলে ধ্রুবণশীলতা অপরিবর্তিত থাকে, কিন্তু প্রান্ত-প্রতিপ্রান্ত (end-one-end) ঘূর্ণনে ধ্রুবণশীলতা পরিবর্তিত হয়।

R-শাখার রেখা পাওয়া যায় $\Delta J = \pm 1$ উৎক্রমণে বা অধক্রমণে ঃ $\Delta\varepsilon_R = 2B(J+1)$.....9.5

S-শাখার রেখা পাওয়া যায় $\Delta S = \pm 2$ উৎক্রমণে বা অধক্রমণে ঃ $\Delta\varepsilon_S = 2B(2J+3)$

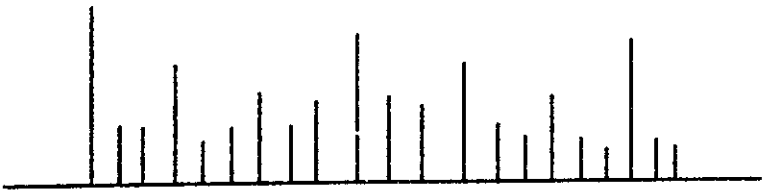
রামন বর্ণালীতে দু'ধরনের রেখা পাওয়া যায় ঃ

R-শাখায়, $\bar{\nu}_R = \bar{\nu}_{ex} + \Delta\varepsilon_R$.....9.6

$\bar{\nu}_R = \bar{\nu}_{ex} \pm 2B(J+1)$.....9.7

S-শাখায় ঃ $\nu_S = \nu_{ex} \pm \Delta\varepsilon_S$.....9.8

$\nu_S = \nu_{ex} \pm 2B(25 + 3)$.....9.8



চিত্র ঃ 9.5

R-এবং S-শাখা

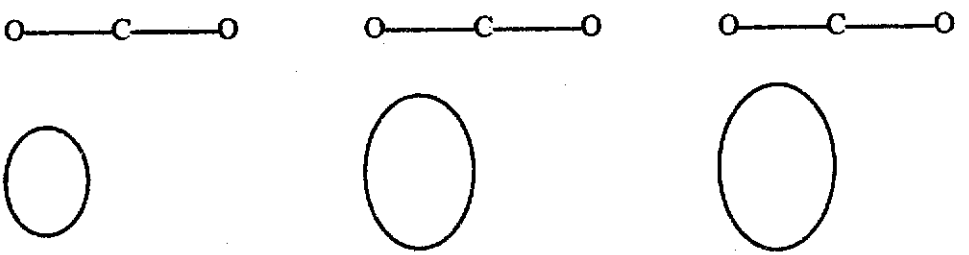
9.5.2 অপ্রতিসম অণুর ক্ষেত্রে ঃ

অপ্রতিসম অণুর সমস্ত ঘূর্ণনের ক্ষেত্রেই অণু ধ্রুবনশীল। অতএব, মূল অক্ষে, প্রান্ত-প্রতিপ্রান্ত ঘূর্ণনে অণুর ধ্রুবণশীলতার পরিবর্তন দেখা যায়।

9.5.2 কম্পনজনিত রামন বর্ণালী ঃ

বেশির ভাগ কম্পনে রামন সক্রিয়তা বেশিরভাগ অণুর মধ্যেই দেখা যায়। যে সমস্ত পদার্থের অণু কম্পন রামন সক্রিয়তা প্রদর্শন করে, সেই সমস্ত রৈখিক অণু অবলোহিত তরঙ্গ কম্পনে সক্রিয়তা থাকবে না। ধরা যাক, কার্বন ডাই-অক্সাইড অণুর কম্পন নিম্নরূপ।

প্রতিসম টান কম্পন ν_1.

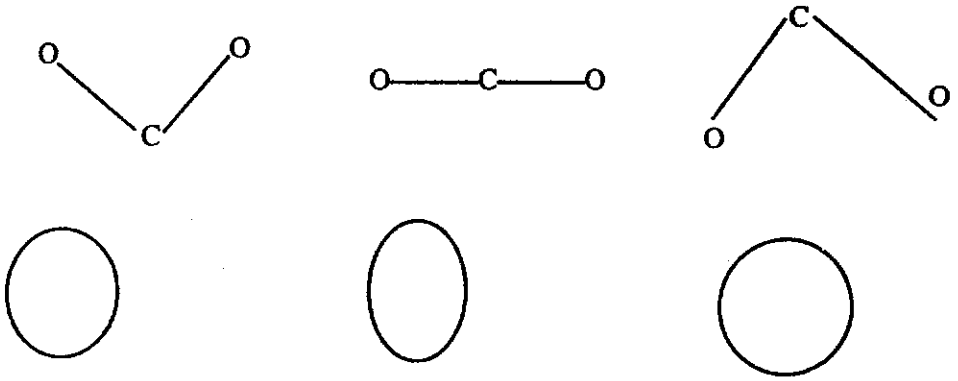


চিত্র ঃ 9.6

প্রতিসম টান কম্পনে পদার্থের অণুর ধ্রুবণশীলতার ক্রমবর্ধমান।

বাঁকানো অণু ঃ নিচে চিত্রের সাহায্যে বাঁকানো অণু (Bending mode) দেখানো হয়েছে—

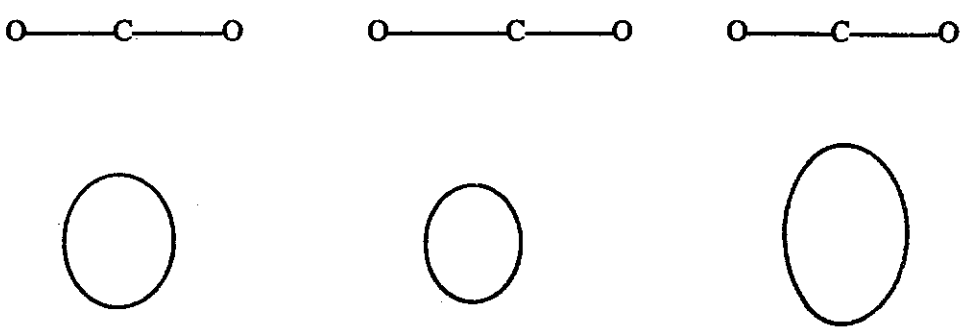
বাঁকানো অণু, ν_2



চিত্র : 9.7

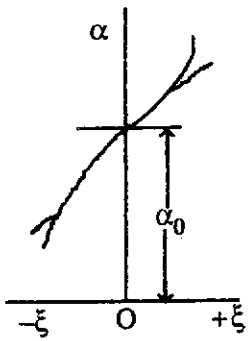
অপ্রতিসম টান, ν_3

চিত্রের সাহায্যে অপ্রতিসম টান (assymetric streteching) দেখানো হয়েছে—

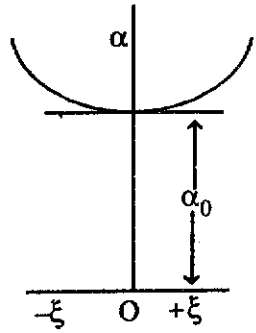


চিত্র : 9·8

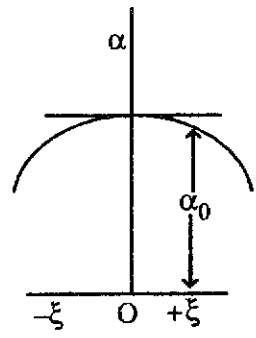
চিত্র 9.6 থেকে দেখা যাচ্ছে প্রতিসম টানে ধ্রুবনশীল উপবৃত্তের আয়তন ক্রমবর্ধমান। আবার, বাঁকা অণুর ক্ষেত্রে (চিত্র 9·7 দ্রষ্টব্য) ধ্রুবণশীল উপবৃত্তের আয়তন সর্বনিম্ন অবস্থানের মধ্য দিয়ে গেছে। অপ্রতিসমটান অণুর ক্ষেত্রে ধ্রুবণশীল উপবৃত্তের আয়তন সর্বোচ্চমাত্রা অর্জন করেছে। অতএব, ν_2 এবং ν_3 কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট অণুর ধ্রুবণশীলতার পরিবর্তন শূন্য হবে, যেহেতু এই দুটি ক্ষেত্রে ধ্রুবীয়তা সর্বনিম্ন এবং সর্বোচ্চ মাত্রা অর্জন করে।



চিত্র ঃ 9.9



চিত্র ঃ 9.10



চিত্র ঃ 9.11

ν_1-কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট প্রতিসম টান কম্পনে $(d\alpha / d\xi) \neq 0$।

অতএব, এই বিশেষ কম্পনে কার্বন ডাই-অক্সাইড অণু রামন সক্রিয় হবে।

ν_2 এবং ν_3 কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট বাঁকা অণুর এবং অপ্রতিসম টান কম্পনের ক্ষেত্রে ধ্রুবয়তা সর্বনিম্ন এবং সর্বচ্চো মাত্রা অর্জন করে। যার ফলে, $d\alpha/d\xi = 0$। অর্থাৎ, ধ্রুবীয়তা সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন মাত্রায় অপরিবর্তিত থাকে। বাঁকা অণুর কম্পনে এবং অপ্রতিসম টান কম্পনে পদার্থের অণু রামন সক্রিয় থাকে না।

9.6 পারস্পরিক অপবর্জনের সূত্র (Rule of mutual exclusion) :

পারস্পরিক অপবর্জনের সূত্র অনুযায়ী যে সমস্ত পদার্থের অণুর প্রতিসম কেন্দ্র বর্তমান তাদের যে কম্পন রামন সক্রিয়, সেই সমস্ত কম্পন অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয়, সেই সমস্ত কম্পন রামন সক্রিয় নয়। আবার যে কম্পন অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় সেই সমস্ত কম্পন রামন সক্রিয় নয়। যদি অণুর কোন প্রতিসম কেন্দ্র না থাকে তা হ'লে কতকগুলি কম্পন একই সাথে রামন এবং অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় হতে পারে।

সারণি–1

কার্বন ডাই-অক্সাইডের বিভিন্ন কম্পনে রামন এবং অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয়তা

	কম্পাঙ্ক	রমন সক্রিয়	অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয়
প্রতিসমটান	ν_1	হ্যাঁ	না
বাঁকাটান	ν_2	না	হ্যাঁ
অপ্রতিসম টান	ν_3	না	হ্যাঁ

নাইট্রাস অক্সাইডের অণুর কোন প্রতিসম কেন্দ্র নেই। এই অণু একইসাথে রমন এবং অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয়।

সারণি-2

নাইট্রাস অক্সাইডের বিভিন্ন কম্পনে রমন এবং অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয়তা

	কম্পাঙ্ক	রমন সক্রিয়	অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয়
প্রতিসমটান	ν_1	হ্যাঁ	হ্যাঁ
বাঁকাটান	ν_2	হ্যাঁ	হ্যাঁ
অপ্রতিসম টান	ν_3	হ্যাঁ	হ্যাঁ

পারস্পরিক অপবর্জনের সূত্র অনুযায়ী কোন পদার্থের অণুর প্রতিসম কেন্দ্র আছে কিনা তা জানা যায়। এই সূত্র অনুযায়ী, CO_2 অণুর প্রতিসম কেন্দ্র আছে, কিন্তু N_2O অণুর প্রতিসম কেন্দ্র নেই। অর্থাৎ, CO_2-র গঠন $O=C=O$ কিন্তু N_2O-র গঠন $O=N=N$।

9.7 কম্পজনিত রামন বর্ণালী এবং মৌল 3 গৌণ কম্পন ঃ

কম্পনজনিত রামন বর্ণালীর শক্তি, $\varepsilon = \varpi_e(\nu + \frac{1}{2}) - \varpi_e x_e(\nu + \frac{1}{2})^2 \text{ cm}^{-1}$

যেখানে, ϖ_e # হল সাম্য কম্পাঙ্ক, ν হল কম্পাঙ্ক কোয়ান্টাম সংখ্যা এবং x_e হ'ল অসমাঞ্জস্য ধ্রুবক। উৎক্রমণের নির্বাচনী সূত্র, $\Delta\nu = 0, \pm1, \pm2, ...$

$$\nu = 0 \rightarrow \nu = 1, \quad \Delta\varepsilon = \varpi_e(1 - 2x_e) \text{ cm}^{-1} .....9.9$$

$$\nu = 0 \rightarrow \nu = 2, \quad \Delta\varepsilon = 2\varpi_e(1 - 3x_e) \text{ cm}^{-1} .....9.10$$

$$\nu = 0 \rightarrow \nu = 2, \quad \Delta\varepsilon = 2\varpi_e(1 - 4x_e) \text{ cm}^{-1} .....9.11$$

$\nu = 0$ থেকে $\nu = 1$ উৎক্রমণকে মৌল ব্যান্ড (fundamental band) বলে। মৌলব্যাণ্ডের শক্তি তরঙ্গসংখ্যার, $\varpi_e(1 - 2x_e)$ cm^{-1}।

$\nu = 0$ থেকে $\nu = 2$ উৎক্রমণকে প্রথম ওভারটোন (First overtone) বলে। প্রথম ওভারটোনের শক্তি তরঙ্গ সংখ্যায়, $2\varpi_e(1 - 3x_e)$ cm^{-1}।

আবার, $\theta = 1$ থেকে $\nu = 2$ উৎক্রমণকে উত্তপ্ত ব্যাণ্ড বা hot band বলা হয়। উত্তপ্ত ব্যাণ্ডের শক্তি তরঙ্গ সংখ্যায়, $\varpi_e(1 - 4x_e)\text{cm}^{-1}$।

কম্পনজনিত রামন বর্ণালীর কম্পাঙ্ক তরঙ্গ সংখ্যার প্রকাশ করলে পাওয়া যায় ঃ

$$\nu_{\text{fundamental}} = \nu_{ex} \pm \Delta\varepsilon_{\text{fundamental}} .....9.12$$

স্টোকস্ লাইনের কম্পাঙ্ক তরঙ্গসংখ্যার— $\nu_{fundamental} = \nu_{ex} - \Delta\varepsilon_{fundamental}$.....9.13

স্টোক্স লাইনের তীব্র ব্যাণ্ডগুলি মৌল ব্যাণ্ডের বাঁ দিকে পাওয়া যায়।

অ্যান্টি স্টোকস্ লাইনের কম্পাঙ্ক তরঙ্গসংখ্যা— $\nu_{fund} = \nu_{ex} + \Delta\varepsilon_{fund}$.....9.14

অ্যান্টি-স্টোক্স লাইনের ব্যান্ডগুলি অপেক্ষাকৃত দুর্বল।

কোন পদার্থের অণুর কম্পনজনিত রমন বর্ণালীতে নিম্ন কম্পাঙ্কে কতকগুলি তীব্র রেখা পাওয়া যায়; অথচ উচ্চ কম্পাঙ্কে কতকগুলি দুর্বল রেখা পাওয়া যায়।

9.8 রামন বর্ণালী থেকে পদার্থের গঠন নির্ণয়ঃ

এ পর্যন্ত রামন বর্ণালী সম্পর্কে যে আলোচনা করা হয়েছে, তাতে দেখা গেছে যে ঘূর্ণন এবং কম্পনজনিত রামন বর্ণালীর সাহায্যে প্রায় সমস্ত পদার্থের অণুর বর্ণালী বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করা যায়। দ্বি-পারমাণবিক অণুর মত প্রতিসম অণুর ক্ষেত্রেও রামন বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করা যায়।

আমরা পদার্থের অণুর গঠন নির্ণয়ের আলোচনা AB_2-অণুর মধ্যেই সীমাবদ্ধ রাখব। AB_2-অণুর ক্ষেত্রে রৈখিক অণু দু'ধরনের হ'তে পারে—

(১) অণুর প্রতিসম কেন্দ্র বর্তমান, B—A—B;

(২) অণুটি অপ্রতিসম, A—B—B

(১) অণুর প্রতিসম কেন্দ্র বর্তমান থাকলে, প্রতিসম টান কম্পনে রমন সক্রিয় অবলোহিত আলোক সক্রিয়। যদি অণুটি প্রতিমক টান কম্পনে রামন সক্রিয় হয় এবং অপ্রতিসম টান ও বাঁকা টানে অবলোহিত আলোকে সক্রিয় ও রামন নিষ্ক্রিয় হয়, তাহ'লে অণুটির গঠন প্রকৃতি হবে রৈখিক প্রতিসম কেন্দ্র বিশিষ্ট। যেমন, কার্বন ডাই-অক্সাইডের অণু রৈখিক প্রতিসম কেন্দ্র-বিশিষ্ট। অতএব, কার্বন ডাই-অক্সাইডের গঠন বৈশিষ্ট্য হল ঃ

$$O = C = O$$

নাইট্রাস অক্সাইডের সবকটি কম্পন বৈশিষ্ট্যই রমন সক্রিয় এবং অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয়। প্রতিসম কেন্দ্র থাকলে এরকম হত না। অতএব, নাইট্রাস অক্সাইডের গঠন ঃ

$$N = N = O$$

রৈখিক ত্রি-পারমাণবিক অণুর (3N – 5) বা 4টি মৌল কম্পন বর্তমান। এর মধ্যে দুটি degenerati বা সমশক্তি সম্পন্ন পরত বিশিষ্ট। অতএব, তিনটি মৌল কম্পন বিশিষ্ট অণু।

যে সমস্ত অণু রামন সক্রিয় অবলোহিত আলোক সক্রিয়, সেই সমস্ত অণুর অপ্রতিসম না হ'লে কৌণিক হবে। SO_2-র অণু যে সমস্ত তরঙ্গ সংখ্যায় তীব্র ব্যাণ্ড তৈরি করে সেগুলি নিচের সারণিতে দেওয়া হল ঃ

সারণি-3

SO_2 অণুর অবলোহিত আলোক ব্যাণ্ড এবং রমন ব্যাণ্ড

তরঙ্গ সংখ্যা cm^{-1}	অবলোহিত আলোক	রমন
519	II ব্যাণ্ড	ধ্রুবীয়
1151	II ব্যাণ্ড	ধ্রুবীয়
1361	I ব্যাণ্ড	অধ্রবীয়

অপ্রতিসম অণুর ক্ষেত্রে তিনটি মৌল কম্পনে অবলোহিত আলোক এবং রামন বর্ণালীতে তীব্র ব্যাণ্ড প্রদর্শন করে। তালিকা থেকে বোঝা যায়, PR ব্যাণ্ড যথেষ্ট তীব্র।

সারণি-4

N_2O-র অবলোহিত এবং রামন বর্ণালী

ν (cm^{-1})	অবলোহিত	রমন
589	তীব্র ঃ PQR চিত্র	–
1285	তীব্র ঃ PR চিত্র	অতি তীব্র; ধ্রুবীয়
1224	তীব্র ঃ PR চিত্র	তীব্র; অধ্রুবীয়

9.9 রামন বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য ঃ

রামন বর্ণালীতে পদার্থটি কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় হতে পারে। রামন বর্ণালীতে যে কোন কম্পাঙ্কের আলো ব্যবহার করা যায়, কিন্তু শোষণ বর্ণালীতে দুটি ইলেকট্রন শক্তি স্তরের ব্যবধান অনুযায়ী আলো লাগবে। রামন বর্ণালীর রেখা দুর্বল। কারণ, বিক্ষেপন বিকিরণের শতকরা 1 ভাগের রামন বর্ণালী লক্ষ্য করা যায়। যেহেতু, রামন-রেখা দুর্বল সেইজন্য আপতিত বিকিরণ তীব্র হওয়া প্রয়োজন। এই কারণে লেসার রশ্মি ব্যবহার করা হয়।

কার্বন ডাই-অক্সাইড অণুর প্রতিসম টান কম্পন রামন সক্রিয়, কিন্তু প্রতিসম টান কম্পন অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয় নয়।

রৈখিক অণুসমূহ বিষমদৈশিক ধ্রুবণশীলতার (anistrotrie polarisibility) জন্য রামন সক্রিয়। এই সমস্ত অণু-তরঙ্গ আলোকে সক্রিয় নয়। রামন বর্ণালীর সাহায্যে এই সমস্ত অণুর বর্ণালী বিশ্লেষণ সম্ভব। অসম-নিউক্লীস

(heteronucluer) এবং সক্রিয়। কিন্তু গোলকাকার অণুসমূহ যেমন, CH_4, SF_6 প্রভৃতি রামন সক্রিয় নয়। এর ফলে, অসংখ্য অণুর বর্ণালী বিশ্লেষণ করে তাদের গঠন প্রকৃতি, বন্ধন-দৈর্ঘ্য, গ্রুপ সমূহ নির্ণয় করা সম্ভব।

ঘূর্ণনজনিত রামন নির্বাচনী সূত্র : $\Delta J = 0, \pm 2$

$\Delta J = 0$, র‍্যালে বিক্ষেপন (Rayleigh scattering)

$\Delta J = \pm 2$, রামন বিক্ষেপন (Raman scattering)

$\Delta J = \pm 2$, উৎক্রামণে শক্তির পরিবর্তন :

$$\Delta\varepsilon = \bar{\nu} - 2B(2J + 3)\ cm^{-1} \text{......................} 9.15$$

$J = 0$ থেকে $J = 2$ উৎক্রমনে।

$$\Delta\varepsilon = \bar{\nu} - 6B\ cm^{-1} \text{.................................} 9.16$$

$J = 1$ থেকে $J = B$ উৎক্রমণে,

$$\Delta\varepsilon = \bar{\nu} - 10B\ cm^{-1} \text{..............................} 9.17$$

এই বিকরণসমূহে রেখান্তর $4B\ cm^{-1}$। B-এর মান জাড্যভ্রামকের মান নির্ণয় করা যায়। জাড্য ভ্রামকের মান থেকে বন্ধনী-দৈর্ঘ গণনা করা যায়।

উপরে বর্ণিত সমীকরণসমূহের (8·39 (1), 8·39 (2) এবং 8·39 (3)) বিকিরণকে স্টোকস্ বিকিরণ (Stoke's)।

$\Delta J = -2$ উৎক্রমণে শক্তির পরিবর্তন cm^{-1}-এ; $\Delta\varepsilon = \nu + 2B(2J - 1)$

$J = 2, 3, 4,$.........................এবং $J = 2$

সর্বনিম্নস্তর কারণ, $J = 2$ থেকে $J = 0$-তে অধক্রমন হবে।

যখন, $J = 2$, $\Delta\varepsilon = \nu + 6B\ cm^{-1}$................9.18

$J = 3$, $\Delta\varepsilon = \nu + 10B\ cm^{-1}$..............9.19

$J = 4$ $\Delta\varepsilon = \nu + 14B\ cm^{-1}$..............9.20

এই বিকিরণকে অ্যান্টি-স্টোকস্ বিকিরণ (anti-Stoke's radiation) বলে।

অবলোহিত বর্ণালীর মতই গ্যাসের ক্ষেত্রে রামন বর্ণালী লক্ষ্য করা যায়। কিন্তু তরল বা কঠিনের ক্ষেত্রে রামন বর্ণালীতে ঘূর্ণন বর্ণালী পাওয়া যায় না।

$100\ cm^{-1}$ তরঙ্গ সংখ্যার নিচে অবলোহিত বর্ণলী পাওয়া যায় না। কিন্তু $10\ cm^{-1}$ থেকে $100\ cm^{-1}$ তরঙ্গসংখ্যায় রামন বর্ণালী পাওয়া যায় বলে এই বর্ণালী ব্যাপকভাবে প্রচলিত।

জলীয় দ্রবণে ক্ষীণ রামন বর্ণালী (300—300 cm^{-1}) কিন্তু তীব্র অবলোহিত বর্ণালী পাওয়া যায় বলে জলীয় দ্রবণে রামন বর্ণালী দেখা হয়। 170 cm^{-1}-এ মার্কারী (I) নাইট্রেটের তীব্র শোষণ বর্ণালী পাওয়া যায়। এই তীব্র শোষণ হয় Hg—Hg কম্পনের জন্য। এর থেকে Hg(I) যে H_2^{2+} হিসেবে থাকে তা বোঝা যায়।

প্রাই (বায়োলজিক্যাল) অণুর গঠন নির্ণয়ের ক্ষেত্রে আনুনাদিক রামন বর্ণালী (Resonance Raman spection) কার্যকরী ভূমিকা পালন করে।

অনুশীলনী—1

$35Cl_2$-র ঘূর্ণন রামন বর্ণালীর স্টোক্স রেখার মধ্যে পার্থক্য 0·9752 am^{-1}। অণুটির বন্ধনী দৈর্ঘ্য গণনা করুন।

$m\ ^{35}Cl = 34·9688\mu$

9.10 সারাংশ ঃ

- এ পর্যন্ত রামন বর্ণালী বিক্ষেপণের ফলে সৃষ্টি হয়। আপতিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য দুটি—শক্তিস্তরের অন্তর হতে হবে এমন কোন বাধ্যবাধকতা নেই। বিক্ষেপনে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কম হলে অর্থাৎ তরঙ্গ সংখ্যায় বেশি হলে স্টোকস্ বিকিরণ; আর, তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি হ'লে, অর্থাৎ তরঙ্গ সংখ্যায় কম হলে অ্যান্টি-স্টোকস্ বিকিরণ বলে।

$$\Delta\varepsilon = \nu \pm \Delta\varepsilon/h\ cm^{-1}$$

- রামন বর্ণালীর বিক্ষেপন যদি আপতিত আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সমান হয়, তাহ'লে এই বিক্ষেপনকে র‍্যালে বিক্ষেপন (Raylaigh scattering) বলে।
- রামন বর্ণালীর শর্তাবলী হ'ল—

  পদার্থের ঘূর্ণন অথবা কম্পনজনিত ধ্রুবণশীলতা।

  নির্বাচন সূত্র ঃ ঘূর্ণনে; $\Delta J = 0, \pm 2.$

  নির্বাচন সূত্র ঃ কম্পনে; $\Delta v = H, \pm 2,$
- গোলক (spherical top) অণু ব্যতীত সমস্ত অণুই রামন সক্রিয়।

  H_2 অণু যা অণুতরঙ্গ সক্রিয় নয় তা রামন সক্রিয়। CH_4 অণু গোলক অণু বলে। রামন সক্রিয় নয়, অথচ CH_3Cl রামন সক্রিয়।
- কম্পনজনিত রামন বর্ণালীর তরঙ্গসংখ্যা cm^{-1}-এ প্রকাশ করলে, মৌল কম্পাঙ্ক এবং প্রথম ওভারটোন যথাক্রমে ঃ

মৌল ঃ $\Delta\varepsilon = \varpi e - \varpi e\ (1 - 2x_e)$

প্রথম ওভারটোন ঃ $\Delta\varepsilon = \varpi e - 2\varpi e\ (1 - 3x)$.

- পদার্থের অণু প্রতিসম টান কম্পনে রামন সক্রিয়; কিন্তু, অবলোহিত আলোক সক্রিয় নয়। অপ্রতিসম টান কম্পনে এবং বাঁকা অণুর টান কম্পনে রামন সক্রিয় হবে না; কিন্তু, পদার্থের অণু অপ্রতিসম হলে অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয়।

  এই নীতিকে পারস্পরিক অপবর্জনের নীতি বলা হয়।

- রামন বর্ণালীর সাহায্যে পদার্থের গঠন, অণুর বন্ধন-দৈর্ঘ্য নির্ণয়, অণু প্রতিসম না অপ্রতিসম ইত্যাদি নির্ধারণ করা যায়।

- রামন বর্ণালীর বৈশিষ্ট্যের মধ্যে বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য হ'ল ঃ

  প্রতিসম অণু বিশেষ কম্পনে রামন সক্রিয়। যেমন, কার্বন ডাই-অক্সাইডের প্রতিসম টান কম্পন। অণু-তরঙ্গ বা অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় নয়, কিন্তু রামক সক্রিয়। এরকম অনেক পদার্থের অণুই রামন সক্রিয় যারা অণু-তরঙ্গ বা অবলোহিত আলোক তরঙ্গ সক্রিয় নয়। যেমন, H_2, CO_2, CH_3Cl ইত্যাদি অণু রামন সক্রিয়।

  গোলক অণু (spherical top) রাম সক্রিয় নয়। যেমন, CH_4, CCl_4, SF_6.

- অবলোহিত বর্ণালীর শক্তি তরঙ্গ সংখ্যায় 100 cm^{-1}। অথচ, রামন বর্ণালীর শক্তি তরঙ্গসংখ্যায় 10 cm^{-1} থেকে 100 cm^{-1}। রামন বর্ণালীতে কম তরঙ্গ সংখ্যার আলো ব্যবহার করা যায়।

  রামন বর্ণালী থেকে অণুর গঠন সহজেই নির্ণয় করা যায়। আণুনাদিক রামন বর্ণালীর সাহায্যে বায়োলজিকাল অণুর গঠন নির্ণয় করা যায়।

9.11 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি ঃ

1. ঘূর্ণনজনিত রামন বর্ণালীতে স্টোকস্ বিকিরণ তীব্র কিন্তু অ্যান্টি স্টোক্স বিকিরণ ক্ষীণ কেন?

2. একটি AB_2 অণুর ঃ

কম্পন	রামন	অবলোহিত তরঙ্গ
প্রতিসম টান	সক্রিয়	নিষ্ক্রিয়
বাঁকানো টান	—	সক্রিয়
অপ্রতিসম টান	—	সক্রিয়

AB_2 অণুর গঠন প্রকৃতি কি রকম হবে?

3. পারস্পরিক অপবর্তনের সূত্র কী? কিভাবে এই সূত্রের সাহায্যে অণুর গঠন প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়।

4. নিম্নলিখিত অণুগুলির মধ্যে কোন্‌গুলি রামন সক্রিয় এবং কেন? H_2, CO_2, CH_4, CH_3Cl.

5. নিম্নলিখিত অণুসমূহের মধ্যে কোন্‌গুলি রামন সক্রিয় নয় এবং কেন? N_2O, CCl_4, SF_6, H_2O.

6. একটি অণুর রামন বর্ণালীর তরঙ্গ সংখ্যা 50 cm^{-1} হলে, বিকিরিত শক্তি মান হবে?

7. গ্যাসীয় পদার্থে ঘূর্ণনজনিত রামন বর্ণালী পর্যবেক্ষণ করা যায়, কিন্তু তরল বা কঠিনে এই বর্ণালী পর্যবেক্ষণ করা যায় না—কেন?

8. পর্যায়ক্রমে দুটি স্টোকস্ রেখা এবং দুটি অ্যান্টি স্টোকস্ রেখার ঘূর্ণনজনিত রামন বর্ণালীর শক্তির মধ্যে পার্থক্য কত? এই পার্থক্যের গুরুত্ব কী?

9. N_2O এবং NO_2 অণুর অবলোহিত তরঙ্গ বর্ণালী এবং রামন বর্ণালী কি একই রকম হবে, না পৃথক হবে—উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দিন।

10. SO_2 অণুর সবকটি কম্পনই অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় এবং রমন সক্রিয়। অণুটির গঠন প্রকৃতি বিশ্লেষণ করুন।

11. H_2 অণুর বিশুদ্ধ ঘূর্ণন বর্ণালী কোন্ ধরনের বর্ণালীর সাহায্যে পর্যবেক্ষণ করা যাবে এবং কেন? যদি H_2 অণুর বন্ধনী দৈর্ঘ্য 0·07417 mm হয় তা হলে এই বর্ণালীর দুটি রেখার অন্তর কত হবে?

12. AB_2-অণুর তিনটি কম্পনের মধ্যে কোন্‌টি অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় বা রামন সক্রিয় যখন অণুটি (ক) কৌণিক, (খ) রৈখিক?

13. $^{19}F_2$ অণুর ঘূর্ণন রামন বর্ণালীর স্টোকস্ রেখার মধ্যে অন্তর 3·5312 cm^{-1}। অণুটির বন্ধনী-দৈর্ঘ্য গণনা করুন। $m^{19}F = 18·9985\mu$.

অনুশীলনী—1

আমরা জানি, রামন বর্ণালীর স্টোকস রেখার মধ্যে পার্থক্য $4B\ cm^{-1}$।

$4B = 0·9752\ cm^{-1}$ $\qquad B = 0·2438\ cm^{-1} = 24·38 m^{-1}$

আমরা জানি, $B = \dfrac{h}{8x^2Ic}$

$$I = \frac{h}{8x^2Bc} = \frac{6·626\times10^{-34}}{8\times(3·14)^2\times24·38\times3\times10^8}\ Kg-m^2$$

$$I = 1·1485\times10^{-45}\ Kg-m^2$$

$$I = 114·85\times10^{-47}\ Kg-m^2$$

আবার, $I = \mu r^2_0$; অতএব, $\mu r^2_0 = 114{\cdot}85 \times 10^{-47}$

$$r^2_0 = \frac{114{\cdot}85 \times 10^{-47}}{29{\cdot}26 \times 10^{-27}} = 3{\cdot}95 \times 10^{-20} \text{ cm.}$$

$$r_0 = 198{\cdot}9 \text{ cm.}$$

9.11 উত্তরমালা ঃ

1. স্টোকস্ বিকিরনে আপতিত কম্পাঙ্কের চেয়ে কম কম্পাঙ্কের আলোক তরঙ্গ বিক্ষেপন হয় বলে। অ্যান্টি স্টোকস্ বিকিরণে আপত কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি কম্পাঙ্কের আলোক তরঙ্গ বিক্ষেপন হয় বলে।

2. AB_2 অণু প্রতিসম কেন্দ্রিক অণু হবে।

   AB_2-র গঠন B—A—B।

3. সূত্র ঃ প্রতিসমকেন্দ্রিক অণুর ক্ষেত্রে যে কম্পনটি রামন সক্রিয় হবে, সেই কম্পনটি অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় হবে না।

   এই সূত্রের সাহায্যে অণুটি প্রতিসমকেন্দ্রিক কি না বলা যায়।

4. গোলক অণু CH_4 ব্যতীত সব কটি অণুই রামন সক্রিয়। অর্থাৎ, H_2, CO_2 এবং CH_3Cl অণু রমন সক্রিয়। H_2, CO_2 এবং CH_3Cl অসমদৈশিক ধ্রুবনশীল। CH_4 অণু সমদৈশিক এবং ধ্রুবণশীল নয়।

5. SF_6 অণু রামন সক্রিয় নয়। অণুটি সমদৈশিক এবং ধ্রুবনশীল নয়।

6. $\nu = 50 \text{ cm}^{-1} = 500 \text{ m}^{-1}$

   $\Delta\varepsilon = h\nu c$

   $\Delta\varepsilon = 6{\cdot}627 \times 10^{-34} \times 5000 \times 3 \times 10^8$ Joule.

   $\Delta\varepsilon = 9{\cdot}9405 \times 10^{-22}$ Joule.

7. তরল বা কঠিনে আন্ত ঃ আণবিক আকর্ষণজনিত শক্তি গ্যাসের তুলনায় এত বেশি যে গ্যাসে ঘূর্ণনজনিত রামন বর্ণালী পাওয়া গেলে তরল বা কঠিনে পাওয়া যাবে না।

8. পর্যায়ক্রমে দুটি স্টোকস্ ও দুটি অ্যান্টি স্টোকস্ রেখার ঘূর্ণনজনিত রামন বর্ণালীর পার্থক্য 4B।

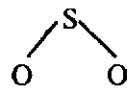
   এই পার্থক্যের সাহায্যে বন্ধনীই নির্ণয় করা যাবে। $B = \frac{h}{8\pi^2 IC}$ এবং $r_0 = \sqrt{I/\mu} = \sqrt{h/8x^2Bc\mu}$

9. N_2O এবং NO_2 অনুদ্বয়ের অবলোহিত তরঙ্গ এবং রামন বর্ণালী একই রকম হবে না।

N_2O অবলোহিত আলোক তরঙ্গ এবং রামন সক্রিয় হবে।

NO_2 প্রতিসম কেন্দ্রিক অণু বলে প্রতিসম টান কম্পন রামন সক্রিয় এবং অবলোহিত তরঙ্গ নিষ্ক্রিয় হবে।

10. যেহেতু SO_2 অণুর সবকটি কম্পনই—প্রতিসম টান, বাঁকা, অপ্রতিসম টান—অবলোহিত তরঙ্গ সক্রিয় এবং রামন সক্রিয়, অণুটি কৌণিক হবে।



11. H_2–অণুর বিশুদ্ধ ঘূর্ণন রামন বর্ণালীর সাহায্যে পর্যবেক্ষণ করা যাবে।

H_2–অণুর বন্ধনী অক্ষে তড়িৎক্ষেত্রে ইলেকট্রন বেশি ধ্রুবণশীল হবে।

রমন বর্ণালীর দুটি স্টোকস্ রেখার অন্তর হ'ল 4B।

আবার, $B = \frac{h}{8\pi^2 IC}$

$$B = \frac{h}{8\pi^2 \mu r_0^2 C}$$

$$B = \frac{6\cdot627\times10^{-34}}{8\times(3\cdot14)^2\times1\cdot66/2\times10^{-27}\times(74\cdot17\times10^{-12})^2\times3\times10^8}$$

$B = 0\cdot06i4 \times 10^{5-1}$m.

$B = 61\cdot4\ cm^{-1}$

$4B = 245\cdot6\ cm^{-1}$

উত্তর : দুটি স্টোকস্ রেখার মধ্যে তফাৎ $245\cdot6\ cm^{-1}$।

12. AB_2 অণুর তিনটি কম্পনই যদি অবলোহিত তরঙ্গ এবং রামন সক্রিয় হয় তা হ'লে অণুটি কৌণিক হবে। AB_2 অণুর কেবলমাত্র প্রতিসমটান কম্পন যদি রামন সক্রিয় হয় এবং অবলোহিত তরঙ্গ নিষ্ক্রিয় হয় তা হ'লে AB_2 অণু রৈখিক হবে।

13. ঘূর্ণন রামন বর্ণালীর দুটি স্টোকস্ রেখার মধ্যে অন্তর 4B।

অতএব, $4B = 3{\cdot}5312\ cm^{-1}$

$$r_0 = \sqrt{h / 8\pi^2 \mu CB}$$

$$r_0 = 141{\cdot}8\ pm.$$

9.13 অতিরিক্ত সাহায্যকারী পুস্তকসমূহ ঃ

(১) ফাণ্ডামেন্টালস্ অফ মলিকিউলার স্পেক্ট্রোস্কোপি—সি, এন, ব্যানওয়েল-থার্ডএডিশন টাটা ম্যাকগ্রহিল পাবলিশিং কোং লিঃ

(২) ইন্ট্রোডাকশন টু মলিকিউলার স্পেক্ট্রোস্কোপি—জি, এম, ব্যারো—ম্যাকগ্রহিল বুক কোং।

(৩) কোয়ান্টাম কেমিস্ট্রি—ডোনাল্ড ম্যাকুইরে-ভিভা বুকস প্রাঃ লিঃ।

(৪) ফিজিক্যাল কেমিস্ট্রি —(থার্ড এডিশন) গিলবার্ট ডবল্যু ক্যাস্টেলান।

—নারোসা পাবলিশিং হাউস।

(৫) ফিজিক্যাল কেমিস্ট্রি—এ মলিকিউলার অ্যাপ্রোচ— ডোনাল্ড ম্যাকুইরে এবং জন সাইসন,

—ভিভা বুকস প্রাঃ লিঃ।

(৬) ফিজিক্যাল কেমিস্ট্রি—পি. ডবল্যু. এটকিনস্ সিকসস এডিশন—অক্সফোর্ড ইউনিভার্সিটি প্রেস।

(৭) ফিজিক্যাল কেমিস্ট্রি—ইরা এন, লেভিন-ফোর্থ এডিশন—টাটা ম্যাকগ্রু হিল পাবলিশিং কোম্পানি লিঃ—নিউ দিল্লি।

(৮) রামনের আবিষ্কার—জগন্নাথ গুপ্ত-বিশ্ববিদ্যা সংগ্রহ।

একক 10. ☐ কেন্দ্রকীয় রসায়ন

☐ গঠন

0.i প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

10.2 কেন্দ্রকের আকার ও ঘনত্ব

10.2.1 কেন্দ্রকের আকার

10.2.2 কেন্দ্রকের ঘনত্ব

10.3 কেন্দ্রকের প্রাথমিক কণাসমূহ

10.4 পারমাণবিক সংখ্যা ঃ Z ও N-এর মানের উপর নির্ভর করে কেন্দ্রেককের শ্রেণীবিভাগ।

10.5 কেন্দ্রকীয় সুস্থিতি

10.5.1 কেন্দ্রকণের সংখ্যার যুগ্ম-অযুগ্ম প্রকৃতি

10.5.2 নিউট্রন প্রোটন অণুপাত এবং বিভিন্ন ধরণের বিভাজন

10.6 কেন্দ্রকীয় বল

10.6.1 সংকুলন ভগ্নাংশ

10.6.2 কেন্দ্রকীয় বন্ধন শক্তি

10.6.3 মেসন-তত্ত্ব

10.6.4 যাদু-সংখ্যা

10.7 কেন্দ্রক-কাঠামো সমূহ

10.7.1 প্রোটন-ইলেকট্রন কাঠামো

10.7.2 কক্ষ-কাঠামো

10.7.3 তরল-ফোঁটা কাঠামো

10.7.4 সমন্বিত কাঠামো

10.8 কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা

10.9 কেন্দ্রকীয় উপস্কৃতি

10.9.1 যৌগিক কেন্দ্রক বিষয়ক বর তত্ত্ব

10.10 কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়াসমূহের শ্রেণীবিভাগ

10.10.1 প্রক্ষিপ্ত কণা অধিকার বিক্রিয়া

10.10.2 প্রক্ষিপ্ত কণা অধিকার-কণা নির্গমণ বিক্রিয়া

10.10.3 স্প্যালেশন বিক্রিয়া

10.10.4 কেন্দ্রকীয় বিভাজন

10.10.5 কেন্দ্রকীয় সংযোজন

10.11 ট্রেসার কৌশল

10.11.1 তেজস্ক্রিয় ক্রোম্যাটোগ্রাফি

10.11.2 সমঘর লঘুকরণ বিশ্লেষণ

10.11.3 নিউট্রণ উজ্জীবন বিশ্লেষণ

10.11.4 নিউট্রণ শোষণমিতি

10.11.5 তেজস্ক্রিয়মিতিক অণুমাপন

10.12 ইউরেনিয়ামোওর মৌলসমূহ

10.13 সারাংশ

10.14 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

10.15 উত্তর মালা

10.16 অতিরিক্ত সাহায্যকারী পুস্তক সমূহ

10.1 প্রস্তাবনা

আপনারা তো জানেনেই যে মৌলের পরমাণুর পরিষ্কার দুটি অংশ থাকে (i) কেন্দ্রস্থ একটি ক্ষুদ্র অংশ, যাকে বলা হয় কেন্দ্রক বা কেন্দ্রীণ (nucleus); এর ব্যাসার্ধ কয়েক ফার্মি এবং (ii) অপেক্ষাকৃত বেশি বিস্তৃত কেন্দ্রককে বেষ্টনকারী বহিরাংশের গোলক, এর ব্যাসার্ধ 10^{-10} মি. ক্রমের।

> 1 ফার্মি = 1 ফেম্‌টোমিটার
> $= 10^{-15}$ মি.

এই কেন্দ্রকের গঠন, এর উপাদান, স্থায়িত্ব, কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া সমূহ, কেন্দ্রকীয় শক্তি (যা সাধারণভাবে 'পারমাণবিক শক্তি' নামে অভিহিত হয়) উৎপাদন ইত্যাদি তত্ত্ব ও তথ্য রসায়ণ শাস্ত্রের যে অংশে আলোচিত ও ব্যাখ্যার হয় তাকে কেন্দ্রকীয় রসায়ন (Nuclear Chemistry) আখ্যা দেওয়া হয়। পদার্থবিদ্যার অণুরূপ অংশের নাম কেন্দ্রকীয় পদার্থবিদ্যা (Nuclear Physics)। কেন্দ্রকীয় রসায়ণ বিদ্যা ও কেন্দ্রকীয় পদার্থবিদ্যা প্রায় অভিন্ন।

অবশ্য এই বিদ্যার অংশবিশেষ (যেমন প্রাকৃতিক কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া অর্থাৎ তেজস্ক্রিয়তা) আপনারা পরে (ECHO2 পর্যায়) আলাদা করে বিশদভাবে জানবেন বলে বর্তমান অংশে আমরা তার আলোচনা করব না; তবে উক্ত অধ্যায়টিও নিশ্চিতভাবেই কেন্দ্রকীয় রসায়ণের অন্তর্গত।

উদ্দেশ্য ঃ

বর্তমান অংশটি পড়ে আপনারা

- কেন্দ্রকের আকার, গঠন, ধর্ম, সুস্থিরতা সম্বন্ধে জানতে পারবেন।
- পারমাণবিক সংস্থা (Z) ও নিউট্রণের সংস্তা N-এর উপর ভিত্তি করে কেন্দ্রেকক (nuclide)-এর শ্রেণীবিভাগ (সমঘর, সমভর ইত্যাদি) জানতে পারবেন।
- কেন্দ্রকের সুস্থিরতা ও এই বিষয়ক বিভিন্ন তত্ত্ব জানতে পারবেন।
- আবিষ্ট (কৃত্রিম) তেজস্ক্রিয়তা সম্বন্ধে অবহিত হবেন।
- বিভিন্ন ধরণের কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া সম্বন্ধে জানবেন।
- পারমাণবিক শক্তি ও পারমাণবিক বোমার তত্ত্ব জানবেন।

> বর্হিকক্ষ রহিত পরমাণুর কেন্দ্রকাংশকে কেন্দ্রেকক (nuclide) বলা হয়; একে ${}^{A}_{Z}\times$ বা ${}^{A}_{Z}\times N$ চিহ্ন দ্বারা সূচিত করা হয়; Z = প্রোটসংখ্যা, × ≡ Z সংখ্যক প্রোটন বিশিষ্ট রাসয়ণিক মৌলের প্রতীক A = ভরসংখ্যা এবং N = A – Z = নিউট্রণের সংখ্যা।

- আলোক-সক্রিয় উপর্যুগাত ও আলোক-সক্রিয় বিচ্ছুরণ সম্বন্ধে ধারণা পাবেন।
- পত্রের শক্তি ও হাইড্রোজেন বোমার তত্ত্ব জানবেন।
- সন্ধায়ী (tracer) ও তার সাহায্যে সূক্ষ্ম বিশ্লেষণ (Trace analysis) প্রযুক্তি সম্বন্ধে অবহিত হতে পারেবন।
- কেন্দ্রকীয় দূষণ সম্বন্ধে জানতে পারবেন।

10.2 কেন্দ্রকের আকার ও ঘনত্ব (Size and density of nucleus)

10.2.1 কেন্দ্রকের আকার

α-কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষা থেকে প্রাপ্ত তথ্য কেন্দ্রকের ব্যাখ্যা অনুমানের রাস্তা দেখায়।

ধরা যাক M_α ভর ও υ গতিবেগের একটি α-কণা $+Ze$ অংশবিশিষ্ট কেন্দ্রকের দিকে অগ্রসর হবে। α-কণার আধান (জানা আছে) $+2e$। ঠিক যে দূরত্বে (do) গিয়ে α-কণা উল্টো পথ ধরে তা-ই উভয়ের মুখোমুখি (head-on) সংঘর্ষের ক্ষেত্রে নিকক্ষতম বিন্দুতে অবস্থান। এই বিন্দুতে α-কণার গতি-শক্তি বিকর্ষণ-জাত স্থিতিশক্তির সমান হয়।

বিকর্ষণ-বল $= \frac{2eZe}{4\pi\epsilon_o d_o^2} = \frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_o d_o^2}$ [ϵ_o = শূন্য মাধ্যমের দ্বি-তাড়িতিক (dietectric) ধ্রুবক]

$\therefore$ সংশ্লিষ্ট স্থিতিশক্তি $= \frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_o d_o}$

নিকটতম অগ্রসর বিন্দুতে, $\frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_o d_o} = \frac{1}{2}M_\alpha\upsilon^2$ বা, $do = \frac{Ze^2}{\pi\epsilon_o M_\alpha\upsilon^2}$

প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় উৎস হেথকে প্রাপ্ত α-কণার গতিবেগ ~ 1·3 – 1·9 y 10^{-1} মি সে$^{-1}$। এথেকে প্রাপ্ত do-এর মান অ্যানুমেনিয়ামের ক্ষেত্রে ~ ·5 × 10^{-15} মি = 5 fm (fm = ফার্মি = ফেম্‌টোমিটোর)।

এই do-ই কেন্দ্রকের আনুমাণিক ব্যাসটি।

দ্রুত (fast) নিউট্রণের বিচ্ছুরণ থেকে কেন্দ্রীয় ব্যাসার্ধের (R) উপর আরও নির্ভর যোগ্য তথ্য পাওয়া যায়। একটি স্থূল (empirical) সমীকরণ পাওয়া গেছে; $R = R_O\ A^{1/3}$ [R_o = ধ্রুবক = 1·4 fm].

10.2.2 কেন্দ্রকের ঘনত্ব

তাহলে আপনারা কী জায়লেন? জানলেন, $R \propto A^{1/3}$—তাইতো?

তাহলে কেন্দ্রককে গোলকাকার ধরে নিলে, আয়রণ V হয় $\frac{4}{3}\pi R^3$ [A = ভর সংখ্যা]। অর্থাৎ $V \propto A$। ভর M-ও α A। কাজেই ঘনত্ব D ধ্রুবক। অর্থাৎ সব নিউক্লিয়াসের ঘনত্বই প্রায় সমান।

আপনার তো জেনেছেনই যে পরমাণুর ভরের প্রায় সমস্তটাই কেন্দ্রকে ঘনীভূত আর কেন্দ্রক আকারে খুবই ক্ষুদ্র, তাই কেন্দ্রকীয় ঘনত্ব খুবই বেশি—মোটামুটিভাবে বলা যায় 10^{17} কিগ্রা. মি$^{-3}$।

অনুশীলনী—1

ব্যাসার্ধ 5 ফার্মি এবং পারমাণবিক গুরুত্ব 27 হলে অ্যালুমিনিয়াম কেন্দ্রকের ঘনত্ব বের করুন।

10.3 কেন্দ্রকের প্রাথমিক কণাসমূহ (Elementary Particles of nucleus)

পরমাণুর মৌল (fundamental) কণা তিনটি—ইলেকট্রণ, প্রোটণ, নিউট্রণ—এ আপনারা জানেন। রাদারফোর্ড তার পরমাণুর গঠনে কেন্দ্রকের উপাদান বলেছিলেন প্রোটন ও ইলেকট্রণ। কিন্তু এদ্বারা কেন্দ্রকের অনেক ধর্মই ব্যাখ্যাও হয় না বলে পরে নিউট্রণ-এর অস্তিত্ব সম্বন্ধে প্রাগ্‌ধারণা দেন তিনি। 1932 খ্রীষ্টাব্দে স্যাডউইক Chedwick নিউট্রণ আবিষ্কার করেন $\left[{}^{9}_{4}\mathrm{Be} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}\right]$। তখন প্রোটন ও নিউট্রণ কেন্দ্রকের মৌল উপাদান কণা বলে স্বীকৃত হয়। এদের একত্রে কেন্দ্রকণ (nuclesu) বলাহয়। সারণি M·1-এ পদার্থের মৌল কণা তিনটির ধর্মের তুলনামূলক ধারণা দেওয়া হল।

কেন্দ্রকণ = neucleon

সারণি 10·1

কণা	ইলেক্ট্রণ	প্রোটন	নিউট্রণ
প্রতীক	$e, {}^{0}_{-1}e, \beta^{-}$	$p, {}^{1}_{1}H$	$n, {}^{1}_{0}n$
অবস্থিতি	গোলকের বর্হিস্তদের	কেন্দ্রকে	কেন্দ্রকে
আধান/e	−1	+1	0
ভর/u*	0·00055	1·007277	1·008665
স্থিরাবস্থা ভরশক্তি/Mev	0·511	938·259	939·552
ঘূর্ণন (spin)/$\hbar$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
গড় আয়ুষ্কাল/সে	সুস্থির	সুস্থির	932
বিভাজনে উদ্ভূত কণা	**	–	$p + \bar{e} + \gamma$

প্রতিকণা (antiparticle) পজিট্রণ (e+) অ্যান্টিপ্রোটন $\bar{p}$ অ্যান্টিনিউট্রণ $\bar{n}$

* υ = পারমাণবিক ভর একক, একে 'ডাল্‌টন' ও বলা হয়

** প্রতি কণা ও সংশ্লিষ্টকণার মধ্যে পার্থক্য নিহিত কেবল আধান ও ঘূর্ণনের দিকে।

সারণি থেকে আপনারা দেখতে পাচ্ছেন যে কেন্দ্রকে কেন্দ্রকণ থেকে গৌণ ইলেক্ট্রণ উৎপন্ন হয়। সে কারণেই কেন্দ্রকে ইলেক্ট্রণ না থাকলেও তেজস্ক্রিয় বিভাজনে ইলেকট্রণ (B রশ্মি) নির্গত হয়।

এই তিনটি কণাকে একত্রে অবপারমাণবিক (Subatomic) কণা বলা হয়। পরবর্তী পর্যায়ে (1932-এর পরে) আরও অবপারমাণবিক কণা সংকল্পিত (predicted) ও পরে আবিষ্কৃত ও হতে থাকল। এদের মধ্যে আছে পজিট্রন, মিউঅন্, নিউট্রিনো ও আরও কিছু। চল্লিশের দশকের শেষশেষি এদের সংখ্যা 4 থেকে 12 + এ উঠে যায়। মধ্য ষাটে সংখ্যা একশ ছাড়িয়ে যাবার অবস্থা হয়। এদের ভর শূন্যের কাছাকাছি থেকে ইলেক্ট্রনীয় ভর এবং ইলেক্ট্রণীয় ভরের কয়েকশ পুণ পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে; আধানের দিক থেকে তারা আধানবিহীন, ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানযুক্ত হতে পারে। তাদের ঘূর্ণন একক কৌণিক ভরবেগের শূন্য, অর্ধ ও পূর্ণ সংখ্যক গুণ হতে পারে। এদের মধ্যে মাত্র কয়টি। (প্রতিকণা নিয়ে, সারণি 10·2 দেখুন) সুস্থির।

সারণি 10·2

কণা/প্রতিকণা	প্রতীক	ভর		আধান/e	ঘর্ষণ/h	পরিসংস্থান
		me = 1	me = 0·511 Mev			
ফোটন	γ	0	0	0	1	B
ইলেক্ট্রণীয় নিউট্রিনো	$\gamma e\backslash\bar{\gamma}e$	0	0	0	½	F
মিউঅণীয় নিউট্রিনো	$\gamma\mu/\bar{\gamma}\mu$	0	0	0	½	F
		me = 1	me = 0·511 Mev			
টাউঅণীয় নিউট্রিনো	$\gamma\tau/\bar{\gamma}\tau$	0	0	0	½	F
ইলেকট্রণ	e^-	1	0·511	–1	½	F
পজিট্রণ	e+	1	0·511	+1	½	F
প্রোটন	p+	1836	938·2	+1	½	F
অ্যান্টি প্রোটন	p^-	1836	938·2	–1	½	F

[B ≡ বোসণ। যে সব কণা বোম-আইন্স্টাইন পরিসংখ্যাক মেনে চলে। এদের পূর্ণসংখ্যক ঘূর্ণন (0,1,2.....) থাকে। পাউলি অপবর্জন নীতি এদের ক্ষেত্রে খাটে না, অর্থাৎ নির্দিষ্ট কোয়ান্টাম স্তরে কণায় সংখ্যার সীমাবদ্ধতা নেই। π+, π–, π0 যেমন, ডায়টেরণ, α-কণা এবং যুগ্ম A বিশিষ্ট কণারা এই শ্রেণীর।

F ≡ ফার্মিয়ণ। এরা ফার্মি-ডিরাক পরিসংখ্যাক মেনে চলে; ঘূর্ণন $+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$; এরা পাউলির অপর্বজন নীতি মেনে চলে।]

বেশির ভাগ অবপারমাণবিক কণাই অসুস্থিত এবং তাদের গড় আয়ুষ্কাল 10^{-16} — 10^{3} সেকেন্ড। (সাধারণত ঃ গড় আয়ুষ্কাল 10^{-22} সেকেন্ডের বেশি হলেই তাকে সত্যিকারের কণা বলা হয়, নতুবা তারা সংস্পন্দন বা উত্তেজিত আবস্থা)। এই অসুস্থির কণারা অত্যুচ্চ শক্তির (Supethighenergy) কণা সমূহের সংঘর্ষের ফলে জাত হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে কণার বিদায় প্রাপ্তিও ঘটে। যেমন ঃ

$\gamma + \gamma \longrightarrow e^- + e^+$ জোট উৎপাদন

$\gamma + \gamma \longrightarrow p^+ + p^-$,,

$e^- + e^+ \longrightarrow \gamma + \gamma$ জোট বিদায় (annihilation).

$p^+ + p^- \longrightarrow \gamma + \gamma$,,

$\gamma + p \longrightarrow n + \lambda^+$ মেসন উৎপাদন

বর্তমানে পদার্থবিদরা আর প্রোটন ও নিউট্রণকে মৌল কণা মনে করেন না। তাদের মতে এরা একাধিক আয়ন অংশের সমষ্টি। আধুনিক কেন্দ্রকীয় রসায়নে পদার্থের অবিভাজ্য মৌলিকতম উপাদান কণার নাম 'কোয়ার্ক' (quark)। কোয়ার্ক কণারা আবার কেন্দ্রকণের 'গ্লুঅণ্' (gluon) ক্ষেত্রে জমাট বাঁধা অবস্থায় থাকে।

অনুশীলনী—2

1. ডালটন কীসের একক। এর মান কত?

2. প্রতিকণা বলতে কী বোঝেন?

3. শূন্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ

(i) $p^+ + p^- \longrightarrow ?$ (ii) ${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{12}_{6}C + ?$

4. (a) 3(iii) প্রক্রিয়াটির ঐতিহাসিক গুরুত্ব কী? এর সঙ্গে কোন বিজ্ঞানীয় নাম জড়িত?

(b) $\gamma + \gamma \longrightarrow e^- + e^+$ প্রক্রিয়াটি কীভাবে সম্ভব হয়?

10·4 পারমাণবিক সংখ্যা ঃ Z ও N-এর মানের উপর নির্ভরকরে কেন্দ্রেককের শ্রেণীবিভাগ

আপনারা জানেন, মোজলের মৌলের × রশ্মি বর্ণালী সংক্রান্ত গবেষণায় (1913-4) পারমাণবিক সংখ্যার গুরুত্ব প্রতিষ্ঠিত হল। মোজলে প্রথমে পর্যায় সারণিতে মৌলের ক্রমিক সংখ্যাকে পারমাণবিক সংখ্যা ধরে দেখলেন যে পারমাণবিক সংখ্যা পারমাণবিক ভরের চেয়ে বেশি মৌলিক ধর্ম। ফন্ দেঁ ব্রেক (A. von den Broek)-এর ধারণা অনুসরণ করে মোজ্‌লে বললেন যে পারমাণবিক সংখ্যা ও কেন্দ্রকীয় আধান অভিন্ন। মৌলের পরিচায়ক ধর্ম এই পারমাণবিক সংখ্যা একই মৌলের একাধিক পারমাণবিক সংখ্যা হতে পারে না। কিন্তু মৌলের কেন্দ্রে

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

Z ও N এর মানের উপর নির্ভর করে কেন্দ্রেককগুলিকে নিচে বর্ণিত উপায়ে শ্রেণীবদ্ধ করতে পারা যায়ঃ

(ক) সমঘর বা একস্থানিক বা সমস্থানিক (Isotope)ঃ অভিন্ন পারমাণবিক সংখ্যা (অভিন্ন Z) বিশিষ্ট, কিন্তু কেন্দ্রকে বিভিন্ন সংখ্যক নিউট্রণের উপস্থিতি হেতু বিভিন্ন ভরসংখ্যাবিশিষ্ট কেন্দ্রেককগুলিকে পরস্পরের সমঘর বা একস্থানিক বা সমস্থানিক বলে। এরকম নামের কারণ এই কেন্দ্রেককগুলির পর্যায় সারণিতে একই স্থানে অবস্থিত হবে [ISO = অভিন্ন, topes = স্থান] উদাহরণঃ হাইড্রোজেনের ($Z = 1$) তিন সমঘরে আছে ${}_1^1H_0$ (প্রোটিয়াম বা হাল্কা হাইড্রোজেন), ${}_1^2H$ বা ${}_1^2D$ (ডয়টেরিয়াম বা ভারী হাইড্রোজেন) এবং ${}_1^3H_2$ বা ${}_1^3T$ (তেজস্ক্রিয় হইড্রোজেন বা ট্রিশিয়াম); সোডিয়াম ($Z = 11$)-এর সমঘরগুলি ${}_{11}^{22}Na_{11}$, ${}_{11}^{23}Na_{12}$, ${}_{11}^{24}Na_{13}$; ইউরেনিয়াম ($Z = 92$)-এর সমঘরগুলি ${}_{92}^{233}U_{141}$, ${}_{92}^{234}U_{142}$, ${}_{92}^{235}U_{143}$, ${}_{92}^{238}U_{146}$,

কোনও মৌলের সুস্থির ও অসুস্থির উভয় ধরণের সমঘর থাকতে পারে। অতেজস্ক্রিয় উৎসের ক্ষেত্রে মৌলের বিভিন্ন সমঘরের প্রাচুর্যের অণুপাত (abundance ratio) উৎস-নিরপেক্ষ। উদাহরণ স্বরূপ বলা যায়, যেখান থেকেই যেভাবেই হোকনা কেন ${}^{16}O$, ${}^{17}O$, ${}^{18}O$-এর প্রাচুর্যের অণুপাত 2494 : 1 : 5।

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

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

উদাহরণ: ${}_1^3H_2$, ${}_2^3He_1$; ${}_6^{14}C_8$, ${}_7^{14}N_7$; ${}_{11}^{24}Na_{13}$, ${}_{12}^{24}Mg_{13}$; ${}_{27}^{64}Co_{37}$, ${}_{28}^{64}Ni_{36}$.

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

যেমন ${}_1^3H_2$, ${}_2^3He_1$; ${}_6^{13}C_7$, ${}_7^{13}N_6$; ${}_{19}^{39}K_{20}$, ${}_{20}^{39}Ca_{19}$, ${}_{11}^{23}Na_{12}$, ${}_{12}^{23}Mg_{11}$

সমকোণ (isotone) : সমান N এবং সেহেতু বিভিন্ন Z ও A বিশিষ্ট কেন্দ্রক সমূহকে পরস্পরের সমকণ বলে।

উদাহরণঃ ${}_1^3H_2$, ${}_2^4He_2$; ${}_6^{14}C_8$, ${}_8^{16}O_8$; ${}_8^{18}O_{10}$, ${}_{10}^{20}Ne_{10}$; ${}_{11}^{23}Na_{12}$, ${}_{12}^{24}Mg_{12}$

(ঘ) সমসমঘরভেদ (Isodiopher) সমান সমঘর সংখ্যা (isotopic numler) বিশিষ্ট কেন্দ্রকদের পরস্পরের সমসমঘভেদ বলে।

সমঘরসংস্তা বা সমঘরাধিক্য (isotopic excen) বলতে বোঝায় $N - Z$ বা $A - 2Z$

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

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

${}_{29}{}^{65}Cu_{1}$ ${}_{24}{}^{55}Cr$.

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

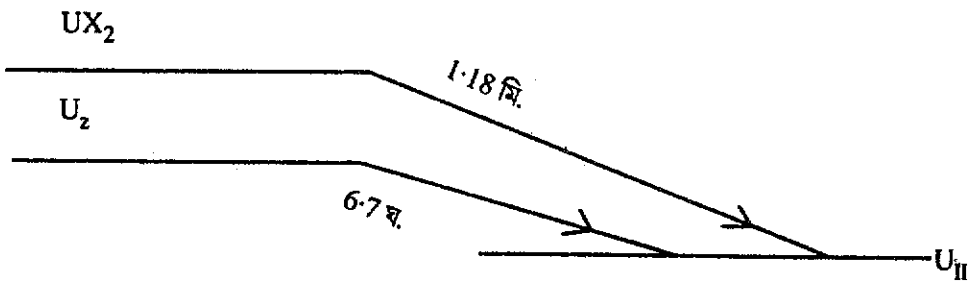
মনে করা হয় এই ধরনের কেন্দ্রকগুলিতে কেন্দ্রকণসংখ্যা অভিন্ন অর্থাৎ সমসংখ্যক প্রোটন ও সমসংখ্যক নিউট্রন থাকলেও কেন্দ্রকণগুলির শক্তি স্তর বিভিন্ন। $(2n+2)$ অর্থাৎ তেজস্ক্রিয়ে সারির Ux_1 (অর্থাৎ ${}_{90}{}^{234}Th$) দুভাবে বিভাজিত হয়; $\underset{(Ux_1)}{{}^{234}_{90}Th} \xrightarrow[24\cdot 1]{B} \underset{(Ux_2)}{{}^{234}_{91}Pa} \xrightarrow[1\cdot 18]{B^-} \underset{(UII)}{{}^{234}_{92}U}$

0·35% U_{x1} অন্যধরণের তেজস্ক্রিয়া দেখায়। যেমন ঃ

$$U_{x1} \xrightarrow[24\cdot 1]{B^-} U_z \xrightarrow[67]{B-} U_{II}$$

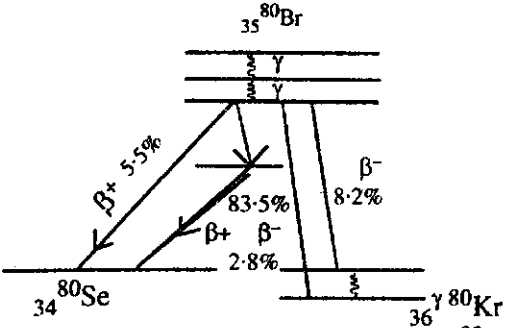
এখানে Ux_2 ও Uz উভয়েই ${}_{91}{}^{234}Pa$, কিন্তু এদের অর্ধায়ু কাল ভিন্ন। এটি কেন্দ্রকীয় সমাবয়বতার একটি উদাহরণ। এদের শক্তিস্তর ভিন্ন। এই ভিন্নতা আসে কেন্দ্রকণগুলির স্তরবিন্যাসের ভিন্নতা থেকে।

সাধারণতঃ উচ্চতর শক্তিস্তরে গঠিত কেন্দ্রকগুলি 10^{-13} সেকেন্ডেরও কম সময়ের মধ্যে γ ফোটন নিঃসরিত করে নিম্নতর আন্তবর্তী শক্তি স্তরে আসে। কিন্তু কোন কোন ক্ষেত্রে উত্তেজিত অবস্থার অর্ধায়ু উক্ত মানের কম হয়ে 10^{-9} সেকেন্ড থেকে কয়েক মাস পর্যন্ত হয়ে যায়। এই স্তরকে বলা হয় 'অস্থিতকল্প' (metastable) অবস্থা। (যদি দুটি স্তরের কৌণিক বেগের পার্থক্য বেশি হয় তবে ... এদের মধ্যে অন্তবর্তন (transition) নিষিদ্ধ হয়ে পড়ে। এ ক্ষেত্রে উচ্চতর স্তরের দীর্ঘতর আয়ুষ্কাল হয়। এমতাবস্থার উচ্চতর স্তরে দীর্ঘায়ু কেন্দ্রক গঠিত হয়, এবং দীর্ঘতর সময় পরে নিম্নতর স্তরে উপনীত হয়। যদি কেন্দ্রকটি β-নিঃসারী হয়। তবে পরবর্তী পর্যায়ে ভূমিস্তরে β-নিসরণ করে আরেকটি কেন্দ্রক উৎপন্ন করবে। এভাবেই একই সমঘরের বিভিন্ন অর্ধায়ুকাল থাকতে পারে। চিত্র 10·1)



চিত্র 10·1

কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় সমঘরের কেন্দ্রে এই ঘটনা দেখা যায়। $_{35}{}^{80}Br$ এমন একটি উদাহরণ (চিত্র 10·2)



(চিত্র 10·2)

$_{36}{}^{80}Kr$

অনুশীলনী—3

1. সমঘর ও সমভরের মধ্যে একটি তুলনা-সারণি তৈরি করেন।

2. প্রাকৃতিক বোরণে 10·01 ও 11·01 পারমাণবিক ওজন বিশিষ্ট দুইটি সমঘর আছে। বোরণের পারমাণবিক ওজন 10·81 হলে প্রতিটি সমঘরের শতকরা পরিমাণ বের করুন।

3. ঠিক উত্তর করুন।

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

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

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

5. শূন্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ (i) নির্দিষ্ট শক্তি সমন্বিত আলোক রশ্মিকে —— বলে। (ii) নির্দিষ্ট ভর ও আধান সংখ্যা বিশিষ্ট কেন্দ্রকে ——— বলে।

10·5 কেন্দ্রকীয় সুস্থিতি (Nuclear stabilits)

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

যেসব কেন্দ্রৈকক $\sim 10^{21}$ বছর পর্যন্ত অবিকৃত থাকে অর্থাৎ তাদের উপাদান নিউট্রণ ও প্রোটন এর সংস্তার

কোনই পরিবর্তন হয় না তাদের স্থায়ী (bemanenl) বা সুস্থিত (stable) বলে। অবশ্য বর্তমানের উন্নততর বীক্ষণ ও নিরুপণ যন্ত্রের আবিষ্কারের ফলে এই সীমা আরও বাড়াবার প্রয়োজন হয়ে পড়েছে। যেমন এতকাল 130_{Te} কে আমরা স্থায়ী বলে জানতাম। কিন্তু এখন দেখা যাচ্ছে এটি তেজস্ক্রিয়—যদিও তেজস্ক্রিয়তা খুবই কম, এর অধ্যায়ুকাল 10^{21} বছর। সুস্থিত কেন্দ্রৈককের কেন্দ্রক ~10 ক্রমই-ভি বা তার বেশি শক্তির কণা বা রশ্মি দ্বারা আঘাতের মাধ্যমে বা কেন্দ্রকণ অধিগ্রহণ (caplore)-এর মাধ্যমে পরিবর্তিত হতে পারে। প্রকৃতিতে প্রাপ্ত 274 টি কেন্দ্রৈকক সুস্থিত বলে মানা হয়। কেমন ^{1}H, ^{2}H, ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O, ^{19}F, ^{23}Na, ^{27}Al, ^{31}p, ^{35}Cl, ^{37}Cl, ^{63}Cu, ^{65}Cn ইত্যাদি। প্রশ্ন আপনাদের মনে জাগতেই পারে এই সুস্থিতির জন্য দায়ী কী? কেন কিছু কেন্দ্রৈকক সুস্থিত এবং অন্যেরা অসুস্থিত।

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

10·5·1 কেন্দ্রকণের সংখ্যার যুগ্ম-অযুগ্ম প্রকৃতি (Even-odd naline of the number of nucleous)

সারণি 10·3 লক্ষ্য করুন ঃ

সারণি 10·3

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

* এর একটি অস্থিতকাল সমঘর ($t_{1/2}$= 8·1 ঘ.) আছে।

এই সারণিটি বিশ্লেষণ করলে যে সব সিদ্ধান্তে করা যায় সেগুলি হল (i) Z ও N উভয়ই যুগ্ম হলে সর্বোচ্চ সংখ্যক সুস্থিত কেন্দ্রৈকক সম্ভব। সুস্থিতির মূলে mn ও p–p জোট গঠনের ভূমিকার গুরুত্ব এতে ধরা পড়ে। (তুলনীয় ইলেক্ট্রণ জোট গঠনের মাধ্যমে সুস্থিত অণু গঠন)। পৃথিবী পৃষ্ঠে ও দেখবেন 85% ই যুগ্ম-z, যুগ্ম-N কেন্দ্রৈকক বিশিষ্ট মৌল দিয়ে গঠিত (সারণি 10·4)

সারণি 10·4

মৌল	${}_{8}^{16}O$	${}_{14}^{28}S_I$	${}_{26}^{56}Fc$,	${}_{20}^{40}Ca$	${}_{12}^{24}Mg$	
শতকরা মাত্রা (ওজন)	48		26	5	3·5	2

মোট 85%

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

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

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

সমঘর তৈরি হচ্ছে, আর কিছুর উল্লম্ব দিকে p যোগ হয়ে নতুন মৌল তৈরি হচ্ছে। n + n, p + p, n + n.... এই নিয়মের ব্যখ্যা ঘটলে তেজস্ক্রিয় কেন্দ্রেকক গঠিত হয় (উপরের ক্রমে → ক্ষেত্রে গুলিতে)।

10.5.2 নিউট্রন-প্রোটন অনুপাত এবং বিভিন্ন ধরণের বিভাজন (neutron to proton ratio and diffenenl modes of decay)

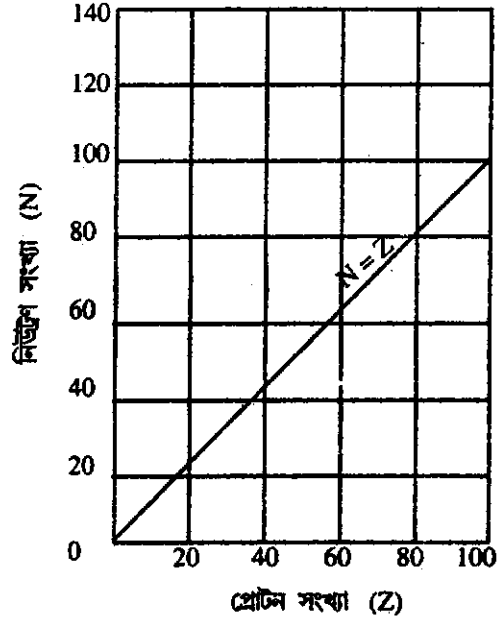
${}_{1}^{1}H$ দ্বারা সব কেন্দ্রেককে n ও p উভয়ই আছে। সুস্থিত কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে N/Z অণুপাত ≥ ১ ${}_{20}^{40}Ca_{20}$ পর্যন্ত হাল্কা কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে এই অনুপাত = 1, এবং ভারি কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে এই অনুপাত > ১ (সারণি 10·5 দেখুন) । চিত্র 10·3 [সেগ্রী (Sgre[1]) র তালিকা]-এ Z-এর সাপেক্ষে সুস্থিত কেন্দ্রেককের ক্ষেত্রে N বনাম Z পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

সারণি 10·5

^{A}X	$_{1}{}^{2}H$	$_{10}{}^{20}Ne$	$_{20}{}^{40}Ca$	$_{30}{}^{64}Z_{n}$	$_{40}{}^{90}Zr$	$_{50}{}^{120}Sn$	$_{60}{}^{150}Nd$	$_{30}{}^{202}Hg$
Z	1	10	20	30	40	50	60	80
N	1	10	20	64	50	70	90	122
N/Z	1·00	1·00	1·00	1·13	1·25	1·40	1·50	1·53

বহু সংখ্যক মৌলেরই একাধিক সুস্থিত সমঘর আছে, তাই লেখচিত্রটি পটির আকার নিয়ে, Z বাড়ার সঙ্গে পটিটি চওড়া হয়েছে। সব কটি সুস্থিত কেন্দ্রৈকক এই পটির মধ্যে পড়ে, আর বাইরে পড়লে তারা তেজস্ক্রিয় হবেই। পটির উপরে পড়লে সুস্থিতির জন্য প্রয়োজনীয় সংখ্যাকের বেশি n-এর উপস্থিতর দ্যোতনা হয়; সেক্ষেত্রে $n \rightarrow p$ পরিবর্তন ঘটে এবং β^- তেজস্ক্রিয়তা ঘটে এবং উৎপন্ন কেন্দ্রৈকক সুস্থিতি অঞ্চলে ঢোকে। পটির নিচে থাকা কেন্দ্রৈককের ক্ষেত্রে উল্লেটো ঘটে; তখন n-এর ঘাটাই বোঝায় এবং β^+ নিঃসরণ বা ইলেট্রণ অধিগ্রহণ জনিত (electron capture, EC) তেজস্ক্রিয় ঘটে—ফলে $p \rightarrow n$ পরিবর্ত ঘটে কয়েকটা উদাহরণ নিন ঃ সোডিয়ামের পারমাণবিক সংখ্যা 11. একমাত্র সুস্থিত কেন্দ্রৈকক $_{10}{}^{23}Ne_{12}$। একটি প্রোটন, নিউট্রন কর্তৃক প্রতিস্থাপিত হলে কেন্দ্রৈকক দাঁড়াচ্ছে $_{10}{}^{23}Ne_{13}$ এটি তেজ- স্ক্রিয় (β^- 38 সে.)। অনুরূপে

নিউট্রণ যদি একটি প্রোটন দিয়ে প্রতিস্তাপিত হয় তবে হবে $_{12}{}^{23}Ma_{11}$—এটিও তেজস্ক্রিয় (β^+, 12 সে.)। আবার Z অপরিবর্তিত রেখে n বিতাড়িত বা যুক্ত করলে পাওয়া যাবে যথাক্রমে $_{11}{}^{23}No_{11}$ (β^+ তেজস্ক্রিয়, 2·6 বছর) ও $_{11}{}^{24}Na_{13}$ (β^- সক্রিয়, 15 ঘ.)।



কাজেই দেখা যাচ্ছে একটি আদর্শ (optimum) N/Z অণুপাত কেন্দ্রকীয় সুস্থিতির একটি গুরুত্বপূর্ণ সর্ত।

ভারী কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে। সুস্থিতির জন্য প্রয়োজনীয় সংখ্যকের কম প্রোটন থাকলে সাধারণত ঃ α-কণা নিঃসৃত হয় অর্থাৎ একই সাথে 2p ও 2n বেরিয়ে যায়।

$$_{92}^{238}U_{146} (\text{N/Z অণুপাত} = 1{\cdot}58) \xrightarrow[\left({}_{2}^{4}He\right)]{-\alpha} {}_{90}^{234}Th \ (N/Z = 1{\cdot}6)$$

অবশ্য এই Th সমঘরও তেজস্ক্রিয়তে সক্রিয়)।

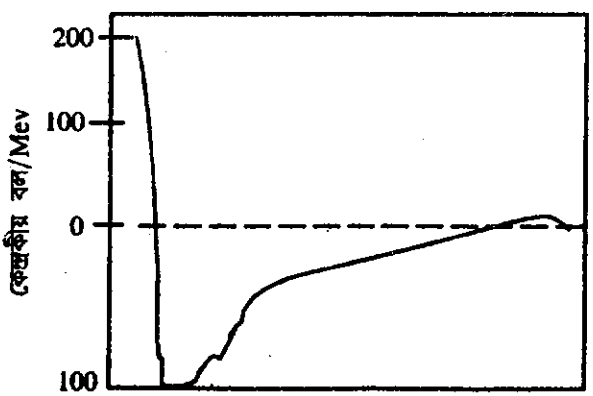
অনুশীলনী—4

1. কোটি অসুস্থিত? (A) $_{6}^{10}B$, (B) $_{4}^{10}Be$, (c) $_{7}^{14}N$, (d) $_{8}^{16}O$

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

10·6 কেন্দ্রকীয় বল (Nuclear force)

কেন্দ্রকীয় আকর্ষণ বল দ্বারা কেন্দকণাগুলি কেন্দ্রকে বদ্ধ থাকে। এই বল অত্যন্ত তীব্র এবং দূরত্বের সামান্যতম পরিবর্তনেই প্রভাবিত হয়। 8×10^{-16} মি. দূরত্বে এই বল তীব্রতম। এর চেয়ে কম দূরত্বে এটি দূরত্বের সঙ্গে দ্রুত কমতে থাকে। এবং 5×10^{-16} মি. দূরত্বে বিকর্ষণ বলে রূপান্তরিত হয়। দূরত্ব বাড়লেও আকর্ষণ বল কমতে থাকে (তবে কম দ্রুততায়) এবং 4×10^{-15} মিটারের কাছাকাছি দূরত্বে এই বল প্রায় শূন্য। (চিত্র 10·5)। তাহলে দাঁড়াচ্ছে যে কেন্দ্রকীয় বল খুব ছোট্ট একটা পরিসরের (0·5–4fm) মধ্যে কার্যকরী হয়। পরীক্ষা থেকে দেখা গেছে যখন উচ্চ গতি সম্পন্ন প্রোটন অন্য একটি প্রোটন বা হাইড্রেজেনের কেন্দ্রকের দিকে প্রক্ষিপিত হয়, তখন এই প্রক্ষিপ্ত কণা লক্ষ্য থেকে 10^{-15} মি. দূরত্বে এলে এদের বিকর্ষণ বল অতিক্রান্ত হয়।



কেন্দ্রকণ গুলির আন্তবর্তী দূরত্ব 10^{-15} মি. (চিত্র 10·4)

এই বলের পরিমাপ কিন্তু খুবই বেশি। যেমন দুটি প্রোটিণের মধ্যে কেন্দ্রকীয় বল তাদের মধ্যেকার বিকর্ষণ বল (যা প্রায় 6 ঘন বার) এর প্রায় 40 গুণ। দূরত্ব বাড়ার সঙ্গে কেন্দ্রকীয় বলের হ্রাস এবং কেন্দ্রকণের সংখ্যা বৃদ্ধি হলে বিকর্ষণ বলের অব ধারণীয় বৃদ্ধি ভারী কৈন্দ্রেককের অনুস্থিততা ব্যাখা করে। সুস্থিত কেন্দ্রকের ক্ষেত্রে আকর্ষণ বল বিকর্ষণ বলের চেয়ে নিশ্চিতভাবেই বেশি, নতুবা স্বতস্ফূর্ত বিভাজন ঘটবে।

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

10·6·1 সংকুলন-ভগ্নাংশ (Packing fraction)

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

অর্থাৎ $\Delta M = M - A$ I M

অ্যাস্টন সংকুলন-ভগ্নাংশ অভিধা-বিশিষ্ট একটি রাশি প্রবর্তন করেন। এর সংখ্যা নিম্নরূপ ঃ

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

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

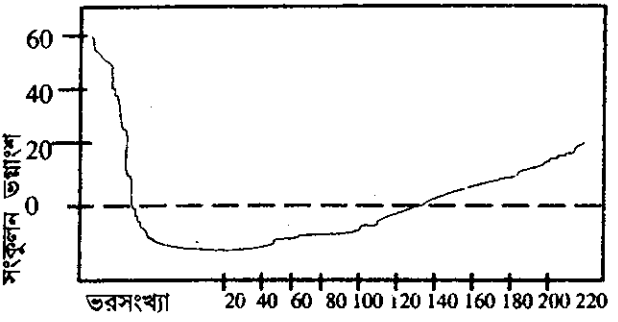
10^4 উৎপাদকটি ব্যবহার করা হয়েছে লেখচিত্র আঁকার মত সুবিধাজনক রাশি পেতে। আবার $f = \frac{M}{A} -$ I বা, $M = A(1y)$

সংকুলন ভগ্নাংশের কোন তাত্ত্বিক গুরুত্ব নেই, কিন্তু এ থেকে আমরা কেন্দ্রকের সুস্থিতির ধারণা পাই। ঋণাত্মক সংকুল ভগ্নাংশ হলে বোঝায় যে M ঋণাত্মক। এর আর্থ এই যে কেন্দ্রক গঠন কালে কিছু ভরের হ্রাস ঘটেছে এবং সেই ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়েছে। কেন্দ্রকটিকে ভাঙতে হলে সমপরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হবে। সংস্থলন ভগ্নাংশ যত ধনাত্মক হবে, কেন্দ্রক ততই সুস্থিত হবে। অন্যদিকে ধনাত্মক সংকুলন ভগ্নাংশ যত ঋণাত্মক হবে, কেন্দ্রক ততই সুস্থিত হবে। অন্য দিকে ধনাত্মক সংকুলন ভগ্নাংশের অর্থ অসুস্থিত কেন্দ্রক। চিত্র 10·5 -এ বিভিন্ন সুস্থিত কৈন্দ্রেককের ক্ষেত্রে সংকুলন ভগ্নাংশ ও ভর সংখ্যার লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। দেখা যাচ্ছে।

(ক) সংকুলন ভগ্নাংশগুলি সন্ততঃ রেখার উপর পড়ে।

(খ) 50—60 ভরসংখ্যার সীমায় f এর মাল আ—অর্থাৎ সর্বোচ্চ সুস্থিত।

(গ) এই অধম মানের পরে আবার f বাড়তে থাকে এবং অবশেষ F এর সমধনাত্মক হয়। ভারী মৌলের তেজস্ক্রিয়তার সঙ্গে এই ঘটনা সঙ্গতিপূর্ণ।



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

$$f = \frac{M - A}{A} = \frac{57 \cdot 942 - 58}{58} \times 10^4 = 10.$$

কিন্তু দেখা যায় যে ${}_{5}{}^{10}B$ (পারমাণবিক গুরুত্ব 10·0161) এর ক্ষেত্রে

$$f = \frac{10 \cdot 0161 - 10}{10} = +16 \cdot 1$$

এই কেন্দ্রকের তো সুস্থিত হওয়ার কথা নয়। কিন্তু বাস্তবে তো এটি অত্যন্ত সুস্থিত। যদি আমরা কেন্দ্রকণের প্রকৃত ভর নিই তাহলে $f = \frac{10 \cdot 0161 - 10 \times 1 \cdot 008}{10} \times 10^4 = -63 \cdot 9.$

অর্থাৎ এটি সুস্থিত।

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

অনুশীলনী—5

1. ${}_{2}{}^{4}He$-এর সংকুলন ভগ্নাংশ বের করুন। প্রাপ্ত মান থেকে এর কেন্দ্রক সম্বন্ধ কী ধারণা পাওয়া যায়? এ ধারণা কি প্রকৃত তথ্যের সঙ্গে মেলে? অসঙ্গতি ব্যাখ্যা করুন। He-এর সমঘরীয় ভর = 4·002603.

10·6·2 কেন্দ্রকীয় বন্ধন শক্তি

আপনারা আগের অংশে দেখলেন যে 'প্রকৃত ভর-ত্রুটি' সংজ্ঞাত হওয়া উচিত কেন্দ্রকের পুরো প্রকৃত ভর এবং সমঘরের প্রকৃত ভর (Isotopic mass)-এর পার্থক্য। 160-এর সাপেক্ষে পারমাণবিক ভরের ভৌত স্কেলে, নিউট্রণের ভর (m_n) 1·008989 এবং প্রোটনের ভর (m_p) 1·00757 পারমাণবিক ভর একক (এ-এম্-ইউ) (1 এ-এম্-ইউ = $1/6 \cdot 02 \times 10^{23} = 1 \cdot 661 \times 1^{-24}$ গ্রা. = 1 ডালটন)।

$\therefore\ {}_{Z}^{A}M_{A-Z}$ পরমাণুর ভর-ত্রুটি $= [Z(m_p + m_e) + (A-Z)m_n) - M(A,Z) = \Delta M$

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

$m_e =$ ইলেকট্রণের ভর $= 0{\cdot}000575$ এ-এম্-ইউ।

$\therefore\ \Delta M = Z{\cdot}m_H + (A-Z)m_N - M(M,Z)$ {$m_H =$ হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর]

যখন কেন্দ্রকণরা পরস্পরের খুব কাছে (~ 1fm) আছে তখন তাদের মধ্যে তীব্র এক আকর্ষণ বল সৃষ্ট হয়, এবং একটি পরমাণু কেন্দ্রেক গঠিত হয়। এই পদ্ধতিতে শক্তির উদ্ভব ঘটে, এই শক্তির নাম কেন্দ্রকীয় বন্ধন শক্তি। এটি সেই পরিমাণ শক্তি যা প্রয়োগ করে কেন্দ্রককে কেন্দ্রকণে ভেঙে ফেলে। এই শক্তি আসে কোথা থেকে? ভরত্রুটির হিসাবে যে টুকু ভরের হ্রাস ঘটে তা-ই, আইন্‌স্টাইনের ভর-শক্তি-তুল্যতা সূত্র ($E = \Delta mC^2$, $C =$ আলোর গতিবেগ $= 2{\cdot}998 \times 10^8$ মি. সে$^{-1}$) অণুসারে শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

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

($\therefore$ 1 এ-এম্-ইউ = 931 মিলিয়ন ইলেকট্রণ ভোল্ট)

এবং প্রতি কেন্দ্রকণে কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি

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

f_b- কে বলা হয় বন্ধন ভগ্নাংশ।

আসুন, আমরা একটা গণনা দেখে নিই।

${}_2^4He_2$-এর কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি।

$\Delta M = 2m_n + 2m_N -$

$M(A = 2,\ Z = 2)$

$= 2 \times 1{\cdot}008145 + 2 \times 1{\cdot}008986$

$- 4{\cdot}803874 = 0{\cdot}030388$

এ-এম্ ইউ $= 0{\cdot}030388 \times 931$

$= 28{\cdot}29$ Mev.

$\therefore\ (F_B)_{He} = \frac{2829}{4} = 7\cdot07$ Mev/ কেন্দ্রকণ

1 এ-এম্ ইউ $= 1{\cdot}661 \times 10^{-24}$ গ্রা।

$= 1{\cdot}661 \times 10^{-24} \times (2{\cdot}998 \times 10^{10})^2$ আর্গ

$= 1{\cdot}4979 \times 10^{-3}$ আর্গ

এদিকে, 1 ইভি $= 1{\cdot}602 \times 10^{-19}$ কুলম্ব × 1 ভোল্ট

$= 1{\cdot}602 \times 10^{-19}$ জুল

$= 1{\cdot}602 \times 10^{-12}$ আর্গ

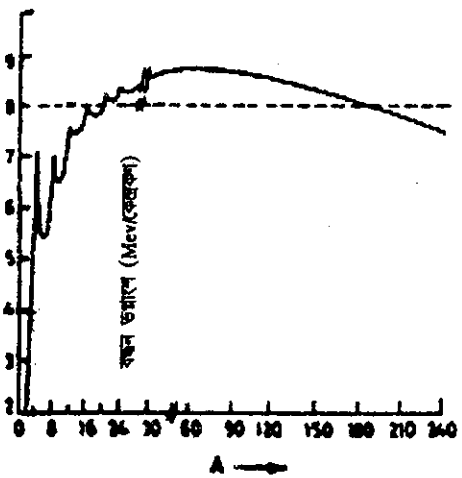
$\therefore$ 1 এ-এম্-ইউ৷

$= \frac{1{\cdot}4929 \times 10^{-3}}{1{\cdot}602 \times 10^{-12}} = 9{\cdot}31 \times 10^8$ ইভি

$= 931$ Mev

ভর-সংখ্যা বনাম বন্ধন-ভগ্নাংশের, লেখিচত্র **10·5** চিত্রে দেখানো হল।

চিত্রে দেখা যাচ্ছে ভরসংখ্যা বৃদ্ধির সঙ্গে f_B 8·7 Mev/ কেন্দ্রকণ (Fe, Ne ও .... মৌলের ভর-সংখ্যা নাগাদ সর্বোচ্চ মানে পৌঁছে, এবং তার পরে তা কমতে কমতে 7·5-এ (235)-র ক্ষেত্রে) নেমে আসে। কাজেই দেখা যাচ্ছে কম ও বেশি ভরসংখ্যা-বিশিষ্ট মৌলের f_B-র মান ছোট। অর্থাৎ এরা কম সুস্থিত। ভরসংখ্যা 25 থেকে 180 পর্যন্ত কেন্দ্রকসমূহের স্থূল লেখচিত্রের মাঝামাঝি—যেখানে f_B -র মান ~ 8·5 এবং তারা হালকা ও ভারী মৌলসমূহের চেয়ে বেশি সুস্থিত। কেন্দ্রকীয় বিভাজন (tission) ও সংযোজন (fussion) বিক্রিয়ায় উদ্ভূত কেন্দ্রকের f_B বিক্রিয়ক কেন্দ্রকের চেয়ে বেশি। তাই এসব বিক্রিয়ার প্রভূত শক্তি নির্গত হয়। এই শক্তিকে পারমাণবিক শক্তি বা কেন্দ্রকীয় শক্তি বলা হয়।



চিত্র 10.6

অনুশীলনী—6

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

2. $_{26}^{56}Fe$-এর ভর 55·9375 এ-এম্-ইউ; প্রোটন ও নিউট্রণের ভর যথাক্রমে 1·00732 এবং 1·00866 এ-এম্-ইউ; হলে Mev ও জুলে fc-এর কেন্দ্রকণ প্রতি বন্ধন-শক্তি বের করুন।

3. ^{12}C ও ^{13}C এর কেন্দ্রকণ প্রতি বন্ধন-শক্তি যথাক্রমে 7·68 ও 7·47 Mev/ C^{13}– থেকে একটা নিউট্রণ বের করে দিতে কী পরিমাণ শক্তি লাগবে?

10·6·3 মেসন তত্ত্ব (meson theory)

দুটি প্রোটনের মধ্যে বিকর্ষণের মত কেন্দ্রকীয় আকর্ষণ বল স্থিরতাড়িতিক বল নয়, কারণ এক্ষেত্রে বিপরীত আধান যুক্ত কণা মিথস্ক্রিয়া ঘটায় না। তাছাড়া এই বল খুব সামান্য দূরত্বে ক্রিয়াশীল। প্রকৃতপক্ষে কেন্দ্রকীয় আকর্ষণ বল আধান-নিরপেক্ষ—কারণ আমরা দেখেছি এক্ষেত্রে P – P.

n – n এবং n – p বন্ধ-যুক্ত অবস্থায় থাকে।

ঠিক যেমনটি দুটি পরমাণু ইলেক্ট্রণ জোট ভাগাভাগি করে সমযোগী বন্ধ গঠন করে যার মূলে থাকে উদ্ভূত বিনিময় বল (exchange force) তেমনি প্রোটনসমূহ ও নিউট্রণসমূহ 'মেসন' নামধারী কণা দ্বারা পরস্পর সংবদ্ধ থাকে। কেন্দ্রকের বাইরে এই মেসন কণা খুবই অনুস্থিত। এই মেসন বিনিময়ের ফলেই কেন্দ্রকীয় বলের উদ্ভব হয়। ইউকাওয়া (H. Yukawa)-র মতানুসারে কেন্দ্রকণ সমূহের মিথষ্ক্রিয়ায়, মেসনের উৎপত্তি ও অবলুপ্তির মাধ্যমে কেন্দ্রকীয় বন্ধন-বলের উদ্ভব ঘটে। π মেসন বা পায়ন কেন্দ্রকণগুলি পরস্পরের সঙ্গে ধরে রাখে। কেন্দ্রকণের মধ্যে পায়ণের অতদ্রুত অবস্থান পরিবর্তন (oscillation) কেন্দ্রকণসমূহের মধ্যের আকর্ষণ বলের জন্য দায়ী। এ থেকে ইলেক্ট্রণ পজিট্রণের উৎপত্তি (তেজস্ক্রিয় বিঘণের সময়) ও ব্যাখ্যা করা যায়।

$$n \rightleftharpoons p + \pi^-$$

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

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

[$\mu \equiv$ মিউমমেসন বা মিউঅন্;
$\gamma \equiv$ নিউট্রিনো]

আবার,

$$p \rightleftharpoons n + \pi +$$

$$\pi + \rightleftharpoons \mu^+ + \gamma$$

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

যেক্ষেত্রে N/Z অণুপাত 1-এর বেশি সেখানে π^o বা প্রশম পায়নের বিনিময় নিউট্রণ-নিউট্রণ আকর্ষর ঘটে।

$$n \rightleftharpoons n + \pi^o$$

অণুরূপে

$$p \rightleftharpoons p + \pi^o$$

অনুশীলনী—6

1. কেন্দ্রকে ইলেক্ট্রণ নেই, কিন্তু তেজস্ক্রিয় বিঘষণে β-রশ্মি বের হয় কীভাবে?

10·6·4 যাদু সংখ্যা (Magic numbers)

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

( ) 20 ও 50 টি প্রশ্ম বা 20, 50 ও 82 টি নিউট্রণ সমষ্টি কেন্দ্রকের সুস্থিত সমঘরের সংখ্যা যৌগ। ${}_{50}Sn$ এর সমঘর সংখ্যা 10 (সর্বাধিক), ${}_{20}Ca$-এর আছে 6 টি।

(ii) বিশ্ব-ব্রহ্মাণ্ডে যাই সংখ্যক কেন্দ্রকণ বিশিষ্ট কৌন্দ্রেককের (যেমন : ${}_{8}{}^{16}O_{8}$, ${}_{20}{}^{40}Ca_{20}$, ${}_{38}{}^{88}Sr_{50}$, ${}_{50}{}^{110}Sn_{68}$, ${}_{50}{}^{118}Ba_{82}$, ${}_{82}{}^{208}pb_{126}$) প্রান্তির পরিমাণ একই ভরসংখ্যা অঞ্চলে অবস্থিত অন্য কৌন্দ্রেককের চেয়ে বেশি।

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

(iv) যাদু সংখ্যক নিউট্রণ বিশিষ্ট কৌন্দ্রকক কিন্তু নিউট্রণ গ্রহণ করতে পারঙ্মুখ—তাদের নিউট্রণ গ্রহণ প্রস্থচ্ছেদ খুব কম।

(v) 4n, 4n + 2, 4n +3-এই তিনটি তেজস্ক্রিয় সারণির শেষতম মৌল তিনটি যথাক্রমে ${}_{82}{}^{208}pb_{126}$, ${}_{82}{}^{206}pb_{124}$, ${}_{82}{}^{201}pb_{125}$। সবক্ষেত্রেই দেখা যাচ্ছে যাদুসংখ্যক প্রোটন তো বটেই, এককক্ষেত্রে (${}_{82}{}^{208}pb$) যাদু সংখ্যক নিউট্রণ ও থাকে।

ইলেক্ট্রণের কক্ষ-গঠনের সঙ্গে সাযুজ্য রেখে যাদু-সংখ্যার গুরুত্ব ব্যাখ্যা করার জন্য কেন্দ্রকণেরও কক্ষ-গঠনের ধারণা দেওয়া হয়েছে। বিভিন্ন কক্ষ বা কক্ষকের নিউক্লিয়ন ধারণের ক্ষমতা ভিন্ন। যখন কোন কক্ষক নিউট্রণ দিয়ে তার ক্ষমতানুযায়ী সম্পর্ক হয় (তুলনীয় এর গ্যাসের পরমাণুর বহির্তম কক্ষক ইলেক্ট্রণ দিয়ে পূর্ণ হওয়ায় তাদের বিন্যাস অত্যন্ত সুস্থিত্য তখন কেন্দ্রক সুস্থিত হয়। যাদু সংখ্যায় এই পূর্ণতা সূচিত হয়।

10·7 কেন্দ্রক-কাঠামো সমূহ (Nuclear models)

10·7·1 প্রোটন-ইলেক্ট্রণ কাঠামো।

নিউট্রণের আবিষ্কারের আগে এবং রাদার কোর্ডের বিচ্ছুরণ পরীক্ষার পরে ধারণা ছিল যে কেন্দ্রক পারমাণুর কেন্দ্রস্থলে থাকে; পারমাণুর বেশিরভাগ অংশ ফাঁকা এবং বাইরের কক্ষসমূহে ইলেকট্রণ থাকে।

যেহেতু পরমাণুর ভরের প্রায় সবটাই কেন্দ্রে সঞ্চিত, এবং কেন্দ্রের মোট ধনাত্মক আধান বহির্কক্ষের ধণাত্মক আধানের সমান, তাই ধরা হত যে কেন্দ্রক ইলেকট্রণ ও প্রোটন-এর সমন্বয় গঠিত। ${}_{Z}{}^{A}M$ পরমাণুর কেন্দ্রে থাকবে A টি প্রোটন, (A – Z) টি ইলেকট্রণ (যাতে মোট ধনাত্মক আধান হয় +Z) এবং বাইরের কক্ষে থাকবে Z টি ইলেকট্রণ। কেন্দ্রের প্রোটন ও ইলেক্ট্রণ মুক্ত অবস্থায় থাকবে। এর পক্ষে আরও যুক্তি হল এই যে তেজস্ক্রিয়া কেন্দ্রকীয় ধর্ম এবং তেজস্ক্রিয়ার সময় β-রশ্মি বের হয়। বিপক্ষের মক্তি এই : (i) কেন্দ্রকের আকার ইলেকট্রণের আকারের প্রায় সমান কাজেই কেন্দ্রকে মুক্ত ইলেকট্রণ থাকায় সম্ভাবনা নেই।

(ii) ধরা যাক ${}_{7}{}^{14}N$ পরমাণুর কেন্দ্রকের কথা। এতে 14 টি প্রোটন 37 টি কেন্দ্রকীয় ইলেক্ট্রণ থাকবে।

14 টি প্রোটণের মোট ঘূর্ণন $R/_{2\lambda}$ এককে 'O' এবং 7 টি ইলেক্ট্রণের এক একক অর্থাৎ $+\frac{1}{2}$ বা $-\frac{1}{2}$। কিন্তু ঘূর্ণণের পরীটালব্ধ মান '1' অর্থাৎ 2 একক।

নিউট্রণের আবিষ্কারের পর এই সমস্যার সমাধান হল। ${}_7{}^{14}N_7$ এ 7 টি ইলেক্ট্রণের ঘূর্ণন $-\frac{1}{2}$, এবং 7টি নিউট্রণের $\frac{1}{2}$ —অর্থাৎ মোট 1।

10·7·2 কক্ষ কাঠামো (shell model)

এখন, কেন্দ্রকে প্রোটন ও নিউট্রণ বা এক কথায় কেন্দ্রকণগুলি কীভাবে সাজানো থাকে?

যাদু-সংখ্যার ধারণা পাবার পর এর গুরুত্ব ব্যাখ্যা করায় প্রচেষ্টা হতে থাকল। এদিকে বর্হিকেন্দ্রকীয় (extranuclur) ইলেক্ট্রণ বিন্যাস এবং পূর্ণকক্ষক বিন্যাস সুস্থিতির কারণ, পরিষ্কার হতেই কেন্দ্রকের সুস্থিতির জন্য ও অণুরূপ কেন্দ্রীয় উপাদানের বিন্যাস ভাবা হচ্ছিল (নিউট্রণ আবিষ্কারের পূর্বেই)। যাদু-সংখ্যার আবিষ্কারের পর এই প্রচেষ্টা নতুন উদ্যম পেল। 1933-এ ডব্লিউ-এম্-ইলেসার (W. M. Elasser) এবং গড়ে 1948-এ মারিয়া জি. মেয়ার (Maria G. Mayer) এবং জে-এইচ্-ডি ইযেনসেন (J. H. D. Iensen ও এইচ্-ই-সুয়েস্ (H. E. Suess) পৃথকভাবে কক্ষ-কাঠামো উপস্থাপিত করলেন।

এই কাঠামোতে বলা হয় যে কেন্দ্রকণগুলি তথাকথিত গভীর বিভব কূপ (Rectansulat potentral well)-এ অবস্থান করে। প্রতিটি কেন্দ্রকণ স্বাধীনভাবে এই বিভবকূপে ঘূর্ণ্যমান অবস্থায় আছে। কেন্দ্রকণগুলির শক্তি নিরূপণ করা যায় উপযুক্ত শ্রোডিংগার সমীকরণ সমাধানের মাধ্যমে। বিভিন্ন শক্তিস্তরে কেন্দ্রকণগুলির অবস্থান পাউলির অপবর্জন নীতি দ্বারা নিয়ন্ত্রিত।

ইলেক্ট্রণ-কক্ষের মত এখানেও কেন্দ্রকণগুলি একেবারে নিচের স্তর থেকে উপরের দিকে পর্যায়ক্রমে প্রবেশ করে। দেখা গেছে কিছু শক্তিস্তর খুব কাছাকাছি থাকে। এদের থেকে বেশদূরত্বে আবার কাছাকাছি অবস্থানে কতগুলি শক্তিস্তর থাকে। এই কাছাকাছি থাকা শক্তিস্তরগুলি নিয়ে একটি কক্ষ গঠিত হয়।

যখন কোন কক্ষ একই ধরণের কেন্দ্রকণ দিয়ে সম্পূর্ণ ভর্তি হয়। তখন সেখান থেকে একটি কেন্দ্রকণ সরাতে সচুর শক্তির প্রয়োজন হয়, অর্থাৎ সম্পূর্ণ কক্ষের বন্ধন শক্তি অসম্পূর্ণ কক্ষের থেকে বেশি। এরূপ কক্ষে কেন্দ্রকণ-সংখ্যাই যাদু সংখ্যা।

কেন্দ্রকীয় কক্ষসমূহ ও তাদের কেন্দ্রকণ ধারণের ক্ষমতা নিচে দেখানো হল।

শক্তি-স্তর-নির্দেশ (Level design)	নিউট্রণ/প্রোটন সংখ্যা	মোট n/b সংখ্যা
IS. ½	2	2
2p ½	4	
2p ½	2	
		8
3d ½	6	
3d ½	4	
2S ½	2	
		20
4f ½	8	
		28
4f ½	6	
3p ½	4	
3p ½	2	
5g ½	10	
		50
5g ½	8	
4d ½	6	
4d ½	4	
3s ½	2	
6h ½	12	82

6h $\frac{9}{2}$	10	
5b $\frac{7}{2}$	8	
5f $\frac{5}{2}$	6	
4p $\frac{3}{2}$	4	
4p $\frac{1}{2}$	2	
7i $\frac{13}{2}$	14	126

উদাহরণ ঃ $_{38}{}^{88}Sr_{50}$,

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

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

বিঃ দ্রঃ এই অংশটি বর্তমান অবস্থায় মনে রাখতে পারবেন না। এটি বাদ দিয়ে পড়ুন। পরে এই অংশ পরিষ্কার হবে।]

10·7·3 তরল (বা প্রবাহী)-ফোঁটা কাঠামো [Liquid (fluid), drop model]

নীলস্ বর (Niels Bohr) 1935-এ এই কাঠামো উপস্থিত করে না প্রধানতঃ কেন্দ্রকীয় বিভাতনে (nuclear frssron) বিক্রিয়ার ব্যাখ্যা দিতেই এই কাঠামোর উপস্থাপন। এই কাঠামোর মূলে আছে কেন্দ্রকের সঙ্গে তরল-ফোঁটার সাদৃস্য।

যেমন ঃ

(i) একটি তরল-ফোঁটার মধ্যে একটি নির্দিষ্ট অণু নির্দিষ্ট সংখ্যক অণুর উপর তার আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। অর্থাৎ সব অণুর উপর করে না। এ অবস্থায় বলা হয় যে আকর্ষণ বল সম্পৃক্ততায় উপস্থিত। যদি প্রতিটি অণু বাকী সব অণুর সঙ্গে মিথষ্ক্রিয়া ঘটায় তবে মিথষ্ক্রিয়াশীল অণু-জোট সংখ্যা হবে $NC_2 = N\frac{(N-1)}{2} \approx \frac{N^2}{2}$

[N = ফোঁটায় অণুসংখ্যা, এটি খুব বড়]

∴ আণবিক শক্তি $\alpha\ N^2$

অপর দিকে যদি প্রতিটি অণু নির্দিষ্ট সংখ্যক অণুর সঙ্গে মিথস্ক্রিয়া ঘটায় তবে এরূপ ইলেক্ট্রন জোটের সংখ্যা N-এর সঙ্গে সরল ভেদে পরিবর্তিত হবে, এবং আণবিক স্থিতিশক্তিও N-এর সমাণুপাতী হবে। পরীক্ষায় দেখা গেছে দ্বিতীয়টিই ঘটে।

তরলের ক্ষেত্রেও অণুরূপ। এক ফোঁটা তরলকে বাষ্পায়িত করতে প্রয়োজনীয় তাপ অর্থাৎ লীনতাপ a ফোঁটায় উপস্থিত অণুসংখ্যা; 2 গ্রা. তরলকে বাষ্পায়িত করতে প্রয়োজনীয় তাপ = 2 × 1 গ্রা. তরলকে বাষ্পায়িত করতে প্রয়োজনীয় তাপ।

আবার কেন্দ্রকীয় বন্ধন-শক্তি α কেন্দ্রকণ সংখ্যা (ভর সংখ্যা)

(ii) কেন্দ্রকে উপস্থিত আকর্ষণ বল তরল ফোঁটার পৃষ্ঠ টানের অণুরূপ।

(ii) তরলের ফোঁটার মত কেন্দ্রকের ঘনত্ব আয়তন নিরপেক্ষ। কেন্দ্রকের ব্যাসার্ধ α $A^{1/3}$, $\therefore$ কেন্দ্রকের আয়তন $V \alpha A$।

$\therefore$ কেন্দ্রকের ভর α A, ঘনত্ব $\frac{M}{V}$ A নিরপেক্ষ। এ থেকে কেন্দ্রকীয় বলের সম্পৃকতায় ধারণাও পাওয়া যায়।

(iv) কেন্দ্রকের বিভাজনের সময় N, p, α-কণা প্রভৃতি নির্গত হয়। এই ব্যাপারটার সঙ্গে তরলতল থেকে বাষ্পীভবনের সময় নির্গত অণুর সাদৃশ আছে।

(v) কেন্দ্রকের মধ্যস্থ শক্তি তরল-ফোঁটার মধ্যেস্থ শক্তির অণুরূপ। পরবর্তী সময় ভাইজ্যাকার (C. f. Weizsaker) ও বেথে (H. A. Bethe) এই সাযুজ্য ধরে নিয়ে একটি অর্ধস্থূল ভর/শক্তি ফর্মূলা প্রতিষ্ঠিত করেন। সেই ফর্মূলার সার্থক প্রয়োগ থেকে তরল-ফোঁটা-কাঠামোর পক্ষে সমর্থন পাওয়া যায়।

4·7·4 সমন্বিত (Collective) কাঠামো

1951-তে আগে বর (Aage Bohr) ও মটল্‌সন (Motlelson) একটি সমন্বিত কাঠামো উপস্থিত করেন। এতে দেখানো হয়েছে কেন্দ্রকনের পরস্পারিক প্রভাবে কেন্দ্রক। তরল ফোঁটার মত বিকৃত হতে পারে। এই কাঠামোতে নির্জোট কেন্দ্রকণের মত পুরো কেন্দ্রকের চলন ধরা হয়েছে। আবার পূর্ণ কক্ষের বাইরের কেন্দ্রকণগুলির কোয়ান্টাম সংখ্যার ধারণাও মেনে নেওয়া হয়েছে। এতে কেন্দ্র ও তরল-ফোঁটা উডা কাঠামোর ত্রুটিকে একসঙ্গে গাঁথা হয়েছে।

10·8 কৃত্রিম (আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়া (Arfsfrcal or Induced Radioactivity)

কৃত্রিম বা আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়ার ঘটনা আইরিন ক্যুরি ও এফ্ জোলিও ক্যুরি আবিষ্কার করেছিলেন। বোরণ, ম্যাগ্নেসিয়াম ও এ্যালুমিনিয়ামের উপর α-কণা প্রক্ষেপের ফল অণুসন্ধান করতে গিয়ে তাঁরা দেখেন যে দু'ধরনের রশ্মি নির্গত হয়;

(i) প্রথম ধরণের রশ্মিতে নিউট্রণ বা প্রোটন থাকে, আর (ii) দ্বিতীয় ধরণের রশ্মিতে থাকে পজিট্রণ বা ইলেক্ট্রণ। α-কণার উৎস বন্ধ করে দিলে নিউট্রণ/প্রোটন বের হওয়াও বন্ধ হয়ে যায়, কিন্তু পজিট্রণ/ইলেকট্রণ বের হতেই থাকে এবং নিঃসরণের প্রাবল্য সূচকীয়ভাবে (exponentially) বা লগারিদ্মীয়ভাবে কমতে থাকে। ঘটনাটি এভাবে ব্যাখ্যাও হলঃ α-কণা প্রক্ষেপের ফলে কোনও তেজস্ক্রিয় পরমাণু সৃষ্ট হল, যা কিনা তাদের ক্ষয়ের সময় পজিট্রণ নিঃসৃত করে।

উদাহরণ স্বরূপ ঃ α-কণার সঙ্গে সংঘর্ষে Al তেজস্ক্রিয় ফসফোরাস উৎপন্ন করে ঃ

$$_{13}{}^{27}Al + {}_{2}{}^{4}He = {}_{15}{}^{30}p + {}_{0}{}^{1}n$$

$$_{15}{}^{30}p \xrightarrow{T_{1/2}=3\cdot25} \text{মি} \quad {}_{14}{}^{30}Si + e^{+}\}(\times)$$

এ ধরণের তেজস্ক্রিয়তা কৃত্রিম পদ্ধতিতে ঘটানো হয় বলে একে কৃত্রিম বা আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা বলে।

আরও পরীক্ষার ফলে প্রায় 500 বিভিন্ন অস্থায়ী সমঘর আবিষ্কৃত হল। পরবর্তী পরীক্ষাসমূহে এ-ও দেখা গেল যে তেজস্ক্রিয় সমঘর β-কণা বা ইলেক্ট্রণ এবং এমন কী কোন কোন বিরল ক্ষেত্রে α-কণাও নির্গত হয়।

কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তাকে প্রক্ষিপ্ত কণার উপর নির্ভর করে কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়।

(1) **α-রশ্মি প্রক্ষেপণে আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা ঃ** (α, p) বিক্রিয়ায় সাধারণত ঃ স্থায়ী কেন্দ্রকই সৃষ্ট হয়, তবে কিছু কিছু ক্ষেত্রে অস্থায়ী পরমাণুত উৎপন্ন হয়, যারা β-কণা-নিঃসারী।

উদাহরণ ঃ $_{12}{}^{25}Mg + {}_{2}{}^{4}He \rightarrow {}_{13}{}^{28}Al + {}_{1}{}^{1}H$

$_{13}{}^{28}Al \rightarrow {}_{14}{}^{28}Si + e^{-}$

(α, n) বিক্রিয়ায় সাধারণত ঃ β⁺- নিঃসারী তেজস্ক্রিয় পরমাণু পাওয়া যায়। যেমন পূর্বোল্লিখিত (×) বিক্রিয়া। অল্প কিছু ব্যত্যয় বাদ দিলে, সাধারণত ঃ হালকা মৌলই α-কণা সংঘর্ষে সাড়া দেয়; তবে Ti, Cr, Cu, Br প্রভৃতিও ত্বরান্বিত (accelerated) α-কণা সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটায়।

(2) **প্রোটন প্রক্ষেপণে আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা ঃ** প্রোটন দিয়ে সাধারণত ঃ (p_1n) ধরণের বিক্রিয়া ঘটে।

$$_9{}^{19}F + _1{}^1H \rightarrow _{10}{}^{19}Ne + _o{}^1n \xrightarrow{-B^+} _9{}^{19}F$$

(3) **ডয়টেরণ প্রক্ষেপণে আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা ঃ** (d,p), (d, α) ধরণের বিক্রিয়ায় তেজস্ক্রিয় পদার্থ উৎপন্ন হয়। প্রথম ধরণের বিক্রিয়ায় e^- ও দ্বিতীয় ধরণের বিক্রিয়ায় e^+ নিঃসারী পরমাণু উৎপন্ন হয়।

$$_{11}{}^{23}Na + _1{}^2D \rightarrow _{11}{}^{24}Na + _1{}^1H$$

$$\rightarrow _{12}{}^{24}Mg + e^-$$

$_{83}{}^{209}Bi$ এর সঙ্গে $_1{}^2D$-এর বিক্রিয়া বেশ কৌতূহলোদ্দীপক। উদ্ভূত পদার্থ প্রথমে β-কণা নিঃসরণ করে (অর্ধায়ু 5·0 দিন), তারপরে আবার α-কণা নিঃসরণ করে।

$$_{83}{}^{209}Bi + _1{}^2D \rightarrow _{83}{}^{210}Bi + _1{}^1H$$

$$_{83}{}^{210}Bi \xrightarrow{-\beta^-} _{84}{}^{210}P_o \xrightarrow{-\alpha} _{82}{}^{206}pb$$

(d,n) ধরণের বিক্রিয়া ঃ $_8{}^{16}O + _1D^2 \rightarrow _9{}^{17}F + _0{}^1n$

$$\rightarrow _8{}^{17}O + e^+ \text{ (y)}$$

(4) **নিউট্রণ প্রক্ষেপণে আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা ঃ** এই ধরণের বিক্রিয়াই সবচেয়ে বেশি সংখ্যক।

(n, α) ধরণের ঃ $_{13}{}^{27}Al + _o{}^1n \rightarrow _{11}{}^{24}Na + _2{}^4He$

$$\xrightarrow{-\beta^-} _{12}{}^{24}Mg$$

(n, b) ধরণের ঃ $_{11}{}^{23}Na + _0{}^1n \rightarrow _{1D}{}^{23}Ne + _1{}^1H$

$$\xrightarrow{-\beta^-} _{11}{}^{23}Na$$

(n, r) ধরণের $_{18}{}^{40}Ar + _0{}^1n \rightarrow _{18}{}^{41}Ar + \gamma$

$$\xrightarrow{-\beta^-} _{19}{}^{41}K$$

(n, 2n) ধরণের ঃ $_{37}{}^{85}Rb + _0{}^1n \rightarrow _{37}{}^{84}Rb + _{20}{}^1n$

$$\xrightarrow{-\beta^-} _{38}{}^{84}Sr.$$

(5) γ-রশ্মি দ্বারা আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা ঃ উচ্চশক্তি (যথা 17×10^6 er) γ-রশ্মি কখনও কখনও কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ায় তেজস্ক্রিয় কণা তৈরি করতে পারে ঃ $_{15}{}^{31}P + {}_0{}^0\gamma \rightarrow {}_{15}{}^{30}p + {}_0{}^1n$

$$\xrightarrow{-\beta^-} {}_{14}{}^{30}Si$$

তেজস্ক্রিয় পরমাণু সন্ধান-পদ্ধতি ঃ এই উদ্দেশ্যে রাসায়নিক ও ভৌত উভয় পদ্ধতিই ব্যবহৃত হয়। ভৌত পদ্ধতির মধ্যে পড়ে তেজস্ক্রিয়ার ক্ষয় পরিমাণ, গাইগার মূলার গণক এবং তড়িদ্‌বীক্ষণ (electroswpe) ব্যবহার।

রাসায়ণিক পদ্ধতিতে উদ্ভুত তেজস্ক্রিয় পদার্থ রাসায়ণিক পদ্ধতিতে পৃথক করা হয়। যেমন (x) বিক্রিয়ায় ক্ষেত্রে সংঘর্ষের পর লক্ষ্যবস্তুকে HCl-এ দ্রবীভূত করা হয়। ফসফিন (AIP থেকে) নির্গত হয়—এটি e^+-সক্রিয়।

অনুরূপ (y) বিক্রিয়ায় ক্ষেত্রে O-কে H_2O রূপে D-এ উন্মুক্ত রাখা হয়। বিক্রিয়ার পরে ঐ জল ফুটন্ত KF দ্রবণে ঢালা হয়; তা থেকে $Cacl_2$ দিয়ে CaF_2 অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। এই অধঃক্ষেপ β^+-সক্রিয়।

অনুশীলনী—7

1. কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তার ক্ষেত্রে কখন β^+ ও কখন β^- বের হবে ... বুঝবেন?

2. শূন্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ তেজস্ক্রিয় $_6{}^{14}C$— নির্গমনের ও $_6{}^{11}C$—নির্গমনের মধ্যে বিঘটিত হয়।

3. ঠিক উত্তর বাছুন ঃ

$_{13}{}^{27}Al$ সুস্থির। $_{13}{}^{29}Al$ বিঘটিত হবে ঃ

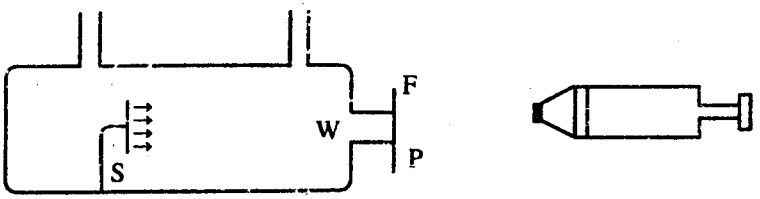
(A) নিউট্রন (B) পজিট্রন (c) α (D) B নির্গমনের মাধ্যমে।

10.9 কৃত্রিম কেন্দ্রকীয় উপস্কৃতি (Nuclear Transmulation) বা কেন্দ্রকীয় রূপান্তর (Nuclear Transformation)

1919 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড প্রথম মৌলের কৃত্রিম উপস্কৃতি ঘটাতে সক্ষম হয়। তিনি দেখেন যে N_2 গ্যাসকে α–কণা দিয়ে আঘাত করলে 1 প্রোটন বের হয়।

$$_2{}^4He + {}_7{}^{14}N \rightarrow {}_8{}^{17}O + {}_1{}^1H$$

রাদারফোর্ডের যন্ত্র ছিল নিম্নরূপ (চিত্র 10.7)



(চিত্র 10.7)

A একটি বদ্ধপাত্র। একে গ্যাস ঢোকাবার যন্ত্র প্রবেশপথ এবং ম্যানোমিটারের সঙ্গে সংযোগের জন্য বাহিরপথ আছে। S α-কণার উৎস $\left({}^{214}_{83}\mathrm{Bi}\right)$ এবং P একটি প্রতিপ্রভ পর্দা (ZnS-এর) সিলভারের পাতলা পাত দিয়ে আটকানা জানালা W-র ঠিক বাইরে অবস্থিত। P-র পিছনেই আছে পর্দার দীপন (scintillation) দেখার জন্যে অণুবীক্ষণ যন্ত্র M। S ও P-র মধ্যবর্তী দূরত্ব বাকানো যায়।

রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় F-এর বেধ এমনই ছিল যে S- থেকে বের হওয়া α–কণা এতে শোষিত হবে। S—P দূরত্ব α–র পাল্লার চেয়ে কম করা হল, ফলে F-এ আপতিত হয়ে α কণা পর্দায় দীপনের সুযোগ পাবে না। A কে N_2 দিয়ে ভর্তি করা হল, কিছু সময় পরেই দীপন দেখা যেতে লাগল। SP > 40 সেমি করার পরেও এই দীপন অব্যাহত থাকল। এ থেকে রাদারফোর্ড সিদ্ধান্ত করলেন যে N_2-এর সঙ্গে প্রক্ষিপ্ত α–কণার সংঘর্ষ বাধে—ফলে দীর্ঘতর পাল্লার নতুনতর কণা তৈরি হয়—এরাই দীপটার জন্য দায়ী। চৌম্বক ক্ষেত্রে বিক্ষেপ থেকে বোঝা গেল যে এই কণারা প্রোটন অর্থাৎ নিচের উপবৃত্তে ঘটছে ঃ

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

বিক্রিয়াটিকে ${}^{14}_{7}\mathrm{N}\ (\alpha, \beta){}^{17}_{8}\mathrm{O}$—এভাবেও লেখা হয়।

এখানে ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$-কে বলা হয় লক্ষ্য বস্তু (targd), α–প্রক্ষিপ্ত কণা (projectile), P–নিঃসৃত (ejected) কণা ও ${}^{17}_{8}\mathrm{O}$-কে বলা হয় অবশিষ্ট (residnal) কেন্দ্রক।

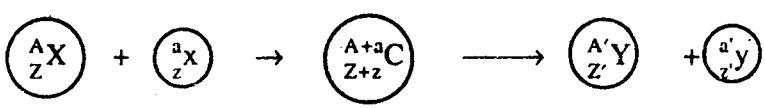
উপযুক্ত আবিষ্কারের পর এরকম বহু বিক্রিয়াই আবিষ্কৃত হয়েছে—এদের ক্ষেত্রে α–কণা, প্রোটন, ডয়েটেরন্ $\left({}^{2}_{1}\mathrm{D}\right)$, নিউট্রন $\left({}^{2}_{0}\mathrm{O}\right)$, এমন কী γ-রশ্মি পর্যন্ত প্রক্ষিপ্ত কণা হিসেবে ব্যবহৃত হয়েছে। α-কণা, প্রোটন ও ডয়েটেরন্ ধনাত্মক আধানযুক্ত কণা হওয়ায় তারা লক্ষ্যবস্তুর কেন্দ্রক দ্বারা বিকর্ষিত হয়—তাই প্রক্ষিপ্ত কণা

হিসাবে আদর্শ নয়। নিউট্রন আধানবিহীন হওয়ায় এই ক্ষেত্রে আদর্শ। আবার প্রোটন ও ডয়েটেরন একক আধান বিশিষ্ট হওয়ায় α–অপেক্ষা বেশি কাজের। তবে এসব কণাকে আরও উপযুক্ত করা যায় যদি তাদের অনেক উচ্চ গতিসম্পন্ন করা যায়। সাইক্লোট্রন (cycloton) এমন একটি যন্ত্র যা দিয়ে প্রক্ষিপ্ত কণার গতিবেগ প্রায় 25000 মাইল সে$^{-1}$ করা যায়। অধুনা আরও বেশি দ্রুত কণার সৃষ্টি করার জন্য সিন্‌কোট্রন (synchotron) বা বিভাট্রন (bevatron) নির্মিত হয়েছে।

10.9.1 যৌগিক কেন্দ্রক বিষয়কের তত্ত্ব ঃ

রাদারফোর্ড তাঁর N (α, β) O পরীক্ষায় ভেবে নিলেন যে N-কেন্দ্রক α–কণাকে পুরোপুরি শোষণ করে নেয়—এবং O- কেন্দ্রক থেকে প্রোটনক উৎপন্ন করে। আরেকটি সম্ভব হতে পারে α কণা না কেন্দ্রক থেকে প্রোটনকে ধাক্কা দিয়ে বের করে দেয়। সেক্ষেত্রে বিক্রিয়াটি হবে ${}^{17}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{1}_{1}H + {}^{4}_{2}He$, অর্থাৎ সংঘর্ষের ফলে একটি কণা উৎপন্ন হবে। কণাগুলির গতিপথ একই তলে নাও হতে পারে। P.N.S Blakeh (1915)-এ উইল্‌সন্‌-এর মেঘ-কক্ষে (Wilson's cloud chamber) এই ধরনের পরীক্ষা করে সিদ্ধান্ত আসেন যে α–কণা বিক্রিয়ার ফলে অদৃশ্য হয় ও নতুন কণা (প্রোটন) জন্ম নেয়। এ থেকে নীল্‌স্‌ বর (Niels Bohr, 1936) তাঁর যৌগিক কেন্দ্রকেরতত্ত্ব দিলেন।

এই তত্ত্ব অনুযায়ী x-কণা X-লক্ষ্যের উপর আপতিত হলে শেষোক্তটি প্রথমোক্তটিকে শুষে ফেলে, ফলে উৎপন্ন হয় একটি অস্থিতকম্প (metastable) যৌগিক কেন্দ্রক। এটি উত্তেজিত (excited) অবস্থায় থাকে এবং এর অর্ধায়ু 10^{16} সে.। এরপরে এটি বিঘতি হয়ে Y কেন্দ্রক ও y কণা উৎপন্ন করে।



বরের মতানুযায়ী যৌগিক-কেন্দ্রক একাধিকভাবে বিঘটিত হতে পারে। আবার একই যৌগিক কেন্দ্র একাধিকভাবে গঠিত হতে পারে।

উদাহরণ ঃ. ${}^{27}_{13}Al + \gamma$

${}^{26}_{12}Mg + {}^{1}_{1}H$ ${}^{27}_{13}Al \rightarrow$

${}^{25}_{12}Mg + {}^{2}_{1}D$

${}^{27}_{13}Al + \gamma$

${}^{26}_{13}Al + {}^{1}_{0}n$

${}^{26}_{12}Mg + {}^{1}_{1}H$

$^{23}_{11}Na + ^{4}_{2}He$ $^{25}_{12}Mg + ^{2}_{1}H$

$^{13}_{11}Na + ^{4}_{2}He$

যৌগিক কেন্দ্রের উদ্দীপন শক্তি (excitation energy) ও আরও কিছু বিভিন্ন ধরনের 'শক্তি'-র উপর কোন পথ (route) অনুসৃত হবে তা নির্ভর করে। 1950-এ SN Ghosal-এর পরীক্ষায় যৌগিক-কেন্দ্রক তত্ত্ব পূর্ণ প্রতিষ্ঠিত হয়।

কিছু কিছু কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া অবশ্য আছে যেখানে যৌগিক কেন্দ্রক গঠি হয় না। অত্যুচ্চ শক্তির (>50 Mew) প্রক্ষিপ্তকণার ক্ষেত্রে কণাটি সরাসরি কেন্দ্রকে ঢোকে, যৌগ বা কিছু কেন্দ্রকণাকে ধাক্কা দিয়ে বের করে দেয় এবং নিজেও বেরিয়ে আসে। একে বলে প্রত্যক্ষ বিক্রিয়া (Direct Readtion)।

10.10 কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়াসমূহে শ্রেণীবিভাগ ঃ

বিভিন্ন ধরনের কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়াসমূহকে কয়েকটি শ্রেণীতে ভাগ করা হয় ঃ (i) প্রক্ষিপ্ত কণা অধিকার বিক্রিয়া; (iii) প্রক্ষিপ্ত কণা অধিকার কণা নির্গমন বিক্রিয়া; (iii) স্যালেশন বিক্রিয়া; (iv) কেন্দ্রকীয় বিভাজন ও (v) কেন্দ্রকীয় সংযোজন।

4.10.1 প্রক্ষিপ্ত কণা অধিকার বিক্রিয়া (Projectile capture reaction) :

বেশিরভাগ কেন্দ্রেকক্ষ শ্লথ (slow) নিউট্রন শোষণ করে নিতে পারে এবং এই নিউট্রন অধিকার বিক্রিয়া সাধারণঃ γ–রশ্মির নির্গমন ঘটে। প্রোটন অধিকার বিক্রিয়াও জানা আছে। উদাহরণ ঃ

$^{85}_{37}Rb + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{86}_{37}Rb + \gamma \quad (n, \gamma)$

$^{59}_{27}CO + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{60}_{27}CO + \gamma \quad (n, \gamma_1)$ [এই γ–রশ্মি ক্যান্সার-এর চিকিৎসায় ব্যবহৃত হয়]

$^{12}_{6}C + ^{1}_{0}H \longrightarrow ^{13}_{7}N + \gamma \quad (p, \gamma)$

4.10.2 প্রক্ষিপ্ত কণা অধিকার—কণা নির্গমন বিক্রিয়া (Projectile capture particle emission reaction) :

এই ধরনের বিক্রিয়াই বেশি দেখা যায় ঃ এদের আবার শ্রেণিবিভক্ত করা যায় ব্যবহৃত প্রক্ষিপ্ত কণার হিসাবে ঃ

(i) প্রোটন দ্বারা সংঘটিত বিক্রিয়া—

(p, n) ধরনের $^{23}_{11}Na + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{23}_{12}Mg + ^{1}_{0}n$

(p, α) ধরনের $^{14}_{7}N + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{11}_{6}C + ^{4}_{2}He$

(p, γ) ধরনের $^{27}_{13}Al + ^{1}_{1}He \rightarrow ^{28}_{16}Si + \gamma$

(ii) ডয়েটেরন সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

(d, p) $^{59}_{27}CO + ^{2}_{1}4 \rightarrow ^{60}_{27}CO + ^{1}_{1}H$

(d, n) $^{209}_{83}Bi + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{210}_{84}Po + ^{1}_{0}n$

(d, α) $^{12}_{6}C + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{4}_{2}He$

(iii) α-কণা সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

(α, p) $^{19}_{9}F + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{22}_{10}Ne + ^{1}_{1}H$

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

উচ্চ-শক্তি α-কণা (সাইক্লোট্রন থেকে) দিয়ে ইউরেনিয়ামোত্তর (trans uraniun) মৌল পাওয়া যায় ঃ

$$^{238}_{92}U + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{239}_{94}Pu + 3^{1}_{0}n$$

$$^{239}_{94}Pu + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{242}_{96}Cu + ^{1}_{0}n$$

(iv) নিউট্রন-সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ আগে জেনেছেন যে আধান বিহীন হওয়ায় দরুন নিউট্রনই সবচেয়ে বেশি কার্যকরী। উচ্চ গতিশক্তি সম্পন্ন (1–13 Mw) নিউট্রন উৎপন্ন হয় পারমানবিক চুল্লী থেকে; গ্রাফাইট বা ভারী জল এর সঙ্গে সংঘর্ষে এরা শ্লথ হয়ে যায়—এদের তখন বলা হয় শ্লথ বা তাপীয় নিউট্রন, এদের শক্তি $\frac{1}{40}$ ই-ভি। দ্রুত এবং শ্লথ—উভয় প্রকার নিউট্রনের শক্তি বিক্রিয়ার ধরণ নির্ধারণ করে। দ্রুত নিউট্রন কেন্দ্রকের নিউট্রনকে ধাক্কা দিয়ে বেরিয়ে যায়। আর শ্লথ নিউট্রন শোষিত হয় ঃ

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{237}_{92}U + 2\,^{1}_{0}n.$$ (উচ্চ-গতি-সম্পন্ন)

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U$$ (শ্লথ)

^{235}U বিভাজনে শ্লথ নিউট্রন উপযোগী। বিভিন্ন ধরনের নিউট্রন-সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

(a) বিকিরণ অধিকার (radiative capture) :

(n, γ) ধরনের $^{40}_{18}Ar + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{41}_{18}Ar + \gamma \longrightarrow ^{41}_{19}K + ^{0}_{-1}e$

এ ধরনের বিক্রিয়ায় প্লুটোনিয়াম (পারমাণবিক জ্বালানী) উৎপন্ন হয় ঃ

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{839}_{92}U + \gamma$$

$$^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e \longrightarrow ^{239}_{94}Pu\ (t_{1/2} = 24000 \text{ বছর}) + ^{0}_{-1}e$$

(b) নিউট্রন নির্গত হয় যে বিক্রিয়ায় ঃ

$$^{39}_{19}K + ^{1}_{1}n \rightarrow ^{38}_{19}K + 2\,^{1}_{0}n;\ ^{38}_{19}K \rightarrow ^{38}_{18}Ar + ^{0}_{+1}e$$

$$^{85}_{37}Rb + ^{1}_{C}n \rightarrow ^{84}_{37}Rb + 2\,^{1}_{0}n;\ ^{84}_{37}rb \longrightarrow + ^{84}_{3B}Si + ^{0}_{-1}e$$

(c) আধানযুক্ত কণার নির্গমন হয় যে বিক্রিয়ায় ঃ

$$^{35}_{17}Cl + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{35}_{16}S + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{35}_{17}Cl + ^{0}_{-1}e$$

(v) γ-রশ্মি সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

$$^{2}_{1}H + \gamma \text{ (উচ্চশক্তির)} \rightarrow ^{1}_{1}H + ^{1}_{0}n$$

$$^{9}_{4}Be + \gamma \rightarrow ^{8}_{4}Be + ^{1}_{0}n$$

লক্ষণীয় ঃ উপরের কোন কোন বিক্রিয়ায় তেজক্রিয়তা (কৃত্রিম) উৎপন্ন হয়। মনে রাখবেন কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা সৃষ্টি হয় যে সব বিক্রিয়ায় তারা কেন্দ্রকীয় উপস্থিতি, কিন্তু কেন্দ্রকীয় উপস্থিতি মাত্রই কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা সৃষ্টি করে না।

অনুশীলনী—8

1. নিচের বিক্রিয়ায়গুলি সম্পূর্ণ করে লিখুন ঃ

(i) ${}^{14}_{7}N(n, p) {}^{12}_{6}C$; (ii) ${}^{19}_{7}F(n, \alpha) {}^{16}_{7}N$; (iii) ${}^{27}_{13}Al (p, \alpha) {}^{24}_{12}Mg$ (iv) ${}^{239}_{94}Pu (\alpha\ n) {}^{242}_{96}C$.

2. শূন্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ

(i) ${}^{85}_{37}Rb + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{86}_{37}Rb + ?$ (ii) ${}^{16}_{8}O + ? \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He$

(iii) ${}^{23}_{11}Na + {}^{1}_{1}H \rightarrow ? + {}^{1}_{0}n$ (iv) $? + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{15}_{8}O + {}^{1}_{0}n$

10.10.3 স্প্যালেশন (খন্ডকরণ, Spallation) বিক্রিয়ায় ঃ

400 Me V-র বেশি শক্তি প্রক্ষিপ্ত কণা কোন ভারি কেন্দ্রক থেকে অনেকগুলি খণ্ডাংশ তুলেনিয়ে আসতে পারে—পরে থাকে একটি ছোট সনাক্তকরণ যোগ্য অবশিষ্ট কেন্দ্রক। এইভাবে উৎপন্ন কেন্দ্রকের পারমানবিক সংখ্যা মূলের চেয়ে 10—20 একক কম হয়। এই বিক্রিয়াকে বলে স্প্যালেশন বিক্রিয়া। সাধারণ কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার সঙ্গে এর পার্থক্য এই যে সাধারণক্ষেত্রে পারমানবিক সংখ্যার হ্রাস 2-এককের বেশি সাধারণত হয় না। আবার বিভাজন (কক্ষকে)-এর থেকে স্প্যালেশনরে অর্থাৎ যে সদ্যালেশন আত্মস্থানে (self-sustaining) নয় এবং এর পরিবর্তনও বিভাজনের মত নয় :

${}^{63}_{29}Cu + {}^{4}_{2}He$ (400 Mev) – $\frac{35}{17}Cl + 14\ {}^{1}_{1}H + 16\ {}^{1}_{0}n$

${}^{75}_{33}As + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{56}_{25}Mn + 9\ {}^{1}_{1}H + 12\ {}^{1}_{0}n$

অনুশীলনী—9

1. স্প্যালেশন ও বিভাজন বিক্রিয়ার পার্থক্য কী?

10.10.4 কেন্দ্রকীয় বিভাজন (Nuclur fission) :

মাইটনার ও ফ্রিশ্ (Meitner and Frisch, 1939) বিভাজন বিক্রিয়া আবিষ্কার করেন। ফার্মি (1934) ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলসমূহ আবিষ্কারের উদ্দেশ্যে ইউরেনিয়ামকে স্লথ ইলেকট্রন দিয়ে আঘাত কের দেখলে যেন

β—সক্রিয় তেজস্ক্রিয় পদার্থ উৎপন্ন হয়েছে। এ থেকে তাঁর ধারণা হল যে অভীখিত কৃত্রিম মৌল পাওয়া গেছে। কিন্তু অটো হান (Otto Han) ও স্ট্যাস্ম্যান (Strassman) দেখেন যে বিক্রিয়া-পরিমণ্ডলে রয়েছে La ও Bo মৌল। ব্যাপারটা ব্যাখ্যা প্রসঙ্গে মাইট্নার ও ফ্রিশ্ এই কেন্দ্রকীয় বিভাজন-এর কথা বললেন।

কেন্দ্রকীয় বিভাজন এমন এক ধরনের কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া যেখানে একটি ভারি কেন্দ্রক উপযুক্ত শক্তি সম্পন্ন নিউট্রন বা অন্য কণা দ্বারা আঘাত-প্রাপ্ত হয়ে শোষিত হয়ে যায় এবং যৌগিক কেন্দ্রক গঠন করে। এই যৌগিক কেন্দ্রের এমনই উদ্দীপন শক্তিস্তরে থাকে N এটি দুটি মোটামুটি সমান ভরের কেন্দ্রক উৎপন্ন হয়। আর তার সঙ্গে নির্গত হয় 2-3টি নিউট্রন আর প্রভূত পরিমান শক্তি।

পরবর্তী পরীক্ষায় নিশ্চিত হওয়া গেছে যে শ্লথ নিউট্রন ^{235}U-কে বিভাজিত করে (i) আর ^{238}U-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল সংশ্লেষিত করে (ii)। বিভাজনের ক্ষেত্রে একাধিক ধরনের বিক্রিয়া ঘটে।

$$\text{I.}\quad {}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \ (\text{শ্লথ}) \rightarrow \begin{cases} {}^{103}_{42}Mo + {}^{103}_{50}Sn + 2\,{}^{1}_{0}n \\ {}^{92}_{36}Kr + {}^{141}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n \\ {}^{97}_{39}Y + {}^{135}_{53}I + 4\,{}^{1}_{0}n \end{cases}$$

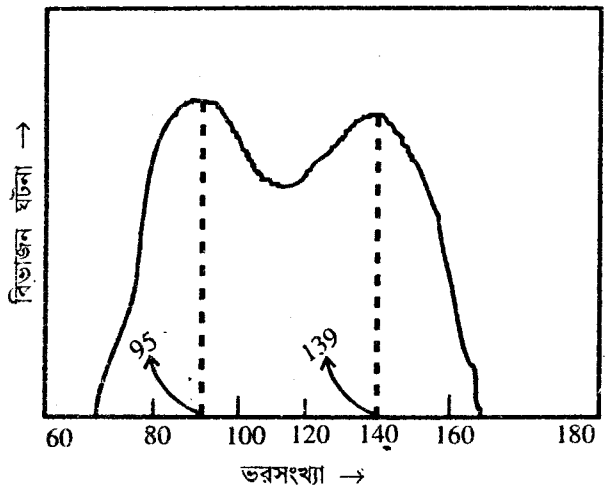
$$\text{II.}\quad {}^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \ (\text{শ্লথ}) \rightarrow {}^{239}_{92}U^{8} \xrightarrow[\text{23·5 মি.}]{B} {}^{239}_{93}Np \xrightarrow[\text{23·3 মি.}]{B} {}^{239}_{94}Pu\ldots\ldots$$

${}^{233}_{92}U$ + ${}^{239}_{94}Pu$ শ্লথ নিউট্রনের দ্বারা এবং ${}^{232}_{90}Th$, ${}^{231}_{91}Pa$, ${}^{238}_{92}U$.

দ্রুতগতি নিউট্রন দ্বারা বিভাজিত হয়। এ-ও দেখা গেছে যে ${}^{1}_{73}a$ উচ্চশক্তি সম্পন্ন কণা দ্বারা বিভাজিত হয়।

(I) অংশে প্রদর্শিত তিনটি বিক্রিয়া তিরিশেরও বেশি রকমের বিভাজনের কয়েকটি মাত্র। প্রকৃতপক্ষে ^{235}U-এর বিভাজন-জাত পদার্থের মধ্যে 40টি বিভিন্ন মৌলের প্রায় 160টি সমঘর থাকে—এদের পারমাণবিক সংখ্যার পাল্লা 30 (Zn) থেকে 63 (En), আর পারমাণবিক ভরের পাল্লা 72 থেকে 162। লঘু মৌল ভরসংখ্যা 100 পর্যন্ত) ও ভারিমৌল (ভরসংখ্যা 100-র উপর)-র অনুপাত 5 : 7। সবচেয়ে বেশি সম্ভাব্য বিভাজন ঘটনা (6·4%)

ভরসংখ্যা 95 ও 139 ভরসংখ্যার মৌল উৎপন্ন করে। আর সব চেয়ে কম বিভানস্থত সমঘরের ভরসংখ্যা 117 (চিত্র 10.8)।



বিভাজনে উৎপন্ন বেশির ভাগ কেন্দ্রেকই তেজস্ক্রিয়—সুস্থির কেন্দ্রকণার হওয়া পর্যন্ত তারা β ও রশ্মি নির্গত করে চলে (ফার্মির ভুলটা হয়েছিল এখানেই ঃ

$$^{141}_{56}Ba \xrightarrow{\beta} {}^{141}_{57}La \xrightarrow{\beta} {}^{141}_{58}Ce \xrightarrow{\beta} {}^{141}_{1}Pr$$

$$^{92}_{36}Kr \longrightarrow {}^{92}_{37}Rb \xrightarrow{\beta} {}^{92}_{38}Sr \xrightarrow{\beta} {}^{59}_{39}Rh \xrightarrow{\beta} {}^{92}_{40}N$$

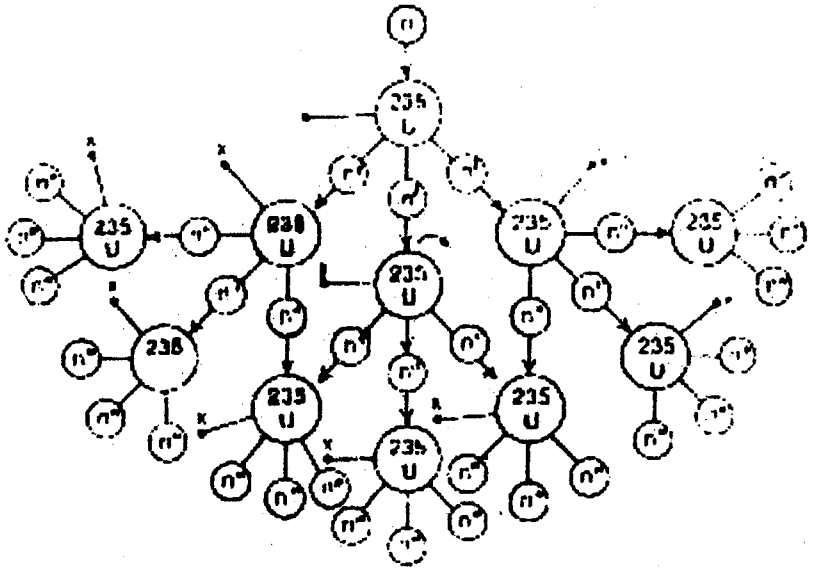
বিভাজন-ক্রিয়ার দুটি বৈশিষ্ট্য হল ঃ

(i) প্রভূত পরিমান (v 200 Mev) শক্তির উৎপাদন এবং (ii) উচ্চগতি শক্তি সম্পন 2-3টি নিউট্রন উৎপাদন।

শক্তির উৎস-রূপে বিজ্ঞান ঃ $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{34}Kr + 2 - 3{}^{1}_{0}n + 200Mev$

এই প্রভূত পরিমাণ শক্তির খুব অল্প অংশ উৎপন্ন নিউট্রনের গতিশক্তি সরবরাহ করে, আর বেশিরভাগটাই পাওয়া যায়, তাপ-শক্তি হিসেবে। বিভাজনে কিছু ভরের আধান ঘটে; অর্থাৎ বিভাজনোদ্ভুত পদার্থসমূহের মোট ভর ইউরেনিয়াম ও নিউট্রনের মোট ভরের চেয়ে কম। ভর হ্রাস 0.1% ভারি মৌল U-এর বন্ধন-শক্তি মাঝামাঝি ভরের উদ্ভুত মৌলের কেন্দ্রকীয় বন্ধন শক্তির চেয়ে কম। তাই প্রক্ষিপ্ত কণার শোষণের মাধ্যমে সরবরাহকৃত অতিরিক্ত শক্তিতে U-কেন্দ্রক বিভাজিত হয়ে পড়ে। বিভাজনে ভরহ্রাস ঘটে প্রতি U কেন্দ্রক বিভাজিত হয়ে পড়ে। বিভাজিত ভর হ্রাস ঘটে প্রতি U-কেন্দ্রক পিছু 0·215 পারমাণবিক ভর একক। সুতরাং উদ্ভুত শক্তি = 0·215 × 931 = 200 Mev গড়মান 198 Mw। এর 184 Mw ব্যবহারযোগ্য শক্তি হিসাবে পাওয়া যায়।

কেন্দ্রকীয় বিভাজন আত্মপুষ্ট ঃ আপনারা জেনে গেছেন যে প্রতিটি ইউরেনিয়াম পরমাণুর বিভাজনে 2–



3টি নিউট্রন বের হয়। এই নিউট্রনগুলি আবার বিভাজন ঘটাবে। এইভাবে বিভাজনে প্রয়োজনীয় নিউট্রন থেকেও বেশি সংখ্যক নিউট্রন উৎপন্ন হয়। বিভাজন বিক্রিয়া তাই আত্মপুষ্ট (Self sustaining) এবং শৃঙ্খল-প্রক্রিয়া (Chain reaction) (চিত্র 10.9)

পারমাণবিক বোমা ও পারমাণবিক চুল্লী ঃ পারমাণবিক বোমা এই কেন্দ্রকীয় বিভাজন নীতের উপর ভিত্তি করে পরিকল্পিত। এর বিস্ফোরণের সময় মুহূর্তকালের মধ্যে তাপমাত্রা 10^{60}C বা তার বেশি উঠে যায়। 1 কিগ্রা ^{235}U বা ^{239}Pu বিস্ফোরণের ফলে 20 কিলোটন টি-এন্-টি-র সমান। বিভাজনজাত পদার্থের ওজন ~1 কিগ্রা (কারণ ভরগ্রাম 0.1%)।

পারমাণবিক শক্তি বলতে আমরা এই বিভাজনজাত শক্তিই বুঝি। যে যন্ত্র-সমবায়ে নিয়ন্ত্রিত পদার্থকে কেন্দ্রকীয় বিভাজন ঘটিতে শক্তি উৎপাদন করা হয় তাকে বলে পারমাণবিক বা কেন্দ্রকীয় চুল্লী (nuclurrcation)

এতে জ্বালানী হিসাবে ব্যবহৃত হয় ^{235}U (U_2O_3–রূপে) প্লুটোনাম। বর্তমানে উদ্ভাবিত breeder reactor বা প্রজনক চুল্লীতে ^{238}U নতুনতর জ্বালানী ^{239}Pu পরিণত হয় বিভাজন ঘটায়। গ্রাফাইট বা ভারিজন নিয়ন্ত্রক (maderator) হিসাবে ব্যবহৃত হয়। এর কাজ উৎপন্ন দ্রুতগতি নিউট্রনকে ক্লথ নিউট্রনে পরিণত করা।

ভারতবর্ষের পারমাণবিক চুল্লী ও পারমাণবিক শক্তিকেন্দ্র সমূহ

মুম্বাই-র কাছে ট্রম্বেতে যে চুল্লীগুলি আছে ঃ

(i) অপ্সরা ঃ হোমি জাহাঙ্গীর ভাবার তত্ত্বাবধানে 14.8.1956তে সম্পূর্ণ হয়। (Apsara) এখন প্রায় বন্ধ।

(ii) দি· সাইরাস (cirus) : 10.7.1960

(iii) দি জারলিনা (Zerlina, Zero energy reaction for lattice investigation and nuclear assemblies) 14.1.1961

(iv) পূর্ণিমা (Purnima) : Pu-চুল্লী 22.5.1972

পঞ্চম গবেষণাভিত্তিক চুল্লী হল ধ্রুব (Dhruva) : 15.8.1984 গবেষণা।

ষষ্ঠটি কামিনী (Kamini) 1.4.1969 তারিখে কলপক্কম্-এর Indira Gandhi Centre for Atomic Research-এ স্থাপিত হয়।

চুল্লীগুলির অবস্থান ঃ (i) তারাপুর (মহারাষ্ট্র), (ii) রাণা প্রতাপসাগর (কোটা, রাজস্থান), (iii) কলপক্কম্ (চেন্নাইর কাছে), (iv) বুলন্দশহর (উঃ প্রদেশ), (v) কাকারপুর (গুজরাত)

কলপক্কমের চুল্লী দ্রুত প্রজনক ধরণের চুল্লী; এতে ^{232}Th জ্বালানী ব্যবহৃত হয় যা থেকে পাশে ^{233}U।

এরপর আসুন দুটো অঙ্ক কষে দেখি এই কেন্দ্রীয় শক্তির বৈশিষ্ট্য ঃ

I. 1 কিগ্রাম ^{235}U বিভাজনে উৎপন্ন শক্তি ঃ

1 গ্রা অর্থাৎ ^{235} গ্রা U-এ $6{\cdot}02 \times 10^{23}$টি U-পরমাণু আছে।

$\therefore$ 1 কিগ্রা. বা 1000 গ্রা U-এ $\frac{6{\cdot}02\times10^{26}}{25}$টি U-পরমাণু আছে

$\therefore$ নির্গত শক্তির পরিমাণ $= \frac{6{\cdot}02\times10^{26}}{25}\times184$ $4{\cdot}75 \times 10^{26}$Mev $= \frac{4{\cdot}75\times23\times10^{35}}{6{\cdot}02\times10^{23}}$

$= 18{\cdot}15 \times 10^{12}$ ক্যালোরি $= \frac{18{\cdot}15\times10^{12}}{8{\cdot}57\times10^{5}}$ বা $2{\cdot}1 \times 10^{7}$ কিলোওয়াট-ঘণ্টা (KWH)

[1 KWH $= 1 \times 10^{3} \times 60 \times 60$ জুল $= \frac{36\times10^{5}}{4\cdot2} = 8{\cdot}57\times10^{5}$ক্যালোরি।

$= 214 \times 10^{10}$ ক্যালোরি

II. U ও কয়লার জ্বালানী ক্ষমতা ঃ

g, u সম্পূর্ণ বিভাজনে 0·1% বা 0·001 গ্রাম ভর হ্রাস পায়।

$\therefore$ উৎপন্ন শক্তি $= 0{\cdot}001 \times 9 \times 10^{20} = 9 \times 10^{17}$ আর্গ $= \frac{9\times10^{17}}{4{\cdot}2\times10^{7}}$ ক্যালোরি $= 2{\cdot}14 \times 10^{10}$ ক্যালোরি

1 গ্রাম C সম্পূর্ণ দহনে প্রায় 8000 ক্যালোরি চাপ দেয় [$C + O_2 = CO_2 = 97000$ ক্যা.]

$\because$ 94% C থাকে অ্যানথ্রাসাইট কয়লায় এবং আরও কিছু দাহ্য পদার্থ থাকে।

ধরে নিই না কেন যে, 100%ই কার্বন আছে।

তবে, 8000 ক্যালোরি তাপ পাওয়া যায় 1 গ্রাম কার্বন থেকে।

$\therefore 2.14 \times 10^{10}$ ক্যালোরি তাপ পাওয়া যাবে $\frac{2{\cdot}14\times10^{10}}{8000} = \frac{21{\cdot}4\times10^{6}}{8} = 2{\cdot}625\times10^{6}$ গ্রা কার্বন থেকে।

$= 2{\cdot}625$ মেট্রিক টন

10.10.5 তাপ-কেন্দ্রকীয় সংযোগ (Thermo nuclear fugtm)

${}^{2}_{1}H$, ${}^{3}_{1}H$, ও ${}^{6}_{3}Li$ -এর মত লঘু কেন্দ্রসমূহ পরস্পরের সঙ্গে সংযোজিত হয়ে অপেক্ষাকৃত ভারি কেন্দ্রক গঠন করতে পারে। যেমন, ডয়টেরিয়াম ও ট্রিশিয়াম সংযোজিত হয় He কেন্দ্রক গঠন করে ঃ

$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}N + 17{\cdot}6Mw$$

অনুরূপে ঃ $${}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H + 4{\cdot}01Mw;\ {}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{0}HN + 3{\cdot}26Mw\ ;$$

$${}^{3}_{2}He + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{1}H + 18{\cdot}3Mw$$

এরূপ কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়াকে বলে সংযোজন (fusth)। আর যেহেতু এই বিক্রিয়া ঘটানো যায় অতি উচ্চ তাপমাত্রায়, তাই একে বলে তাপীয় কেন্দ্রকীয় সংযোজন (Thermal nuclur fusion)। লঘুতর কেন্দ্রকের বন্ধনশক্তি অপেক্ষাকৃত কম, তাই তারা কম সুস্থিত, আরতাই এদের দুটির সংযোজনে সুস্থিতর কেন্দ্রকগঠিত হয়।

প্রক্ষিপ্ত কণা ডায়েটেরিয়াম লক্ষ্য টিশিয়াম পরমাণু দ্বারা বিকর্ষিত হবে। এই কুলম্বীয় বিকর্ষণ অতিক্রম করতে প্রচুর শক্তি সরবরাহ করতে হবে। সাধারণতঃ বীক্ষণাগারে ত্বরক বলে এই ঘটনা ঘটানো হয়। ত্বরক ব্যবহার না করে কণাসমূহকে 10^7 ^{o}K-র মত তাপমাত্রায় উত্তপ্ত পরে উপযুক্ত পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করা হয়। এত উচ্চ তাপমাত্রায় কীভাবে পৌঁছুনো সম্ভব? প্রকৃতপক্ষে সংযোজন বিক্রিয়া শুরু করা হয় প্রাথমিক বিভাজন বিক্রিয়ার মাধ্যমে।

সংযোজন বিক্রিয়ায় অকল্পনীয় শক্তির উদ্ভব ঘটে—সাধারণ বিভাজনের 4 গুণ। এর ব্যাখ্যা এরূপ ঃ $^{7}_{3}Li+^{1}_{1}H\rightarrow 2^{4}_{2}He$ বিক্রিয়াটি ব্যবহৃত হয়। বিক্রিয়ার ভর হ্রাস 0·231% যেখানে U-এর বিভাজনের ক্ষেত্রে ভর হ্রাস 0·1%। এই লুপ্তভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। $[E=\Delta mc^2]$ হাইড্রোজেন বোঝায় $^{2}_{1}H+^{3}_{1}H\longrightarrow {}^{4}_{2}H+{}^{1}_{0}n$—বিক্রিয়াটি ব্যবহৃত হয়। ইউ-এস্-এ, ইউ-এস্-এস্-আর, ইউ-কে, ফ্রান্স, চীন, ভারতবর্ষ, পাকিস্তান, উঃ কোরিয়া জাপান-এর ক্রিয়াকৌশল রপ্ত করেছে।

মনে করা হয়, নক্ষত্রসমূহ ও সূর্য (এ-ও একটি নক্ষত্র)-র শক্তির উৎস একপ্রকার সংযোজন বিক্রিয়া—যেখানে 4টি পরমাণু একটি He পরমাণুতে রূপান্তরিত হয়। 1939 সালে হান্স বেথে (Hans Bethi) ও ভাইজ্যাকার (Veizacker) ব্যাখ্যা করেন যে সূর্যের শক্তি এক ধরণের তাপ-কেন্দ্রকীয় শৃঙ্খল বিক্রিয়া ঃ

$$^{12}_{6}C+^{1}_{1}H\rightarrow ^{13}_{7}N+\gamma;\ ^{13}_{7}N\rightarrow ^{13}_{6}C+\beta+\gamma\ (t_{½}=10\text{·}1\ \text{মি})$$

$$^{13}_{6}C+^{1}_{1}H\rightarrow ^{14}_{7}N+\gamma;\ ^{14}_{7}N+^{1}_{1}H\rightarrow ^{15}_{8}O+\gamma;$$

$$^{15}_{8}O\rightarrow ^{15}_{7}N+\beta^{+}+\gamma\ \ (t_{½}=125\ \text{সে});$$

$$^{15}_{7}N+^{1}_{1}H\rightarrow ^{12}_{6}C+^{4}_{2}He+\gamma$$

যোগ করে ঃ $\quad 4^{1}_{1}H\rightarrow ^{4}_{2}He+2\beta^{+}6\gamma$

ভরের 0·7% শক্তিকে রূপান্তরিত হয়ে 26.8 Mev শক্তি প্রতি চক্রে (cycle) উৎপন্ন হয়। একটি একক চক্র শেষ হতে লাগে 6×10^{6} বছর। একে বলা হয় C–N চক্র; $^{12}_{6}C$ অনুঘটক। এই চক্রের হিসাবে সূর্যের আয়ু আরও 3×10^{10} বছর।

আরও আধুনিক মতানুসারে C–N চক্র ঘটে সূর্যের থেকে উজ্জ্বলতর নক্ষত্রের ক্ষেত্রে। সূর্যের ক্ষেত্রে ঘটে প্রোটন-প্রোটন চক্র ঃ

$$^{1}_{1}H+^{1}_{1}H\rightarrow ^{2}_{1}H+\beta^{+}+\gamma;\ ^{2}_{1}H+^{1}_{1}H\rightarrow ^{3}_{2}He+\gamma$$

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

যোগ করে ঃ $${}^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + \beta^{+} + \nu + 2\gamma$$

এই হিসেবে সূর্যের আয়ু আরও 10^9 বছর। নিয়ন্ত্রিত তাপ-কেন্দ্রকীয় সংযোজন ভবিষ্যতের শক্তির এই গুরুত্বপূর্ণ উৎস হিসাবে পরিগণিত হয়। কাঁচামাল ${}^{2}_{1}H$ মহাসমুদ্রসমূহে প্রচুর পরিমাণে বিদ্যমান।

10.11 ট্রেসার কৌশল (Tracer Technique)

আকৃতিতে রাসায়নিক মৌলসমূহের সমঘরীয় সংযুতি স্থির। কিছু কৃত্রিমভাবে এই সংযুতি পরিবর্তন করা যায়। কৃত্রিমভাবে আবিষ্ট এই সমঘরীয় সংযুতির পরিবর্তনকে বলে ট্রেসার, এটি নিরূপণযোগ্য। সুস্থিত সমঘরের পরিমাণ বৃদ্ধি ঘটলে বিশ্লেষণের জন্য ভর বর্ণালী বীক্ষণমিতি (mass spectrometry) প্রয়োগ করা হয়, আর তেজস্ক্রিয় সমঘরের অনুপ্রবেশ হেতু সংযুতি পরিবর্তনের ক্ষেত্রে বিশ্লেষমের জন্য তেজস্ক্রিয়মিতিক (radiometric) পদ্ধতির প্রয়োগ করা হয়। জৈব যৌগে H-সমন্বয়ের থেকে দহনের ফলে উৎপন্ন জলের ঘনত্বের নিখুঁত পরিমাপ করা হয়। যে পদার্থের অণুর একটি উপাদান পরমাণু তেজস্ক্রিয় (বা অন্য সমঘরীর রূপ) করা হয়, তাকে 'চিহ্নিত' (tagged) অভিধা দেওয়া হয়। যে মৌলের নির্দিষ্ট সমঘর (তেজস্ক্রিয় বা অতেজস্ক্রিয়) ব্যবহার করা হয় তাকে বলে 'ট্রেসার মৌল' তেজস্ক্রিয়তা মেপে (বা ভর বর্ণালী বীক্ষণমিথিক উপায়ে) বিভিন্ন পর্যায়ে পদার্থটির অবস্থা জানা যায়। এই পদ্ধতিতে শরীরবৃত্তীয় বা রাসায়নিক পরিবর্তনের প্রণালী (course), অগ্রগতি ও কৌশল জানা যায়—এই পদ্ধতিকে বলে 'ট্রেসার কৌশল' (Tracert Technique)। আমরা এই অংশে আর কয়েকটি বহুলব্যবহৃত বৈশ্লেষণিক কৌশল অতি সংক্ষেপে আলোচনা করব। এগুলি হল ঃ (a) তেজস্ক্রিয় ক্রোম্যাটোগ্র্যাফি, (b) সমঘর লঘুকরণ বিশ্লেষণ, (c) নিউট্রন উজ্জীবন বিশ্লেষণ, (d) নিউট্রন শোষণমিতি এবং তেজস্করিয়মিতিক অনুমাপন।

10.11.1 তেজস্ক্রিয় ক্রোম্যাটোগ্রাফি (Radio Chromatography)

সমস্তরকম ক্রোম্যাটোগ্র্যাফীয় পৃথকীকরণই (কাগজ, স্তম্ভ ও গ্যাস) তেজস্ক্রিয় সমঘরের সার্থক প্রয়োগ হয়েছে। কোনও পরিস্ফুরক (developer) লাগে না, সক্রিয়তা সতেজই বিশ্লেষণ করা যায়।

তেজস্ক্রিয় ক্রোম্যাটোগ্রাফির সবচেয়ে চমকপ্রদ প্রয়োগ দেখিয়েছেন সীবর্গ (Seaborg) ও তাঁর সহকর্মীরা 19050–4। তাঁরা এই কৌশল প্রয়োগ করে তাঁরা অ্যামেরিসিয়াম, ক্যুরিয়াম, বার্কেলিয়াম, ক্যালিফোর্নিয়াম, আইনস্টাইনিয়াম ও ফার্মিয়াম (সবগুলিই তেজস্ক্রিয়)-কে পৃথক করেন। মিশ্রণকে ডাউয়েক্স –50 (Dowex–50)-এর 5-6 সেমি লম্বা ও 2 মিমি ব্যাসযুক্ত স্তম্ভের উপর স্থাপন করে, তারপর 87°C-এ অ্যামেনিয়াম সাইট্রেট

ও অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট নিয়ে প্রক্ষালন (elution) করা হয়। নিচে থেকে স্বয়ংক্রিয় সংগ্রাহক দিয়ে প্রক্ষাক সংগ্রহ করে প্রতিটি অংশের α-বা বিভাজন সক্রিয়তা মাপা হয়।

একইভাবে Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+ এর মিশ্রণ থেকে উপাদানগুলিকে সম্পূর্ণ পৃথক করা যায়। অ্যাসিডে ধোয়া অ্যাস্‌বেস্টস্‌ কাগজ ও লঘু HCl দ্রাবকরূপে ব্যবহার করে এবং ^{22}Na, ^{42}K, ^{86}Rb ও ^{137}Cs সমঘর ব্যবহার করা হয়। Li-এর তেজস্ক্রিয় সমঘর নেই বলে একে শিক্ষ আলোকমিতিক পদ্ধতিতে (flame photonetry) মাপা হয়।

10.11.2 সমঘর লঘুকরণ বিশ্লেষণ (Isotope dilution anlysis)

এই পদ্ধতি অনুসৃত হয় কোন মিশ্রণের সেই উপাদানের পরিমাপনে—যাকে বিশুদ্ধ অবস্থায় অসম্পূর্ণভাবে পৃথক করা সম্ভব; যেমন, জৈব যৌগের জটিল মিশ্রণ। অবশ্য কোন কোন ক্ষেত্রে অজৈব মিশ্রণের বিশ্লেষণেও এই পদ্ধতি অনুসৃত। পদ্ধতিটি এরূপ অজ্ঞাত মিশ্রণে জ্ঞাত ওজনের বা তেজস্ক্রিয়া সমান জ্ঞাত ওজনের চিহ্নিত যৌগ n যৌগের পরিমাপ করতে হবে) যোগ করা হয়। এরপর মিশ্রণ থেকে ঐ যৌগটিকে বিশুদ্ধ অবস্থায় স্বল্প পরিমাণে পৃথক করে আনা হয়। এই অংশটির আপেক্ষিক তেজস্ক্রিয়তা (specific activity)। সংযোজিত বিশুদ্ধ পদার্থের তেজস্ক্রিয়তার সঙ্গে এই তেজস্ক্রিয়তার মান তুলনা করে মিশ্রণে উপাদানটির পরিমাণ নির্ণয় করা হয়।

নমুনা-গণনা ঃ মনে করা যাক, মিশ্রণে পরিমাপ করা হচ্ছে এমন উপাদান A-এর ওজন w মিগ্রা। Sa আপেক্ষিক সক্রিয়তা যুক্ত Wa গ্রা. চিহ্নিত A মিশ্রণে যোগ করা হল। রাসায়নিকভাবে বিশুদ্ধ একটু A বের করে নেওয়া হল, এর আপেক্ষিক সক্রিয়তা S, যেহেতু মিশ্রণে মোট সক্রিয়তা অক্ষুণ্ণ থাকে, $WaSa = (Wa + w)S$ $\therefore W = \frac{WaSa}{S} - Wa - (1)$

যদি, $Sa \gg S$ হয়, তবে সমীকরণ (1) দাঁড়ায় $w = \frac{WaSa}{B}$

উদাহরণ ঃ প্রোটিনের আর্দ্র বিশ্লেষণের ফলে প্রাপ্ত অ্যামিনো অ্যাসিডসমূহের জটিল মিশ্রণ থেকে কোন বিশেষ অ্যামিনো অ্যাসিডের পরিমাপ এভাবে করা যায়, ব্যবহৃত ট্রেসার N^{15} যুক্ত নির্দিষ্ট যৌগ।

অনুশীলনী—10

1. প্রোটিনের আর্দ্রবিশেষে প্রতি মিশ্রণে 10.1 মিগ্রা (আপেক্ষিক সক্রিয়তা প্রতি মিলিগ্রামে 128 গণনা-প্রতি মিনিটে cpm) যোগ করা হল। পৃথবীকৃত বিশুদ্ধ অ্যাকানিনের সক্রিয়তা একই যান্ত্রিক গণকে দেখা গেল মিলিগ্রাম প্রতি 68.3 সি.পি.এম্‌ মিশ্রণে অ্যাকানিনের পরিমাণ কত?

10.11.3 নিউট্রন উজ্জীবন বিশ্লেষণ (Neutrom activation analysis)

এই পদ্ধতিতে, যে মৌলটির পরিমাপ করতে হবে, তাকে (n_1r) কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার মাধ্যমে তেজস্ক্রিয় সমঘর পরিণত করা হয় এবং উদ্ভুত পদার্থের সক্রিয়া থেকে লক্ষ্য বস্তুর পরিমাণ বের করা হয়। পদ্ধতিটির দুটি রকমকের আছে—(i) আপেক্ষিক (relation) পদ্ধতি ও (ii) চরম (obsolute) পদ্ধতি।

10.11.3.1 আপেক্ষিক পদ্ধতি

এই পদ্ধতি একটি প্রমাণ বস্তু (যাতে জ্ঞাত মাত্রার পরিমাপণীয় মৌল ε আছে) ও পরীক্ষাধীন বস্তু একই পরিবেশে ও সর্তাধীনে একই নিউট্রন ক্লাসে তারা একই সময় ধরে উন্মুক্ত রাখা হয়।

বিশেষে বাহক (Carrier) ব্যবহার করে উভয়ের থেকে পরিমাপনীয় মৌলটিকে পৃথক করে গণক যন্ত্রে তাদের তেজস্ক্রিয়তা মাপা হয়। তারপর গণনা তো অতি সোজা ঃ

$$\frac{\text{পরীক্ষাধীন নমুনা E-র ওজন}}{\text{প্রমাণ বস্তুতে E-র ওজন}} = \frac{\text{নমুনায় E-মোট তেজস্ক্রিয়তা}}{\text{প্রমাণ বস্তুতে E-র মোট তেজস্ক্রিয়তা}}$$

10.11.3.2 চরমপদ্ধতি

এই পদ্ধতিতে পরীক্ষাধীন পদার্থে পরিমাপনীয় মৌলকে নির্দিষ্ট নিউট্রন ফ্লাবেস (নিউট্রন ছাড়া প্রোটন, ডয়েটেরন, α–কণা এবং r বা x রশ্মি ব্যবহার করা যায়, বর্তমানে পারমাণবিক চুল্লীতে যথেষ্ট নিউট্রন সরবরাহ করা হচ্ছে।

কণাপাত (irradiation)-এর পরে বস্তুটিকে দ্রবীভূত করে, বাহকের সহায়তায় কোনও রাসায়নিক আকারে পৃথক করে ফেলা হয় (এই ধাপটির প্রয়োজন। এতে অত্যন্ত তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে এক পৃথকীকরণ হয়।) এখন গণক যন্ত্রে এর তেজস্ক্রিয়া মেপে নেওয়া হয়। তা থেকে নিচের সূত্রের সাহায্যে নির্ণেয় পরিমাপ পাওয়া যায়।

$$C = \frac{n\varphi\sigma}{3{\cdot}7\times10^{10}}\left(1-e^{-(\lambda t)}\right) \ldots\ldots (1)$$

C = তেজস্ক্রিয়তা (ক্যুরি- 30 সংখ্যায়), n = লক্ষ্যবস্তুতে পরমাণু সংখ্যা, φ সেমি^{2} সে$^{-1}$ = পদ্ধতিগ নিউট্রন ফ্লাক্স; θ = বিক্রিয়ার প্রস্থচ্ছেদ সেমি^{2} [এটি একটি রাশি যা দিয়ে বিশেষ কোনও কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া ঘটবার সম্ভাব্যতা প্রকাশিত হয়। এর একক সেমি^{2} বা বার্ণ (barn); 1 বার্ন = 10^{-24} সেমি^{2}]; t = যতক্ষণ ধরে কণাপাত ঘটেছে। এখন $n = \frac{\omega\times6.02\times10^{23}}{A}$, w = পরীক্ষাধীন পদার্থের ওজন, A = পারমাণবিক ওজন।

(1) কে পুনর্লিখিত করে পাই, $c=\frac{6\cdot02\times10^{23}\omega\varphi\sigma}{3\cdot7\times10^{10}A}(1-e^{-\lambda t})$ ..... (2)

σ-কে বার্ণ-এ প্রকাশ করে, $\lambda=\frac{0.93}{t_{1/2}}$ ($t_{½}$ = অর্ধায়ু) বসিয়ে পাই,

$$=\frac{0\cdot602\omega\varphi\sigma}{3\cdot7\times10^{10}\times A}(1-e^{-0\cdot693/t_{½}})\text{.....(3)}$$

(3) সূত্রটি খাটবে, যদি পরীক্ষাধীন মৌলটি এক-সমঘরীয় (monoisototric) হয়। যদি একাধিক সমঘর থাকে তবে বিক্রিয়ায় সংশ্লিষ্ট সমঘরের সমঘরীয় প্রাচুর্য (isototric abundance) θ হলে সমীকরণ দাঁড়াবে ঃ

$$C=\frac{0\cdot602w\phi\theta}{3\cdot7\times10^{10}\times A}\left(1-e^{-0\cdot6931/t_{½}}\right)$$

W = 1, হলে C = S, S = আপেক্ষিক সক্রিয়তা।

In, Re, Tr, Sm, Eu, Dy, Ho, Lu, V, As, Sb প্রভৃতি মৌলের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতিতে ভালো ফল পাওয়া গেছে। 10^{-12} গ্রা. পর্যন্ত। কিন্তু Te, Ca, Pb, Bi, Zn, Cd, Naik প্রভৃতির ক্ষেত্রে ফল রাসায়নিক পদ্ধতির ফলের চেয়ে খারাপ।

অনুশীলনী-11

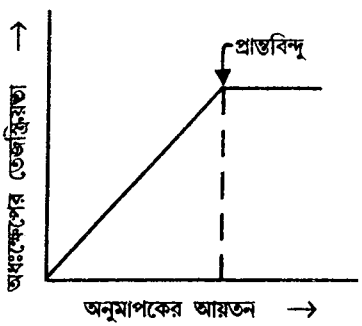
1. একটি খুব পাতলা সোনার মুদ্রা 10^{12} (পিউট্রন প্রতি বর্গ সেমি-এ) ফ্লাক্সে 25.6 ঘ. ধরে উন্মুক্ত রাখা হল। বিক্রিয়ায় ^{198}Au ($t_{½}$ = 64 ঘ.) উৎপন্ন হল। বিক্রিয়ার প্রস্থচ্ছেদ 98 বর্গ হলে (i) নমুনার আপেক্ষিক সক্রিয়তা বের করুন। (ii) এর সম্পৃক্ত সক্রিয়তাই বা কত?

10.11.4 নিউট্রন শোষণমিতি

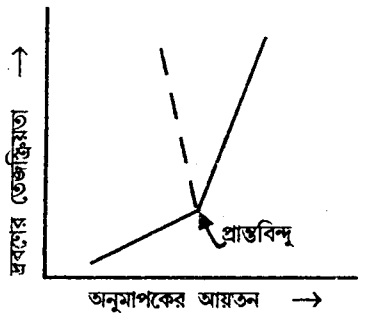
বোরণ ও ক্যাডমিয়াম-এর নিউট্রন শোষণ প্রস্থচ্ছেদ খুব বেশি। সেইজন্যই পারমাণবিক চুল্লীতে এদের নিয়ন্ত্রক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। নিউট্রন শোষণমিতি এই দুটি মৌল আর বিরল মৃত্তিকা শ্রেণীর আরও কটি মৌল যেমন Sm, Eu, Gd, Ty, Yb, Lu-এর পরিমাপনে প্রয়োগ করা হয়। এই পদ্ধতিতে একটি প্রমাণ নমুনার পরীক্ষাধীন মৌল বা তার যৌগকে তাপীয় নিউট্রনের উৎস এবং নিরীক্ষক (detector)-এর মাধ্যমে স্থাপন করা হয়। নিরীক্ষকে পৌঁছুনো নিউট্রন ফ্লাক্স নমুনার মৌলের পরিমাণের সমানুপাতিক। পদার্থের বেধ ও অবস্থান স্থির রেখে একটা প্রমাণ অঙ্ক ঠিক করে নেওয়া হয়। তার সাপেক্ষে পরীক্ষাধীন মৌলের পরিমাণ জানা যায়। 10^{-4} M – 10^{-2}M গাঢ়ত্বের .... বোরণ ও ক্যাডমিয়াম এভাবে নির্ণীত হয়েছে।

10.11.5 তেজস্ক্রিয়মিতিক অনুমাপক (Radiometric titratron)

অতেজস্ক্রিয় পদার্থের পরিমাণ নির্ণয়ের জন্য পরোক্ষভাবে তেজস্ক্রিয় পদার্থ ব্যবহার করার বৈশ্লেষণিক পদ্ধতিকে বলে তেজস্ক্রিয়মিতিক অনুমাপন। এর একটি সুন্দর উদাহরণ $^{110}AgNo_3$ ব্যবহার করে ক্লোরাইডের পরিমাপন। AgCl হিসাবে দূরীভূত হওয়ার ফলে $AgNo_3$ দ্রবণের তেজস্ক্রিয়তা হ্রাসের থেকে খুব স্বল্প পরিমাণ Cl ও জানা যাবে তেজস্ক্রিয়মিতিক অনুমাপনে প্রান্তবিন্দু নির্ণয়ের ক্ষেত্রে ক্রমাগত দ্রবণের এবং /বা অধক্ষেপের তেজস্ক্রিয়তা মাপা হয়। $^{110}AgNo_3$ দ্রবণ ও Cl দ্রবণের অনুমাপনের ক্ষেত্রে অনুমাপক (titrant) ও বিশ্লেষ্য (analyte) দ্রবণের উপর নির্ভর করে বিভিন্ন ধরনের লেখচিত্র পাওয়া যায়, তা থেকে প্রান্তবিন্দু নির্ণীত হয়। যেমন ঃ



চিত্র 10.9



চিত্র 10.10

$^{110}AgNo_3$ অনুমাপন হিসেবে ব্যুরেটে নেওয়া হল, আর Cl বিশ্লেষ্যরূপে নিচে নেওয়া হলে লেখচিত্র হবে চিত্র 10.9-এর মত।

আরেকটি উদাহরণ নেওয়া যাক। কঠিন $^{110}Ag10_3$কে নির্দেশক হিসাবে ব্যবহৃত করে ই-ডি-টি-এ (EDTA) দ্রবণ দিয়ে Ca^{2+} অনুমাপনের সময়, প্রান্তবিন্দুতে ক্ল্যারেটের EDTA দ্রবণ যখন সব Ca^{+2}-এপ সঙ্গে জটিল দ্রবণ তৈরি করে ফেলবে, তখন অনুমাপক EDTA দ্রবণ $Ag10_3$কে দ্রবীভূত করবে আর দ্রবণের তেজস্ক্রিয়তা বাড়বে (চিত্র 10.10).

এভাবে জারণ-বিজারণ অনুমাপণ বা জলেতর (nonequaons) দ্রাবকে অল্পমাত্রার ক্ষেত্রে তেজস্কিয়মিতির ব্যবহার হতে পারে।

10.12 ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলসমূহ (Trans Uranium elements, Transuranieus)

10.13 সারাংশ

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

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

আজ পর্যন্ত প্রায় তিনশরও বেশি অবপারমাণবিক কণা আবিষ্কৃত হয়েছে। তার মধ্যে ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন মৌলকণা। গড় আয়ুষ্কাল 10^{-22}সেকেন্ডের বেশি হলে তাকে সত্যিকারের কণা বলা হয়। পদার্থের মৌলিকতম কণা কোয়ার্ক।

পারমাণবিক সংস্থা মৌলের মৌলিকত্ব নির্ধারণ করে। Z ও N-এর অনুপাত কেন্দ্রকের স্থায়িত্ব নির্ণয় করে। মৌলতত্ত্বের সাহায্যে এই অনুপাতের ভূমিকা ব্যাখা করা যায়।

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

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

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

কেন্দ্রকে মৌল কেন্দ্রকণা কীভাবে সজ্জিত থাকে—তারও একাধিক তত্ত্ব আছে। সবচেয়ে পুরানো ক্লেদ্রক-কাঠামো রাদারফোর্ড পরিকল্পিত প্রোটন-ইলেকট্রন কাঠামো। যাদুসংখ্যার ব্যাখ্যা করতে গিয়ে কক্ষ-কাঠামো পরিকল্পিত হয়েছে। এতে বলা হয় ইলেকট্রনের মত কেন্দ্রকণগুলিও

10.13 পারমাণবিক বিকীরণ সংকট (Nuclear/Radiation Hazards)

পারমাণবিক শক্তি বিস্তীর্ণ ব্যবহারের পথে সবচেয়ে বড় বাধা হল বর্জ্য পদার্থের অপসারণ সমস্যা। তাছাড়া পারমাণবিক চুল্লী থেকেও কিছু রশ্মি বিকীর্ণ হয়, এগুলো থেকে মানুষ ও মনুষ্যেতর প্রাণী, তথা সমগ্র জীবকুল ও পরিবেশের উপর সমূহ ক্ষতির সম্ভাবনা। এ ক্ষতি যে কতটা ভয়ানক হতে পারে তা আমাদের চোখে আঙুল দিয়ে দেখিয়ে দিয়েছে গত মহাযুদ্ধের অবসানের লগ্নে জাপানের হিরোশিমা (6 আগস্ট, 1945) ও নাগাসাকি (9 অগাস্ট, 1945)-তে পরমাণু বোমা বিস্ফোরণজনিত ভয়ানক অভিজ্ঞতা।

পরমাণুর বিসর্জনের ফলে কিছুসংখ্যক বিভাজন খণ্ডাংশ Fission fragments) ও নিউট্রন সৃষ্টি হয়। খণ্ডাংশগুলি তেজস্ক্রিয় এবং তারা β ও γ-রশ্মি বিকীরণ করে। এগুলি নিউট্রন জীবজগতের পক্ষে খুবই ক্ষতিকর; x-রশ্মি ও ত্বরক যন্ত্র থেকে নির্গত উচ্চ আধানসম্পন্ন অপর কণাসমূহকেও এদের শ্রেণীভুক্ত করতে হবে।

উচ্চশক্তিসম্পন্ন রশ্মিগুলি জীবিত কোষের জটিল অণুগুলিকে ভেঙ্গে ফেলে, পলে এগুলো নষ্ট হয়ে যায়। এই ক্ষতিকর প্রভাব রশ্মির আয়ন সৃষ্টির ক্ষমতার উপর নির্ভর করে। α-কণার এই ক্ষমতা অন্য তেজস্ক্রিয় রশ্মির চেয়ে বেশি। যেমন U, Th প্রভৃতি নিয়ে গবেষণা করার সময় তেজস্ক্রিয় Rn গ্যাস নিশ্বাসের সঙ্গে শরীরে ঢুকে গবেষকদের যথেষ্ট ক্ষতি করেছে একসময়। ইউরেনিয়াম খনিতে কর্মরত শ্রমিকদের (যদুগোড়ায় যেমন) উপরও এর ক্ষতিকর প্রভাব দেখা গেছে। দশ বছর ধরে এই খনিতে কাজ করলে ফুসফুসের ক্যান্সারের প্রভূত সম্ভাবনা। তবে বর্তমানে নিবর্তনমূলক ব্যবস্থা নেওয়া হচ্ছে। কেরলের কোচিন অঞ্চলে মোনজাইমের উপস্থিতির দরুণ লিউকেমিয়ার প্রকোপ বেশ বেশি।

তবে α-র ভেদন ক্ষমতা বেশ কম। তাই দেহাভ্যন্তরে না ঢুকলে ক্ষতির সম্ভাবনা কম। অপরদিকে β-রশ্মি আঁকাবাঁকা পথে চলে বলে চামড়া ভেদ করে বেশিদূর যেতে পারে না, আবার এর আয়নিতকরণের ক্ষমতাও α থেকে কম; তাই α-থেকে বেশি ভেদনক্ষমতা থাকা সত্ত্বেও βর ক্ষতিকর প্রভাব কম।

নিউট্রনের আয়নিতকরণের ক্ষমতা নেই সত্য, কিন্তু (n,Ph), (n,γ) প্রভৃতি বিক্রিয়া ঘটে বলে নিউট্রন জীবদেহের ক্ষতি করে। এই p ও γ-ই যত ক্ষতির মূল।

কম পরিমাণ কেন্দ্রকীয় বিকীরণ শরীরের বিশেষ ক্ষতি করে না। সত্যি বলতে কী, মহাজাগতিক রশ্মি ও ভূপৃষ্ঠের প্রাকৃতিক ঘটনাবলীর প্রভাবে উৎপন্ন পারমাণবিক রশ্মি সবসময়ই আমাদের উপর পড়ছে, কিন্তু তাতে বিশেষ ক্ষতি হচ্ছে না। তীব্র শক্তিসম্পন্ন রশ্মির দীর্ঘ প্রভাব রক্তাল্পতা, লিউকোমিয়া, মারণ টিউমার প্রভৃতি রোগ ঘটায়। তাছাড়া জীবিত কোষের দ্রুত পরিবর্তন ঘটে। মৃদু রশ্মি দীর্ঘ প্রভাব বমিবমিভাব, ক্ষুধামান্দ্য দেখা যেতে পারে। এছাড়া বিভিন্ন পরিমাণ বিকীরণ ফলে বন্ধ্যাত্ব, পুরুষত্বহীনতা, বিভিন্ন চর্মরোগ, বিভিন্ন ধরনের ক্যান্সার চুল ওঠা নাক দিয়ে রক্ত পড়া, ফুস্‌ফুস্‌-যকৃৎ-বৃক্কের অসুখ, বিভিন্ন ধরনের বাত এবং নানা এখনও-অজানা

(যেমনটি মাদাম ক্যুরির বেশি বয়সে হয়েছিল) নানা উপসর্গ দেখা যায়। ভয়ের কথা এই যে নিউট্রন-বিকীরণে কোন বেদনা অনুভূত হয় না। কাজেই তেজস্ক্রিয় পদার্থ নিয়ে যাঁরা কাজ করেন তাঁদের স্বাস্থ্যের ধারাবাহিক পরীক্ষা (monitoring)-র ব্যবস্থা রাখা দরকার।

পরমাণু চুল্লিতে কাজ করলে যাঁরা—তাদের প্রত্যেকের নিজস্ব 'ব্যাজ' থাকে—তা পরীক্ষা করে শোষিত বিকীরণের পরিমাণ নির্ণীত হয়।

তেজস্ক্রিয় দূষণ প্রতিরোধের জন্য পরমাণুচুল্লি মোটা কংক্রীটের দেওয়ালে মোড়া থাকে। মাঝে মাঝে বিভাজন অংশ (fission fragments) পৃথক করে নিতে হয়—নতুনবা চুল্লি ভাল কাজ করবে না। এই পৃথকীকরণের সময় বিশেষ সতর্কতা নিতে হয়। দূর-নিয়ন্ত্রণ কৌশলে এই ব্যবস্থা করা হয়। সত্যি বলতে কী, এই তেজস্ক্রিয় বর্জ্য পদার্থ বিষয়ক সমস্যাই পারমাণবিক শক্তি উৎপাদনের সবচেয়ে সমস্যাসঙ্কুল দিক।

বিকীরণ মাত্রা

তেজস্ক্রিয় বিকীরণ শোষণের পরিমাণ বা এর নিয়ন্ত্রণ করার জন্য সবচেয়ে আগে দরকার এর মাত্রা (dosage) নির্ধারণ। γ-রশ্মি, x-রশ্মি প্রভৃতি তড়িচ্চুম্বকীয় বিকীরণ মাপার স্বীকৃত একক হল রঞ্জেন (Rontgen)। যে পরিমাণ রশ্মি থেকে উৎপন্ন ইলেকট্রন 0.001393 গ্রা. বায়ুতে। ই-এস্-ইউ ঋণাত্মক বা ধনাত্মক আধার উৎপন্ন করতে পারে, তাকে এক রঞ্জেন (IR) বলা হয়। IR প্রতি গ্রাম বায়ুতে 83.8 আর্গ শক্তি সঞ্চারের সমান।

এ থেকে এসেছে REP (রেপ) (Rontgen equivalent physical বা রঞ্জেনের ভৌত সমতুল্যতা) একথা একক। প্রতিগ্রাম বাতাস বা মানবকলাতন্ত্রে (hssve) IR তড়িচ্চুম্বকীয় বিকীরণকে পরিমাণ শক্তি ব্যয় করে তাকে বলা হয় 1 REP।

আরেকটা এক হল র‍্যাড (RAD)। এক গ্রাম পদার্থে 100 আর্গ শক্তি সঞ্চারিত করে যে পরিমাণ বিকীরণ তাকে বলে 1 RAD।

বিভিন্ন ধরণের রশ্মির আয়ণিতকরণের ক্ষমতা বিভিন্ন। এ:কে প্রকাশ করা হয় RBE (Relative biological effective ness) সংখ্যা দ্বারা। যেমন, β/γ/x-রশ্মির REB সংখ্যা 1, α বা দ্রুত নিউট্রনের 10, আর বিভাজন খণ্ডাংশের 20।

অনুমোদিত বিকীরণ মাত্রা প্রকাশ করা হয় REM (রেম, Rontgen Equivalent Man) এককে। REP = REP × RBE। সাধারণত মনে করা হয় যে শরীরের 5 সেমি-র বেশি গভীরতায় প্রতি সপ্তাহে 100 মিলিয়াম সর্বাধিক অনুমোদিত মাত্রা।

বর্তমান REM সংজ্ঞায়িত হয় এভাবে : REM = RBE × RBE ×rad. বিকীরণ মাত্রার SI একক সিয়েভার্ট (sievert). সিয়েভার্ট = REB × গ্রে (Gray) 1 গ্রে = 100 rad। সিয়েভার্ট = 100 রেখ।

চিকিৎসক ও তেজস্ক্রিয়বিদ্‌রা বলেন যে 10,000 রেখ-এ 50% ক্ষেত্রে মৃত্যু ঘটে। 100–300 রেখ জীবজগতের উপর যথেষ্ট ক্ষতিকর প্রভাব ফেলে।

এসব ক্ষেত্রে ICRP (International Commission for Radiological Protection) মানুষের সহনীয় তেজস্ক্রিয়তা শোষণের সর্বোচ্চ সীমা ধরেছেন বছরে 0.2 রেখ। হাসপাতালে ও চিকিৎসাকেন্দ্রের x-রশ্মি বিভাগ, পরমাণু চুল্লিতে, ইউরেণিয়াম খনিতে এবং পরমাণু চুল্লির জ্বালানী প্রস্তুতির কারখানায় কর্মরত লোকজন বছরে 2 রেখ বিকীরণ শোষণ করেন।

আমাদের শরীরে সেকেন্ডে 15000 তেজস্ক্রিয় কণা এসে পড়ছে। এদের উৎস নিম্নরূপ ঃ

কাঠ/কংক্রীটের বাড়ি, দুধ, বীয়ার, রেডিয়াম-ডায়াল ঘড়ি, রঙিন টিভি (রঙিন টি-ভি থেকে বছরে 3 মাইক্রো-সিয়েভার্ট বিকীরণ আসে)

মহাজাগতিক রশ্মি। এ থেকে আবার বেশি ক্ষতি হয় (i) আন্তর্মহাদেশীয় উড়ানে (ভূপৃষ্ঠের 12000 মি. উপর দিয়ে চলে যখন 5 মাইক্রো-সিয়েভার্ট ঘণ্টায়)

সুপারসনিক (শব্দের চেয়ে দ্রুত) বিমানে (ভূ-পৃষ্ঠের 12000–20000 মি. উপরে চলে, ঘণ্টায় 13 মাইক্রো-সিয়েভার্ট।

পরীক্ষায় দেখা গেছে লন্ডন/নিউইয়র্কে ভূপৃষ্ঠে তেজস্ক্রিয়তা যেখানে বছরে 0.2 রেম, ভারতবর্ষের কেরলে 0.4–3.25 রে।

দুর্ঘটনা ঃ—

পরমাণু-শক্তি উৎপাদনে সবচেয়ে ভীতিকর দিক হচ্ছে যে এই যে চুল্লিতে শক্তি-উৎপাদন নিয়ন্ত্রণের বাইরে চলে গেলে দুর্ঘটনা ঘটতে পারে। ছোটখাটো দুর্ঘটনা প্রতিটি পরমাণু-শক্তি উৎপাদক দেশেই ঘটেছে। তবে এখন পর্যন্ত দুটি মারাত্মক দুর্ঘটনা নথিবদ্ধ হয়েছে।

(i) মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের থ্রিমাইল দ্বীপ-এর দুর্ঘটনা (28 মার্চ, 1979)। চুল্লির প্রাথমিক শীতকনলের কাজ বিঘ্নিত হওয়ায় এই দুর্ঘটনা ঘটে। পরিবেশ দূষণমুক্ত করতে দীর্ঘ সময় লেগেছিল।

(ii) ভূতপূর্ব সোভিয়েট রাশিয়ার ইউক্রেন-এর টেনোবিল-এ ভি-আই-লেনিন পরমাণু শক্তি কেন্দ্রের দুর্ঘটনা (26 এপ্রিল, 1986)। এতে চারটি চুল্লির একটি অংশত গলে যায় ও অপরাংশ উড়ে যায়। 203 জন কর্মচারী বিকীরণ জনিত অসুখে পড়ে আর সরকারী হিসাবে 31 জন মারা যায়।

10.12 ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলসমূহ

1930-এর দশক থেকেই কৃত্রিম মৌল তৈরির প্রচেষ্টা বিজ্ঞানীদের পেয়ে বসেছিল। আপনারা জেনেছেন কীভাবে ফার্মি ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল তৈরি করে ফেলেছেন বলে বিশ্বাস করেছিলেন, কিন্তু তার কাজ প্রকৃতপক্ষে তার অজান্তে সূচনা করল আরেক যুগান্তকারী আবিষ্কার কেন্দ্রীয় বিভাজনেরা পরে দেখা গেল ^{238}U দ্রুতগতি সম্পন্ন নিউট্রনের সঙ্গে সংঘর্ষে বিভাজন ঘটায়। আর শ্লথ নিউট্রনের সঙ্গে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের জন্ম দেয়।

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow \left(^{239}_{92}U\right) \rightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e$$

$$\xrightarrow{-B^{-1}} ^{239}_{94}Pu$$

তিনটি বিশেষ আবিষ্কার বৈজ্ঞানিকদের এই প্রচেষ্টাকে উজ্জীবিত ও ত্বরান্বিত করে ঃ

(i) কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় তার আবিষ্কার (আইরিন ক্যুরিজোলিও ও এফ্ জোলিও ক্যুরি),

(ii) প্রক্ষিপ্য কণা হিসাবে নিউট্রনের সর্বাধিক দক্ষতা

(iii) সাইক্লো ট্রন ত্বরকের আবিষ্কার (লরেন্স)

50 বছরের (1940–90) দীর্ঘ প্রচেষ্টার ফলশ্রুতি হল 93–105 পারমাণবিক সংখ্যার মৌলসমূহের আবিষ্কার (সারণি 10.6— 106–109 অসমর্থিত।

এই মৌলগুলি প্রকৃতিতে থাকে না। কেবল যৎসামান্য Pu প্রকৃতিতে আছে, ধারণা হয় যে সুস্থিত মৌলের কেন্দ্রকে মহাজাগতিক রশ্মির (commicray) অবিগাতে এটি সৃষ্ট। মনে করা যেতেই পারে যে এই কৃত্রিমভাবে সংশ্লেষিত ইউরেনিয়ামের মৌলগুলি পৃথিবীর আদিতম অবস্থাতে ছিল, কিন্তু কালক্রমে বিঘটিত হয়ে নিঃশেষ হয়ে গেছে।

সারণি-10.6.

ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলসমূহ

নাম/প্রতীক	আবিষ্কর্তা আবিষ্কারের বছর	প্রস্তুতি-পদ্ধতি	অর্ধায়ু বিঘটন প্রক্রিয়া	সুস্থিততম সমঘর
নেপচুনিয়াম	E. M Melillan	$^{238}_{92}U + (n,B)\ ^{239}_{93}Np$	23 মি $-\beta$	237 Np

Np	P. H. Abelson	$^{236}_{92}U$ (n, 2n) $^{237}_{92}U$	2.14 × 10^6 বছর –α	
a^3	1940	7 দিন $^{237}_{93}Np$		
প্লুটোনিয়াম	Seabarg, Wshl	$^{238}_{92}U$ (d, 2n) $^{238}_{93}Np$	90 বছর –α	^{239}Pu
Pu	E. M. MCMillan	$\xrightarrow{-C}$ $^{238}_{94}Pu$		24,300 বছর
a_4	J. Kennedy	90 বছর		
	1940			
আমেরিসিয়া	Seaborg, R. A Jawes	$^{238}_{92}U$ (α, n) $^{241}_{94}Pu$	433 বছর –α	^{243}Am
Am	L. O. Morgan	$\xrightarrow{-B^-}$ $^{241}_{95}Am$		8000 বছর
a_3	1944			
ক্যুরিয়াম	Seaborg, Jawes	$^{239}_{94}Pu$ (α, n) $^{242}_{96}Cm$	162 দিন –α	^{248}Cm
Cm	A. Ghiorso			4.7 × 10^5 বছর
	1944			
বার্কেলিয়াম	S. G. Thomson	$^{241}_{95}Am$ (α, 2n) $^{243}_{99}Bk$ 4.6 ঘ	B,+EC	^{247}Bx
Bx	Ghiorso,			7 × 10^3 বছর
a_7	Seaborg			
	1949			

কালিফোর্নিয়াম	Thomson, K. Street Chiorso Seaborg	$^{242}_{96}Cm$ (α, 2n) $^{244}_{98}cf$ 45 মি –α,	^{252}cf 800 বছর
আইনস্টাইনিয়াম a_9 En	আমেরিকায় H-বোমার ধ্বংসস্তূপে আবিষ্কৃত হয় 1952	$^{238}_{92}U\left(^{242}_{96}N,5n\right)^{237}_{99}En$ 73 মি –α,	^{252}En 40 দিন
ফার্মিয়াম 100^{Fn}	En-এর সঙ্গে একইভাবেব আবিষ্কৃত হয় 1952	$^{238}_{92}U\left(16_{O},4n\right)^{250}_{100}Fm$ 30 মি –α,	^{252}En 79 দিন
মেণ্ডেলিভয়াম $_{101}Mv$	Chiorso, B. G. Hargey, G. R. Choppin, Thomson,	$^{253}_{99}Es\left(2^{4}He,2n\right)^{255}_{101}MV$ 30 মি Ec	^{256}Mv 15 ঘ.

	Seaborg 1955		
নোবেলিয়াম $_{102}$No	G. N. Glerov, ও সহকর্মীরা 1958	$^{241}_{94}Pu\left(^{16}_{8}O, 4-5^{1}_{0}n\right)^{252/253}_{102}No$ 95 সে. –α,	^{259}No 58 মি
লরেন্সিয়াম $_{103}$Lr	Chiorso, T. Sikkeland A. E. Larsh R. M. Latimer 1961	$^{250-251}_{98}cf\left(^{11}_{5}B, 5n,\right)^{257}_{103}Lr$ 8 সে. –α,	^{260}Lr 3 মি.
কুর্টাটোভিয়াম (Ku) উন্‌নিল কুয়াড্রিয়াম, Unq (104)	Flevrov ও সহকর্মীরা 1964–66	$^{242}_{94}Pu\left(^{22}_{94}Ne, 4-5^{1}_{0}n,\right)^{259/260}_{104}Ku$ 0.3 সে. –α,	^{261}Ku 65 মি.
হানিয়াম (Ha)	ঐ	$^{243}_{95}Am\left(^{22}_{10}Ne, 4-5^{1}_{0}n,\right)^{260/261}_{105}Ha$ 0.1	^{262}HA

উন্‌নিল বিভাজন 65 সে

পেন্টিয়াম, (Unp)

(105)

ডুবনিয়াম (Du) Dubna থেকে ^{263}Du

উন্‌নিল 1976 0.9 সে

কিসয়াম, (Unh) অসমর্থিত

(106)

বিভিন্ন কক্ষ ও কক্ষাকে নির্দিষ্ট নিয়ম মেনে সজ্জিত থাকে। কথা পূর্ণ হলে কেন্দ্রক সুস্থিত হয়। পূর্ণ কক্ষের কেন্দ্রকণ সংস্থাই সহসংখ্যা।

তরল ফোঁটা কাঠামোয় কেন্দ্রকে একটি তরলের ফোঁটার মত মনে করা হয়। কেন্দ্রকীয় উপস্থতি, বিশেষ করে বিভাজন ব্যাখ্যার জন্য এই তত্ত্ব উপযোগী। সমন্বিত কাঠামো তত্ত্ব এক্ষেত্রে আধুনিকতম সংযোজন।

বহু সংখ্যক কৃত্রিম কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়া (কেন্দ্রকীয় উপস্কৃতি) ঘটানো হয়েছে। রাদারফোর্ডই প্রথম এই ঘটনা ঘটান। এতে α-কণা, প্রোটন, ডয়েটেরণ, নিউট্রন (আধানবিহীন হওয়ায় সবচেয়ে উপযোগী), এমন কী γ-রশ্মিও ব্যবহৃত হয়েছে। কিছু বিশেষ উপস্কৃতিতে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা পরিলক্ষিত হয়।

উপস্কৃতিতে লক্ষ্যবস্তু প্রক্ষিপ্ত কণা শোষণ করে যৌগিক কেন্দ্রক গঠন করে, পরে তা উদ্দীপন শক্তির তারতম্য অনুসারে বিভিন্নভাবে ভেঙে যায়।

স্প্যালেশন, বিভাজন ও সংযোজন বিশেষ তিন ধরনের উপস্কৃতি। বিভাজনই পারমাণবিক বোমা ও পারমাণবিক চুল্লীর মূলনীতি। সংযোজন আছে হাইড্রোজেন বোমা ও নক্ষত্রের শক্তির মূলে। উপস্থতির মাধ্যমে কৃত্রিম ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলসমূহ তৈরি করা সম্ভব হয়েছে।

মৌলের সমঘরসমূহের স্বাভাবিক সমঘরীয় সংযুতি পরিবর্তন করে যে বৈশ্লেষণিক কৌশল আবিষ্কৃত হয়েছে তাকে ট্রেসার কৌশল বলে। এর প্রধান কয়েকটি রকমের তেজস্ক্রিয় ক্রোমাটোগ্রাফি, সমঘর লঘুকরণ বিশ্লেষণ, নিউট্রন উজ্জীবন বিশ্লেষণ, নিউট্রন শোষণমিতি ও তেজস্ক্রিয়মিতিক অনুমাপন।

1930 থেকে কৃত্রিম মৌল তৈরির প্রচেষ্টা চলছিল ফার্মির প্রচেষ্টার পর প্রায় পঞ্চাশ বছরে 14টিরও বেশি ইউরেনিয়ামের মৌল কৃত্রিমভাবে তৈরি হয়েছে।

10.14 প্রান্তিক প্রশ্নাবলী

1. প্রমাণ করুন যে কেন্দ্রকের ঘনত্ব মৌলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না।

2. ম্যাগনেসিয়ামের ব্যাসটি 4.2 fm হলে এর কেন্দ্রকের ঘনত্ব বের করুন।

3. C^{12} কেন্দ্রকের আনুমাড়িক ঘনত্ব বের করুন।

4. প্রাকৃতিক ম্যাগনেসিয়ামে 78.6% ^{24}Mg, 10% ^{25}Mg ও 11.3% ^{26}Mg আছে। Mg-এর গড় পারমাণবিক ওজন কত হবে?

5. সংকুলন ভগ্নাংশ ও কেন্দ্রকীয় বন্ধনশক্তি বলতে কী বোঝেন? দেখান যে দ্বিতীয়টি প্রথমটি অপেক্ষা তাত্ত্বিক দিক থেকে বেশি গ্রহণীয়।

6. উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা করু ঃ সমঘর, সমভর, সমকণ, কেন্দ্রীয় সমাবয়ব ও সমসমঘর ভেদ।

7. দেখান ঃ কেন্দ্রকের ঘনত্ব সীসার (113 গ্রা. সেমি^{3}) করেও বহুগুণ বেশি।

8. টীকা লিখুন ঃ (i) কেন্দ্রকীয় বিভাজন (ii) কেন্দ্রকীয় সংযোজন।

9. কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়ার উপর একটি আলোচনা লিখুন।

10. ট্রেসার কাকে বলে। বিভিন্ন ট্রেসার কৌশল আলোচনা করুন।

11. $^{110}AgNO_3$ও দ্রবণ বীকারে নিয়ে ব্যুরেটে থেকে Cl দ্রবণ ঢেলে তেজস্ক্রিয়মিতিক অনুমাপনে অনুমাপকের আয়তন বনাম স্বচ্ছ অগ্রভাগীয় (Supernatunt) তরলের তেজস্ক্রিয়তা লেখ-চিত্র কীরূপ হবে ব্যাখ্যা করুন।

12. একটি পরমাণু ^{235}U-এর বিভাজনে 200 Mev শক্তি উৎপন্ন হয়। 1 ওয়াট ক্ষমতা পেতে সেকেণ্ডে কয়টি বিভাজন প্রয়োজন হবে? 1 গ্রাম ইউরেনিয়ামের বিভাজনে কত জুল শক্তি পাওয়া যাবে?

13. ^{235}U এর সঙ্গে একটি নিউট্রনের অভিঘাতে 96 ও 138 ভর-সংখ্যা বিশিষ্ট দুটি অংশ এবং দুটি নিউট্রন উৎপন্ন হয়। বিভিন্ন কেন্দ্রকের ভর 235.1175, 95.9386 ও 137.9487 এবং নিউট্রনের 1.00898 পারমাণবিক ভর একক হলে উৎপন্ন শক্তির পরিমাণ বের করুন।

14. একটি শ্লথ নিউট্রন পারমাণবিক চুল্লীর ক্ষমতা 60,000 কিলোওয়াট ঘণ্টা। উৎপন্নশক্তির 20% তড়িৎ-শক্তিতে পরিণত হয়। প্রতিটি বিভাজনে 200 Mev শক্তি উৎপাদিত হলে বছরে কত ইউরেনিয়াম খরচ হয়? প্রাকৃতিক ইউরেনিয়াম 0.7% বিভাজনযোগ্য U থাকলে কতটা এই U খরচ হয়?

15. $^{40}_{18}Ar$-এর সংকুলন ভগ্নাংশ, ভর-চ্যুতি ও কেন্দ্রকীয় বন্ধন শক্তি বের করুন।

দেওয়া আছে ঃ আর্গনের সমঘরীয় ভর = 39.962384 পাঃ ভর একক;

H-পরমাণুর ভর = 1.007825 পাঃ ভর একক;

নিউট্রনের ভর = 1.008665 পাঃ ভর একক।

16. Li, He ও প্রোটনের ভর যথাক্রমে 7.01823, 4.00387 ও 1.00 815 পাঃ ভর একক। তাহলে $7Li + {}^1H \rightarrow {}^2_4He$ এক শক্তি বিক্রিয়ায় শক্তির পরিমাম বের করুন।

17. একটি নিউট্রন ভেঙে একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রন হয়। যদি ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে 9×10^{-31}, 1.6725×10^{-27} ও 1.6747×10^{-27} কিগ্রা হয় তবে উৎপাদিত শক্তি কত হবে?

18. $^{16}_{8}O$ পরমাণুর পরীক্ষালব্ধ ভর 15.99491 পাঃ ভর একক হলে কেন্দ্রকণ পিছু গড় বন্ধন শক্তি বের করুন।

10.15 উত্তরমালা

অনুশীলনী—1

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

কেন্দ্রকের ভর $= \frac{27}{6.01 \times 10^{24}}$ কিগ্রা

$\therefore$ ঘনত্ব $= \frac{27}{6.01 \times 10^{24}} \div \frac{4}{3} \times 3.142 \times 1.25 \times 10^{-43}$

$= 3.426 \times 10^{17}$ কিগ্রা. মি$^{-3}$

অনুশীলনী—2

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

2. পাঠ্যাংশ দেখুন।

3. (i) 2γ (ii) ${}^{1}_{0}n$

4. নিউট্রন আবিষ্কৃত হয়। জেম্‌ম্‌ স্যাডউইক

(b) শক্তি ভরে রূপান্তরতি হচ্ছে $\left(\Delta m = \frac{E}{c_2}\right)$

অনুশীলনী—3

1. রকমভেদ	অভিন্ন	ভিন্ন
সমঘর	(i) পারমাণবিক সংখ্যা	(i) ভরসংখ্যা
	(ii) প্রোটন সংখ্যা	(ii) নিউট্রনসংখ্যা
	(iii) ইলেকট্রন সংখ্যা	(iii) ভৌতধর্ম
	(iv) ইলেকট্রন বিন্যাস	
	(v) রাসায়নিক ধর্ম	
	(vi) পর্যায়ছকে অবস্থান	
সমভর	(i) ভরসংখ্যা	(i) পারমাণবিক সংখ্যা
	(ii) কেন্দ্রকণ সংখ্যা	(ii) প্রোটন, ইলেকট্রন , নিউট্রন সংখ্য
		(iii) ইলেকট্রন বিন্যাস
		(iv) রাসায়নিক ধর্ম

(v) ভৌত ধর্ম

(vi) পর্যায়ছকে অবস্থান

2 $10.81=\frac{10.01\times x+(100-x)\times 11.01}{100}$ $\therefore x=20$ [x = 10.01 পাঃ ভর বিশিষ্ট সমঘরের শতকরূপ পরিমাণ]

10.01 পাঃ গু বিশিষ্ট সমঘরের শতকরা পরিমাণ 20

এবং 10.01 পাঃ গু বিশিষ্ট সমঘরের শতকরা পরিমাণ 80

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

অনুশীলনী—4

1. (B) 2 $^{20}_{15}P \xrightarrow{B^+} {}^{30}_{14}Si$

অনুশীলনী—5

1. $f=\frac{4.002603-4}{4}\times 10^4=\frac{0.002603}{4}\times 10^4=0.000651\times 10^4=6.51$

ধারণা হয় যে কেন্দ্রক অবস্থিত। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এটি অত্যন্ত সুস্থিত। প্রকৃত f বের করুন (গুণনাংশ দেখুন) প্রকৃত f ঋণাত্মক বলে কেন্দ্রক সুস্থিত।

অনুশীলনী—6

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

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

3. উত্তর 4.5 Meu.

অনুশীলনী—7

1. পাঠ্যাংশ দেখুন। λ মারফৎ।

অনুশীলনী—8

1. N/Z অণুপাত থেকে। N/Z অনুপাত > L হতে হবে। যুগ্ম-অযুগ্ম কেন্দ্রকণ নিয়ম থেকেও বোঝা যায়।

2. β^-, β^+ 3. (B)

অনুশীলনী—9

1. (i) ${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$ (ii) ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{16}_{7}N + {}^{4}_{2}He$

(iii) ${}^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}Mg$ (iv) ${}^{239}_{94}P4 + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{242}_{96}Cm + {}^{1}_{0}n$

(i) ${}^{0}_{0}r$ (ii) ${}^{23}_{12}Mg$ (iii) ${}^{23}_{12}Mg$ (iv) ${}^{12}_{6}C$

অনুশীলনী—10

1. 4.10 অন্তকের (c) দেখুন।

অনুশীলনী—11

এখানে $wa = 10.1$ মিগ্রা

$Sa = 128$ সি-পি-এম মিগ্রা$^{-1}$

$S = 68.3$ সি-পি-এম মিগ্রা$^{-1}$

$$\therefore w = \frac{10.2(128-68.3)}{68.3} = 8.83 \text{ মিগ্রা}$$

অনুশীলনী—12

(i) এখানে, $q = 10^{12}$, $t = 25.6$, $r = 98b$, $A = 197$

$t_{\frac{1}{2}} = 64$, $\theta = 1$

$$\therefore S = \frac{0.602 \times 10^{12} \times 98}{3.7 \times 10^{10} \times 197}\left(1 - e^{-0693 \times 25.6 / 64}\right) \text{ ক্যুরি গ্রাম}^{-1}$$

$= 8.09\,(1 - e^{-0.277})$ ক্যুরি গ্রাম$^{-1}$

$= 1.96$ ক্যুরি গ্রা$^{-1}$

(ii) $T >> T^1/_2$ হলে $e^{-0.693t}/_{t^1/_2} \rightarrow 0$ হয়। তখন $s = S_\alpha$

সম্পৃক্ত সক্রিয়তা।

এখানে সম্পৃক্ত সক্রিয়তা $= 8.09$ Cg^{-1}

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. 10.2.2 পাতা দেখুন।

2 অনুশীলনী 1-এর সম্পাদ্য দেখে নিজে করুন। উত্তর হবে 5.78×10^{17} কিগ্রা মি^{3}

3. $R^{12} = Ro\ A^{1}/_{2} = 1.4 \times 10^{-15} \times 12^{1/3}$

$$v = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3} \times 3{\cdot}142 \times 1{\cdot}4^3 \times \left(10^{-15}\right)^3 \times 12$$

$$= 1{\cdot}38 \times 10^{-43}$$

$$D = \frac{M}{V} = \frac{12}{1{\cdot}38 \times 10^{-43} \times 6{\cdot}02 \times 10^{26}} = 1{\cdot}44 \times 10^{17} \text{ কিগ্রা মি}^{-3}$$

4. $\frac{78{\cdot}6 \times 24 + 10{\cdot}1 \times 25 + 11{\cdot}3 \times 26}{100} = 24{\cdot}327.$

5. 10.6.1 ও 10-62 পাঠ্যাংশ থেকে উত্তর সংগ্রহ করুন।

6. 10.4 অংশ দেখুন

7. 10.2.2 অংশ দেখুন

8. 10.10.4 ও 4.10.5 অংশ দেখুন।

9. 10.8 অংশ দেখুন।

10. 10.11 অংশ দেখুন।

11. ব্যাখ্যার জন্য 10.115 অংশ দেখুন। লেখচিত্র হবে এরূপ ঃ

12. প্রতি পরমাণু U-এর বিভাজনে উৎপন্ন শক্তি $= \frac{200 \times 23000 \times 10^6}{6{\cdot}03 \times 10^{23}}$ ক্যালোরি

$$= \frac{46}{6{\cdot}02} \times 10^{-12} \text{ ক্যালোরি} = 7{\cdot}64 \times 10^{-12} \text{ ক্যালোরি}$$

1 ওয়াট = 1 জুল প্রতি সে. $= \frac{1}{4{\cdot}2}$ ক্যালোরি [4·2 জুল = 1 ক্যালোরি]

∴ 1 ওয়াট ক্ষমতার জন্য প্রয়োজনীয় বিভাজন সংখ্যা $= \frac{1}{4{\cdot}2 \times 7{\cdot}64 \times 10^{-12}} = 3{\cdot}12 \times 10^{10}$

1 গ্রা. U-এ পরমাণু আছে $\frac{6\cdot02\times10^{23}}{235}$ পরমাণু

$\therefore$ 1 গ্রা. U-থেকে জুল-সংখ্যা $=\frac{6\cdot02\times10^{23}}{235}\times7\cdot64\times10^{-12}=8\cdot2\times10^{10}$

13. বিক্রিয়ক ঃ

235.1175		
1.00898		
236.12648	পাঃ ভর একক	
−236.90516		
0.22132		

উদ্ভূত পদার্থ ঃ

95.9385	
137.9498	
1.00898	
1.00898	
235.90526	পাঃ ভর একক

$\therefore$ ভর-হ্রাস $=0.22132\times931=20$ Meu

14. 60,000 কি. ওয়াট $=6\times10^7$ ওয়াট $=6\times10^7$ জুল সে$^{-1}$ $=\frac{6\times10^7}{4\cdot2}$ ক্যালোরি সে$^{-1}$

$=\frac{6\times10^7\times86400\times365}{4\cdot2}=$ ক্যালোরি বছর$^{-1}$ [4·2 জুল $=1$]

$=4.505\times10^{14}$ ক্যালোরি বছর$^{-1}$

$200=$ Meu $=\frac{200\times23000\times10^6}{602\times10^{23}}=7\cdot64\times10^{-12}$ক্যালোরি

প্রয়োজনীয় বিভাজন-সংখ্যা $=\frac{4\cdot505\times10^{14}}{7\cdot64\times10^{-12}}=5\cdot897\times10^{25}$

$\therefore$ U-এর ওজন $=\frac{5\cdot897\times10^{23}\times35}{6\cdot02\times10^{23}}=23000$ গ্রাম $=23$ কিগ্রা।

U-এর প্রকৃত ওজন $=\frac{23\times100}{20}=115$ কিগ্রা।

প্রাকৃতিক U-এর ওজন $= \frac{115 \times 100}{0 \cdot 7} = 16428 \cdot 6$ কিগ্রা $= 16 \cdot 4286$ মেট্রিক টন।

15. আর্গনের সমঘরীয় ভর $= 39 \cdot 962384$ পাঃ ভর একক

H–এর পরমাণুর ভর $= 1 \cdot 007825$ পাঃ ভর একক

নিউট্রনের ভর $= 1 \cdot 008665$ পাঃ ভর একক

আর্গন পরমাণুর ভর $= (18 \times 1 \cdot 007825 + 22 \times 1 \cdot 008665 = 40 \cdot 33148$ পাঃ ভর একক

ভরচ্যুতি $= (40 \cdot 33148 - 39 \cdot 962384)$ পাঃ ভর একক

$= 0 \cdot 369096$ পাঃ ভর একক

সংকুলন ভগ্নাংশ $= \frac{39 \cdot 96234 - 40}{40} 10^4 = 9 \cdot 4025$

কেন্দ্রীয় বন্ধন শক্তি $= 0 \cdot 369096 \times 931 = 343 \cdot 63$ Meu

16. 15নং প্রশ্নোত্তর দেখে নিজে করুন। উত্তর .17·354 Meu

17. আগের সম্পাদ্য দুটির মত করুন। উত্তর 0·73 Meu

18. 15নং প্রশ্নোত্তর দেখে নিজে করুন। উত্তর ঃ 7·99 Meu

10.16 অতিরিক্ত সাহায্যকারী পুস্তকসমূহ

1. Physical chemistry : P. C. Rakshit, Saral Book Bouse (6th Edi)
2. General and Inorganic Chemitstry : P. K. Dutt. Sarat Book House
3. General and Inorganic Chemistry (Vol. 1) : R. Sarkar, Central Book Agency
4. Essentials of Nuclear Chemistry : H. J. Anhikar (4th Edi)
5. Atomic and Nuclear Physics (Vol. II) : S. N. Ghosal, Sultan Chand Co.
6 পরমাণুর নিউক্লিয়াস (দ্বিতীয় খণ্ড) এস. এন. ঘোষাল, রাজ্য পুস্তক পর্ষৎ
7. Nuclear Physics : Kaplan.

NOTES

NOTES