NETAJI SUBHAS OPEN UNIVERSITY

STUDY MATERIAL

ELECTIVE CHEMISTRY HONOURS

ECH - 09

PHYSICAL CHEMISTRY – III

Dynamics of Chemical reactions
and macromolecules

Block - 2

প্রাক্‌কথন

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের স্নাতক শ্রেণির জন্য যে-পাঠক্রম প্রবর্তিত হয়েছে, তার লক্ষণীয় বৈশিষ্ট্য হল প্রতিটি শিক্ষার্থীকে তাঁর পছন্দমতো কোনও 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। ইন্দিরা গান্ধী মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের ও রবীন্দ্র মুক্ত বিদ্যালয়ের কেন্দ্র ও রাজ্যের অগ্রগণ্য বিশ্ববিদ্যালয়সমূহের পাঠক্রম অনুসরণ করে তার আদর্শ উপকরণগুলির সমন্বয়ে রচিত হয়েছে এই পাঠক্রম। সেই সঙ্গে যুক্ত হয়েছে অধ্যেতব্য বিষয়ে নতুন তথ্য, মনন ও বিশ্লেষণের সমাবেশ।

দূর-সঞ্চারী শিক্ষাদানের স্বীকৃত পদ্ধতি অনুসরণ করেই এইসব পাঠ-উপকরণ লেখার কাজ চলছে। বিভিন্ন বিষয়ের অভিজ্ঞ পণ্ডিতমণ্ডলীর সাহায্য এ-কাজে অপরিহার্য এবং যাঁদের নিরলস পরিশ্রমে লেখা, সম্পাদনা তথা বিন্যাসকর্ম সুসম্পন্ন হচ্ছে তাঁরা সকলেই ধন্যবাদের পাত্র। আসলে, এঁরা সকলেই অলক্ষ্যে থেকে দূর-সঞ্চারী শিক্ষাদানের কার্যক্রমে অংশ নিচ্ছেন; যখনই কোনও শিক্ষার্থীও 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 হ'তে পারবে। তার ওপর প্রতি পর্যায়ের শেষে প্রদত্ত অনুশীলনী ও অতিরিক্ত জ্ঞান অর্জনের জন্য গ্রন্থ-নির্দেশ শিক্ষার্থীর গ্রহণ ক্ষমতা ও চিন্তাশীলতা বৃদ্ধির সহায়ক হবে।

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

অধ্যাপক (ড.) শুভ শঙ্কর সরকার
উপাচার্য

প্রথম পুনর্মুদ্রণ : ডিসেম্বর, 2017

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

পরিচিতি

বিষয় : রসায়ন

সাম্মানিক স্তর

পাঠক্রম : পর্যায়

ECH : 09 : 02

রচনা				সম্পাদনা
একক	6 - 8	:	ড. পারমিতা কর	ড. অপরাজিতা বসু
একক	9	:	ড. সনৎ সাহা	—ঐ—
একক	10	:	ড. পারমিতা কর	—ঐ—

প্রজ্ঞাপন

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

মোহন কুমার চট্টোপাধ্যায়

নিবন্ধক

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়

ECH 09

ভৌত রসায়ন - III

পর্যায়
2

রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবিদ্যা ও বৃহৎ অণু

একক 6	❑ রাসায়নিক গতিবিদ্যা (Chemical Kinetics)—1	7 - 13
একক 7	❑ রাসায়নিক গতিবিদ্যা (Chemical Kinetics)—2	14 - 20
একক 8	❑ সালোক রসায়ন (Photochemistry)	21 - 27
একক 9	❑ কোলয়েড (Colloid) ও বৃহৎ অণু (Macro Molecule)	28 - 66
একক 10	❑ অধিশোষণ ও অনুঘটন	67 - 74

একক 6 ☐ রাসায়নিক গতিবিদ্যা — I (Chemical Kinetics)

গঠন

6.1 প্রস্তাবনা, উদ্দেশ্য

6.2 বিক্রিয়ার হার (rate)

6.3 বিক্রিয়ার ক্রম (Order of a reaction)

 6.3.1 গতিবিদ্যার মূল সূত্রাবলি

 6.3.2 দ্বিতীয় ক্রমের বিক্রিয়া

 6.3.3 ছদ্ম প্রথম আণবিক বিক্রিয়া

 6.3.4 তৃতীয় ক্রম বিক্রিয়া

6.4 সারাংশ

6.5 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

6.1 প্রস্তাবনা

এটা দেখা গেছে যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অগ্রগতি নানা ধরনের হয়। যেমন অ্যাসিড-ক্ষার প্রশমন বিক্রিয়া অতি দ্রুত সম্পন্ন হয়, তেমনি আয়নীয় জারণ বিজারণ বিক্রিয়া ধীরে হয়।

ভৌতবিজ্ঞানের যে শাখা রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি বা বিক্রিয়কের রূপান্তরের হার (rate) কে নির্দেশ করে, তাকে রাসায়নিক গতিবিদ্যা বলা হয়। এই বিদ্যার সাহায্যে রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি প্রকৃতি সম্পর্কে বিস্তারিত জানা যায়। রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি মূলত বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব এবং তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। কিছু কিছু বিক্রিয়া অনুঘটকের উপস্থিতির উপরেও নির্ভর করে।

উদ্দেশ্য ঃ

রাসায়নিক বিক্রিয়ার এই শাখা পাঠ করলে আপনি বিক্রিয়ার গতি-প্রকৃতি, হার (rate) এবং ক্রম (order) ও আণবিকতা (molecularity) সম্পর্কে জানতে পারবেন। বেশিরভাগ রাসায়নিক বিক্রিয়া নানা ধাপে অনুষ্ঠিত হয়। ধাপ সম্পর্কে বিশদ জানা-বোঝা ভৌত রসায়নবিদদের প্রয়োজন হয়। প্রতিটি রাসায়নিক ধাপ এবং তার বৈশিষ্ট্যকে বিক্রিয়া-প্রকৃতি (reaction mechanism) বলে।

6.2 বিক্রিয়ার হার (rate)

একক সময়ে যে রাসায়নিক বিক্রিয়া হয় তাকে বিক্রিয়ার হার (rate of reaction) বলা হয়। সাধারণত

রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের পরিবর্তনের মাত্রা অনুযায়ী হার নির্ণয় করা হয়। একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া কল্পনা করা যাক : $A \rightarrow B$

ধরি সময় $= t$ সেকেণ্ড, বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব $= c$ গ্রাম অণু / লিটার

বিক্রিয়ার হার $= -\frac{dc}{dt}$

বিক্রিয়ার হারের একক = গ্রাম অণু / লিটার সেকেণ্ড

6.3 বিক্রিয়ার ক্রম (Order of a Reaction)

কোন বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের যে ঘাতের (power) উপর নির্ভর করে তাকে ক্রম (order) বলা হয়। ধরি $pA + qB \rightarrow C$ একটি বিক্রিয়া। যদি এমন হয় যে বিক্রিয়ার হার $\propto (c_A)^\alpha \times (c_B)^\beta$ তবে বলা হবে যে বিক্রিয়ার A সাপেক্ষে ক্রম হল α এবং B সাপেক্ষে ক্রম হল β। সম্পূর্ণ বিক্রিয়ার ক্রম হল $(\alpha + \beta)$।

যদি এটি গাঢ়ত্বের প্রথম ঘাতের উপর নির্ভর করে, তবে এটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া **(First Order Reaction)**

হার $= Kc^I$

k = হার ধ্রুবক (rate constant)
c = গাঢ়ত্ব
I = ঘাত

একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার উদাহরণ :—

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

বিক্রিয়ার ক্রম পরীক্ষা কার্যের মধ্য দিয়ে নির্ণয় করতে হয় এবং ক্রম বিক্রিয়ার শর্তের (condition) উপর নির্ভরশীল।

দ্বিতীয় ক্রম **(Second order)** বিক্রিয়ার উদাহরণ :

$$2HI = H_2 + I_2$$

হার $= kc_{HI}^2$

ধরি, $aA + bB + cC + \ldots\ldots = p$ (Product)

যদি পরীক্ষা করে দেখা যায় যে

হার $= -\frac{dc}{dt} = kc_A^{\alpha} c_B^{\beta} c_C^{\gamma}$

মোট ক্রম $= n = \alpha + \beta + \gamma + \ldots\ldots\ldots$

বিক্রিয়াটি A সাপেক্ষে α ক্রম, B সাপেক্ষে β ক্রম, C সাপেক্ষে γ ক্রম ইত্যাদি।

বিক্রিয়ার আণবিকতা (**Molecularity of Reaction**)

কোন বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের যে সংখ্যক অণু অংশগ্রহণ করে তাকে আণবিকতা (Molecularity) বলা হয়। যদি $aA + bB \rightarrow cC$ একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া হয় তবে তার আণবিকতা হল $= (a+b)$

উদাহরণ :

$$2N_2O_5 = 4NO_2 + O_2$$

উপরোক্ত বিক্রিয়াটি প্রথম ক্রম কিন্তু দ্বি-আণবিকতা (Bimolecular) প্রকৃতির। এ থেকে বোঝা যায় ক্রম ও আণবিকতার মধ্যে কোনরূপ সম্পর্ক নেই।

6.3.1 গতিবিদ্যার মূল সূত্রাবলী

(i) প্রথম ক্রম বিক্রিয়া :

ধরি $X \rightarrow Y$ একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া

ধরি X পদার্থের গাঢ়ত্ব $= c$

$$\therefore -\frac{dc}{dt} \propto c$$

$$\therefore -\frac{dc}{dt} = k_1 c \quad [\ k_1 = \text{হার ধ্রুবক}\ ]$$

$$-\frac{dc}{C} = k_1 dt$$

ইন্‌টিগ্রেসন করে,

$$-\ln c = k_1 t + Z \quad (\text{ধ্রুবক})$$

যখন $t = 0$ (অর্থাৎ বিক্রিয়ার শুরুর মুহূর্ত) তখন $c = c_0$ এবং $t = t$, তখন $c = c$

$$-\int_{c_0}^{c} \ln c = k_1 \int_0^t dt$$

বা, $$\ln \frac{c_0}{c} = k_1 t$$

বা, $$\frac{c}{c_0} = e^{-k_1 t}$$

$$c = c_0 e^{-k_1 t}$$

অর্ধজীবন (Half Life) :

যে সময়ে বিক্রিয়ার গাঢ়ত্ব প্রাথমিক গাঢ়ত্বের অর্ধেক হয়, তাকে বিক্রিয়ার অর্ধজীবন (Half Life) বলা হয়।

$$T_{1/2} = \frac{1}{k_1} \ln \frac{c_0}{\frac{c_0}{2}} = \frac{1}{k_1} \ln 2 = \frac{1.303}{k_1} \log_{10} 2 = \frac{0.693}{k_1}$$

যখন k_1 = হার ধ্রুবক।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে প্রথম ক্রম বিক্রয়ার অর্ধজীবন তার হার-ধ্রুবকের উপর নির্ভর করে বিক্রিয়ার প্রাথমিক গাঢ়ত্বের উপর কখনই নির্ভরশীল নয়। এই ধরনের বিক্রিয়ার প্রাথমিক গাঢ়ত্ব পরিবর্তন করলেও $T_{\frac{1}{2}}$ পরিবর্তন হয় না।

6.3.2 দ্বিতীয় ক্রমের বিক্রিয়া

ধরি, 2A $\longrightarrow$ Products

ধরি [A] এর গাঢ়ত্ব = c

$$\therefore -\frac{dc}{dt} = k_2c^2$$

$$-\frac{dc}{c^2} = k_2dt$$

$$\text{or, } \left[\frac{1}{c}\right]_{C_0}^{C} = k_2t$$

(যখন $t = 0, c = c_0$

$t = t_1, c = c$

$$\therefore \frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} = k_2t$$

c_0 = প্রাথমিক গাঢ়ত্ব যখন সময় = 0

c = শেষ গাঢ়ত্ব যখন সময় = t

6.3.3 ছদ্ম প্রথম আণবিকতা বিক্রিয়া (Pseudo-Unimolecular reaction)

উদাহরণ : সুক্রোজের ইনভার্সান

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = \underset{\text{(গ্লুকোজ)}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{(ফ্রুকটোজ)}}{C_6H_{12}O_6}$$

উপরোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়াটি সুক্রোজের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে জলের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভরশীল নয়। তাই আপাতভাবে এটি দ্বিতীয় ক্রম বলে মনে হলেও এটি ছদ্ম প্রথম আণবিকতা (Pseudo-unimolecular) বিক্রিয়া।

$$-\frac{dc}{dt} = k\, c_{Sugar} \; c_{H_2O}$$
$$= k'\, C_{Sugar}$$

(যেহেতু জলের পরিমাণ অত্যধিক, তাই জলের গাঢ়ত্বের কোন পরিবর্তন হয় না।

($k.\ cH_2O = k' =$ ধ্রুবক)

6.3.4 তৃতীয় ক্রম বিক্রিয়া

$3A \longrightarrow$ Products

$$\frac{dx}{dt} = k(a-x)^3$$

(ধরি বিক্রিয়ার প্রারম্ভে A এর গাঢ়ত্ব = a

t সময় পরে x গাঢ়ত্ব উৎপাদকে রূপান্তরিত হয়েছে)

Or, $\frac{dx}{(a-x)^3} = kdt$

ইনটিগ্রেড করে পাই ঃ

$$k = \frac{1}{2t}\left[\frac{1}{(a-x)^2} - \frac{1}{a^2}\right]$$

উদাহরণ ঃ $2NO + Cl_2 \rightarrow 2NOCl$

উপরোক্ত বিক্রিয়াটি তৃতীয় ক্রমের।

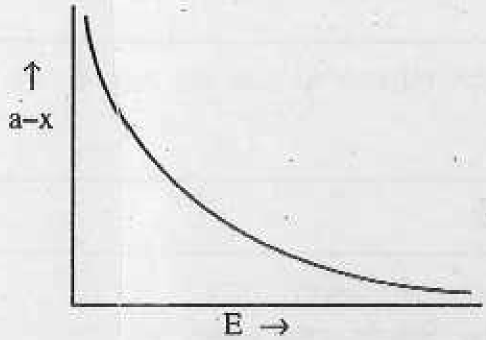
গাঢ়ত্বের সঙ্গে বিক্রিয়াকালের সম্পর্ক ঃ

প্রারম্ভিক গাঢ়ত্ব a এবং t সময় পরে গাঢ়ত্ব (a − x) হলে

$(a - x) = ae^{-k_1 t}$ (প্রথম ক্রম বিক্রিয়া)

বা, $x = a(1 - e^{-k_1 t})$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, (a − x) এর হ্রাস বা x এর বৃদ্ধি ঘটে লগারিদমের (exponential) নিয়মে। তাই বিক্রিয়ার ফলে বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব (a − x) সময়ের সঙ্গে সঙ্গে কমলেও কখনই বিক্রিয়ক একেবারে নিঃশেষিত হয় না।



সময়ের সঙ্গে সঙ্গে গাঢ়ত্বের হ্রাস

(d) প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলি ঃ

(1) প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ায় হার-ধ্রুবকের (rate constant) একক গাঢ়ত্ব নিরপেক্ষ। এককটি হল সেকেণ্ড।

(2) প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ায় অর্ধজীবন কাল বা যে কোন নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ বিক্রিয়ার সময় গাঢ়ত্ব-নিরপেক্ষ একটি ধ্রুবক।

(3) আমরা যদি বিক্রিয়ার প্রাথমিক গাঢ়ত্ব (a) জানি এবং বিভিন্ন সময় অন্তর গাঢ়ত্ব (a–x) নির্ণয় করি তাহলে দেখা যাবে যে $\frac{2\cdot303}{t}\log\left(\frac{a}{a-x}\right)$-এর মান প্রতি ক্ষেত্রেই সমান। এই মানটিই হল হার-ধ্রুবকের মান।

(4) আমরা যদি $\log\left(\frac{a}{a-x}\right)$ বনাম t লেখচিত্রটি আঁকি তাহলে লেখচিত্রটি হবে একটি মূল বিন্দুগামী সরলরেখা। এই সরলরেখার নতি থেকে হার ধ্রুবক গণনা করা যায়।

ধরি t_1 ও t_2 সময়ে গাঢ়ত্ব যথাক্রমে $a-x_1$ ও $a-x_2$ হয়, তাহলে

$$\log\frac{a}{a-x_1} = \frac{kt_1}{2.303}$$

এবং $$\log\frac{a}{a-x_2} = \frac{kt_2}{2.303}$$

দ্বিতীয় সমীকরণটি থেকে 1মটি বিয়োগ দিয়ে সরল করলে—

$$\log\frac{a-x_1}{a-x_2} = \frac{k(t_2-t_1)}{2.303} = \frac{k\Delta t}{2\cdot303}$$

বা, $$k = \frac{2\cdot303}{\Delta t}\log\frac{a-x_1}{a-x_2}$$

এক্ষেত্রেও $\log\frac{a-x_1}{a-x_2}$ বনাম Δt লেখচিত্র অংকন করলে মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা পাওয়া যাবে।

6.4 সারাংশ

এই অধ্যায়ে আমরা রাসায়নিক গতিবিদ্যার সূত্র, এবং তার থেকে কী করে বিক্রিয়ার গতি নির্ধারণ করা যায়, তা জানতে পারলাম।

6.5 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. 1st Order বিক্রিয়া বলতে কী বোঝেন?
2. Pseudo-unimolecular বিক্রিয়ার একটি উদাহরণ দিন।
3. আণবিকতা ও ক্রমের সংজ্ঞা দিন। উভয়ের পার্থক্য কী?

4. যখন 5% বিক্রিয়া হয়েছে, তখন A গ্যাসের ভাঙনের হার 7.25 এবং যখন এটি 20%, তখন এটি পুরোপুরি ভেঙে যায়। বিক্রিয়ার অর্ডার নির্ধারণ করুন।

উঃ— ধরি, c = গাঢ়ত্ব

$$-\frac{dc}{dt} = k_1c^n$$

$$7.25 = k(0.95c)^n$$

এবং $5.14 = k_1(0.80c)^n$

$ie\ (95 / 80)^n = 725 / 514$

$$\therefore n = 2$$

উঃ — বিক্রিয়ার অর্ডার = 2

5. তিনটি পৃথক H_2O_2 দ্রবণের মাত্রা যথাক্রমে 0.42M, 0.18M এবং 0.12M। কিছু সময় পর (ধর 100 সেকেণ্ড) প্রথমটির মাত্রা হ্রাস পেয়ে হয় 0.28M। অন্য দুটি দ্রবণের মাত্রা তখন কত হবে? k_1 এর মানও নির্ণয় করুন।

$$\frac{c}{c_0} = e^{-k_1t}$$

বা, $\frac{0\cdot28}{0\cdot42} = e^{-k_1\times100}$

দ্বিতীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে,

$$\frac{c}{0\cdot18} = e^{-k_1\times100} = \frac{0\cdot28}{0\cdot42}$$

বা, $c = \frac{0\cdot28}{0\cdot42}\times0\cdot18 = 0\cdot12M$

তৃতীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে,

$$\frac{c}{0\cdot12} = e^{-k_1\times100} = \frac{0\cdot28}{0\cdot42}$$

বা, $c = \frac{0\cdot28}{0\cdot42}\times0\cdot12 = 0\cdot08M$

$$k_1 = \frac{2\cdot303}{t}\log_{10}\frac{c_0}{c}$$

$$= \frac{2\cdot303}{100}\log_{10}\frac{0\cdot2}{0\cdot28}$$

= 0.004056 সেকেণ্ড$^{-1}$

উত্তরমালা

"প্রশ্নাবলির" উত্তর পাঠ্যাংশে দেখে নিন।

একক 7 ☐ রাসায়নিক গতিবিদ্যা — 2
(Chemical Kinetics)

গঠন

7.1 প্রস্তাবনা, উদ্দেশ্য

7.2 বিক্রিয়ার হারের উপর উষ্ণতার প্রভাব ও আরহেনিয়াস তত্ত্ব

7.3 বিক্রিয়ার হার সংক্রান্ত তত্ত্বাবলি

7.3.1 সংঘর্ষ তত্ত্ব (Collision Theory)

7.3.2 সন্ধিগত অবস্থার তত্ত্ব (Transition State Theory)

7.4 প্রশ্নাবলি

7.1 প্রস্তাবনা

রাসায়নিক গতিবিদ্যার এই শাখায় আমরা বিক্রিয়ার হারের উপর উষ্ণতার প্রভাব, বিক্রিয়ার হার সংক্রান্ত তত্ত্বাবলী ইত্যাদি জানতে পারি।

উদ্দেশ্য ঃ

রাসায়নিক বিক্রিয়ার এই শাখা পাঠ করলে আপনি বিক্রিয়ার গতি-প্রকৃতি, তত্ত্বাবলী সম্পর্কে ব্যাপক ধারণা করতে পারবেন।

7.2 বিক্রিয়ার হারের উপর উষ্ণতার প্রভাব ও আরহেনিয়াস তত্ত্ব

বিক্রিয়ার হার উষ্ণতার উপরে উল্লেখযোগ্যভাবে নির্ভরশীল। দেখা গেছে যে প্রতি 10^0C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়া হার প্রায় দ্বিগুণ হয়। 10^0C ব্যবধানে দুটি উষ্ণতায় বিক্রিয়া হারের অনুপাতকে উষ্ণতা গুণাংক (Temperature Coefficient) বলে। প্রধানতঃ 25^0C ও 35^0C এই দুটি উষ্ণতায় বিক্রিয়া হার নির্ণয় করা হয়। সুতরাং কোন বিক্রিয়ায়

$$\text{উষ্ণতা গুণাংক} = \frac{k_{35^0C}}{k_{25^0C}}$$

আরহেনিয়াস প্রথম লক্ষ্য করেন যে উষ্ণতা বৃদ্ধিতে হার-ধ্রুবকের মান exponential রূপে বৃদ্ধি পায়। এই ধারণা থেকে তিনি হার-ধ্রুবক ও চরম উষ্ণতার মধ্যে একটি সম্পর্ক দেন। এটি হল ঃ—

$$k = Ae^{-Ea/RT}$$

যখন k = বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক

T = যে চরম উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটে

R = সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক

A = কম্পাংক গুণক (frequency factor)

Ea = সক্রিয়করণ শক্তি (Activation Energy)

অন্যভাবে, $\ln K = \ln A - \frac{Ea}{RT}$

$$\log_{10}K = \log_{10}A - \frac{Ea}{2 \cdot 303\, RT}$$

এখানে K = বিক্রিয়াটির হার-ধ্রুবক

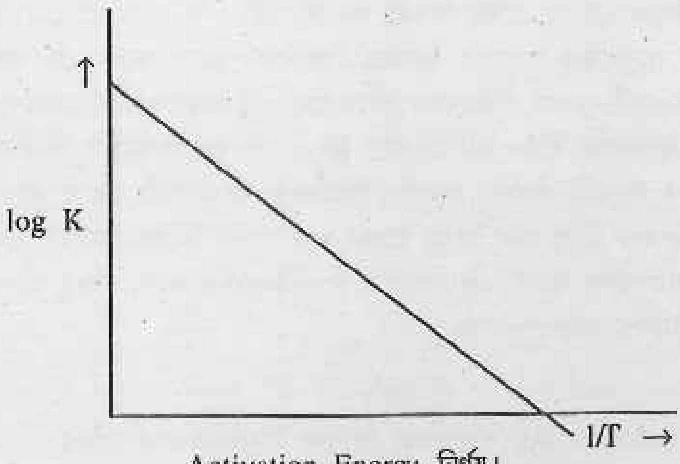
T = যে চরম উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটে

R = সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক

A = কম্পাংক গুণক

Ea = সক্রিয়করণ শক্তি

LogK বনাম 1/T লেখচিত্রটি হবে একটি সরলরেখা। এর নতি $\frac{-Ea}{2 \cdot 303R}$ থেকে Ea এর মান এবং এর ছেদ থেকে A এর মান নির্ণয় করা যাবে।



Activation Energy নির্ণয়।

আমরা জানি, $\log K_1 = \log A - \frac{Ea}{2 \cdot 303RT_1}$ ....(1)

$$\log K_2 = \log A - \frac{Ea}{2 \cdot 303\, RT_2}$$ ....(2)

4

(1) – (2) $$\log \frac{k_1}{k_2} = \frac{Ea}{2 \cdot 303 R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$ ....(3)

আরহেনিয়াসের মতে সক্রিয়করণ শক্তি হল একটি ন্যূনতম মানের শক্তি যা বিক্রিয়াকারী প্রতিটি অণুকেই অর্জন করতে হয়। $e^{Ea/kt}$ হল বিক্রিয়াকরণ শক্তি সম্পন্ন বিক্রিয়ক অণু ও মোট বিক্রিয়ক অণুর সংখ্যার অনুপাত। সহজেই বোঝা যায় যে, উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বিক্রিয়ক অণুর সংখ্যা বাড়ে এবং বিক্রিয়া হার বৃদ্ধি পায়। আরহেনিয়াসের এই যুক্তি মোটামুটি ভাবে এখনও অটুট আছে। বর্তমানে দেখা গেছে A ধ্রুবকটি উষ্ণতার উপর নির্ভর করে।

7.3 বিক্রিয়া হার সংক্রান্ত তত্ত্বাবলি

7.3.1 সংঘর্ষ তত্ত্ব (Collision Theory) :

বিক্রিয়ার জন্য বিক্রিয়ক অণুগুলিকে স্বভাবতঃই পরস্পরের কাছে আসতে হয়। সংঘর্ষ তত্ত্ব অনুযায়ী বিকিরয়কগুলি পরস্পরের নিকটবর্তী হলেই বিক্রিয়া ঘটে না — সংঘর্ষের প্রয়োজন হয়।

বিক্রিয়ক অণুগুলি সতত সঞ্চারমান। অণুগুলি তাদের গতিপথে পারস্পরিক সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। গ্যাসের গতীয়তত্ত্ব অনুযায়ী প্রতি সেকেণ্ডে এই সংঘর্ষের সংখ্যা নির্ণয় করা যায়। কিন্তু তাত্ত্বিকভাবে নির্ণীত সংঘর্ষ সংখ্যার সঙ্গে বিক্রিয়া হারের পার্থক্য বিশাল। যেমন সাধারণ উষ্ণতায় এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে এক মোল মিথেন ও এক মোল অক্সিজেনের মধ্যে প্রতি সেকেণ্ডে সংঘর্ষ হয় প্রায় 10^9 বার কিন্তু সাধারণ অবস্থায় মিথেন ও অক্সিজেনের মধ্যে বিক্রিয়া হয় না বললেই চলে। তাই আন্তঃ আণবিক সংঘর্ষ একটি প্রয়োজনীয় শর্ত হলেও যথেষ্ট নয়। সুতরাং ব্যাপারটা দাঁড়ায় এই যে প্রতিটি সংঘর্ষই ফলপ্রসূ নয়।

আরহেনিয়াসের আনুভাবিক সংঘর্ষের ভিত্তিতে বিজ্ঞানীরা প্রস্তাব করেন যে ফলপ্রসূ সংঘর্ষের জন্য বিক্রিয়ক অণুগুলিকে একটি ন্যূনতম শক্তি অর্জন করতে হবে। এই শক্তিই হল সক্রিয়করণ শক্তি (Activation energy)। তাহলে সক্রিয়করণ শক্তির পরিমাপ হবে Ea = (ন্যূনতম যে শক্তিতে বিক্রিয়া ঘটে – বিক্রিয়কের গড় শক্তি)। বিক্রিয়ক অণুগুলি সরাসরি সংঘর্ষে বিক্রিয়াজাত পদার্থ তৈরী করতে পারে না। সংঘর্ষের ফলে দুটি অণু সক্রিয় শক্তিস্তরে উন্নীত হলে তবেই তাদের মধ্যে সংঘর্ষে বিক্রিয়া ঘটে। গ্যাসের অণুগুলির সক্রিয় শক্তির উৎস হল পারস্পরিক সংঘর্ষ। এই সংঘর্ষের ফলে অণুগুলির মধ্যে শক্তির আদান প্রদান ঘটে। এবং কিছু সংখ্যক অণু উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন হয়।

$$A + A \rightarrow A^* + A$$

উচ্চতর (A^*) ও নিম্নতর (A) শক্তিসম্পন্ন অণুগুলি রাসায়নিকভাবে অভিন্ন।

আমরা Maxwell-Boltzmann পরিসংখ্যান অনুযায়ী বলতে পারি যে,

$$\frac{\text{উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন (Ea) অণুর সংখ্যা}}{\text{মোট অণুর সংখ্যা}} = e^{-Ea/RT}$$

বা যেহেতু সংঘর্ষগুলি জোড়ায় জোড়ায় ঘটে তাই আমরা বলতে পারি,

$$\frac{\text{প্রতি সেকেণ্ডে উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন (Ea) অণুগুলির মধ্যে সংঘর্ষ সংখ্যা}}{\text{প্রতি সেকেণ্ডে মোট সংঘর্ষ সংখ্যা (Z)}} = e^{-Ea/RT}$$

বা প্রতি সেকেণ্ডে উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন (Ea) অণুগুলির মধ্যে সংঘর্ষ সংখ্যা = $Z.e^{-Ea/RT}$ তত্ত্বানুযায়ী এই সংখ্যাই হল একক গাঢ়ত্বের হার বা হার-ধ্রুবক। অতএব

$$k = Ze^{-Ea/RT}$$

এই সমীকরণটি আরহেনিয়াসের সম্পর্কের সঙ্গে তুলনীয়। কিন্তু আরহেনিয়াসের কম্পন গুণাংক উষ্ণতা নিরপেক্ষ। অপরপক্ষে Z উষ্ণতা নির্ভর।

উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে সংঘর্ষ সংখ্যা বা Z বৃদ্ধি পায়। উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন অণুর সংখ্যাও বৃদ্ধি পায়। এই $e^{-Ea/RT}$-র বৃদ্ধির পরিমাণ Z এর বৃদ্ধির তুলনায় অনেক বেশী। কারণ উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন অণুর exponential নিয়মে বৃদ্ধি পায়।

7.3.1.1 এক আণবিক বিক্রিয়ার ক্রিয়াবিধি (Mechanism of Unimolecular reaction) :

সংঘর্ষ ঘটার জন্য কমপক্ষে দুটি অণুর প্রয়োজন। সুতরাং স্বাভাবিকভাবেই এক আণবিক বিক্রিয়া সংঘর্ষ তত্ত্বের পরিপন্থী। লিয়েণ্ডার এই কূট বিচারের (Paradox) অবসান ঘটান। তাঁর মতে এক আণবিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেও সংঘর্ষ ঘটে, কিন্তু সংঘর্ষের পরক্ষণেই সক্রিয় অণুটির বিক্রিয়া ঘটে না। অর্থাৎ অণুটির সক্রিয়করণ ও বিক্রিয়ার মধ্যে একটি সময়ের ব্যবধান থাকে। এই ব্যবধানের মধ্যে সক্রিয় অণুটি অন্য অণুর সঙ্গে সংঘর্ষে নিষ্ক্রিয় হতে পারে অথবা বিক্রিয়া করে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করতে পারে। যেমন :—

সক্রিয়করণ ধাপ : $A + A \rightarrow A^* + A$

নিষ্ক্রিয়করণ ধাপ : $A^* + A \rightarrow A + A$

বিক্রিয়া ধাপ : $A^* \rightarrow$ বিক্রিয়াজাত পদার্থ তৃতীয় ধাপে একটি অণুই বিক্রিয়ার অংশগ্রহণ করে। সুতরাং এক আণবিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেও সংঘর্ষ তত্ত্ব স্বীকার করে নেওয়ার কোন বাধা থাকে না।

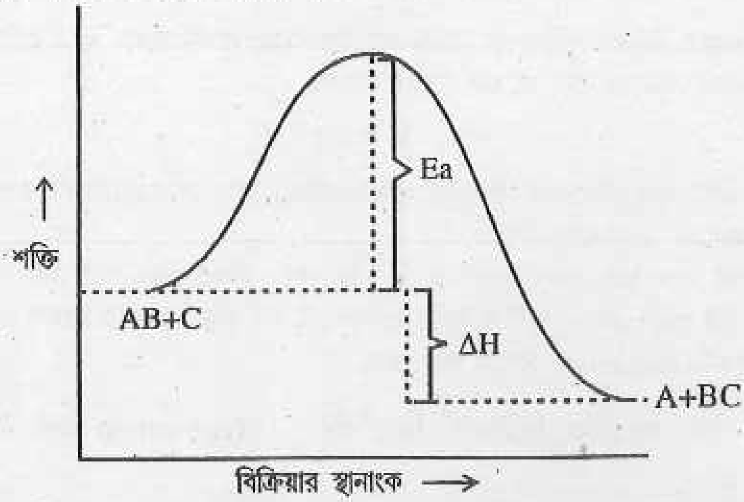
7.3.2 সন্ধিগত অবস্থার তত্ত্ব (Transition State Theory) :

এই তত্ত্ব অনুযায়ী বিক্রিয়ার পূর্বে বিক্রিয়ক অণুগুলির মধ্যে একটি অন্তবর্তী জটিল যৌগ উৎপন্ন হয়। যৌগটি উচ্চশক্তিসম্পন্ন এবং ফলে অস্থায়ী। এই জটিল যৌগের বিভাজনে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হয়। সুতরাং AB ও C এর বিক্রিয়ায় A ও BC-এর উৎপত্তি নিম্নলিখিতভাবে দেখানো যায়—

$$\underset{\text{বিক্রিয়ক}}{AB + C} \quad \underset{\text{জটিলযৌগ}}{A.........B........C} \rightarrow \underset{\text{বিক্রিয়াজাত পদার্থ}}{A + BC}$$

বিক্রিয়া ঘটার সময় C পরমাণুটি AB অণুর B পরমাণুর এত কাছে আসতে বাধ্য হয় যে B পরমাণুটি A বা C কোন্‌টির সঙ্গে যুক্ত তা পরিস্কারভাবে বলা যায় না। ফলে A.........B.........C জটিল যৌগের সৃষ্টি হয়। C কে B এর কাছে এনে জটিল যৌগ সৃষ্টির জন্য বাড়তি শক্তির প্রয়োজন হয়। এই অতিরিক্ত

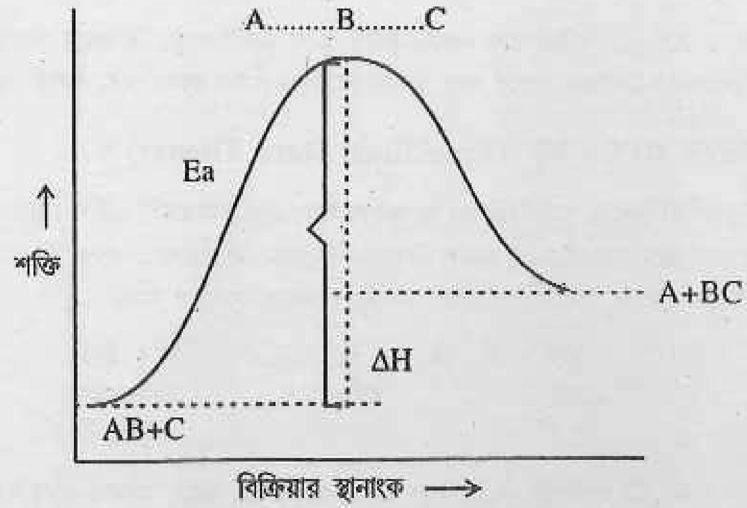
শক্তিই সক্রিয়করণ শক্তি। বিক্রিয়কগুলির নিকটবর্তী হওয়া, সক্রিয়করণ শক্তি অর্জন ও পরিশেষে বিভাজন নিচে আঁকা লেখচিত্রের সাহায্যে সহজেই দেখানো যায়।



চিত্র 15.12.a : তাপপ্রদানকারী বিক্রিয়া

চিত্রে Ea — সক্রিয়করণ শক্তি
ΔH — এনথ্যালপির পরিবর্তন

চিত্রটিতে দেখা যাচ্ছে যে বিক্রিয়ক পদার্থগুলির শক্তি অপেক্ষা বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির শক্তি কম। অর্থাৎ বিক্রিয়াটি তাপপ্রদানকারী। তাপশোষক বিক্রিয়া হলে চিত্রটি হত এর বিপরীত এবং সক্রিয়করণ শক্তির প্রয়োজন হত বেশী।



তাপশোষক বিক্রিয়া

আমরা কল্পনা করতে পারি যে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থ দুটি শক্তি উপত্যকায় অবস্থিত। একটি উপত্যকা থেকে অন্য উপত্যকায় যেতে গেলে মধ্যবর্তী শক্তিশৃঙ্গ অতিক্রম করতেই হবে। অন্য কোন উপায় নেই। এজন্যই যে কোন বিক্রিয়ায় প্রথমেই প্রয়োজন হয় সক্রিয়করণ শক্তি অর্জন।

7.4 প্রশ্নাবলি

(1) অ্যাসিড মাধ্যমে

$CH_3COCH_3 + I_2 \rightarrow CH_3COCH_2I + HI$

বিক্রিয়ার হার $dx/dt \propto [CH_3COCH_3]\ [H^+]$

বিক্রিয়াটি সম্পর্কে নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দিন।

(a) অ্যাসিটোন ও আয়োডিনের সাপেক্ষে বিক্রিয়াটির ক্রম কত?

(b) মোট বিক্রিয়া ক্রম কত?

(c) অ্যাসিডের ভূমিকা কী?

(d) বিক্রিয়াটির ক্রিয়াবিধি সম্পর্কে কী অনুমান করা যায়?

উঃ— (a) বিক্রিয়া হার নির্দেশক সমীকরণে অ্যাসিটোনের গাঢ়ত্ব এক ঘাত থাকায় অ্যাসিটোনের সাপেক্ষে বিক্রিয়াটি এক ক্রমের। বিক্রিয়া সমীকরণে আয়োডিন না থাকায় আয়োডিনের সাপেক্ষে বিক্রিয়াটি শূন্য ক্রমের।

(b) বিক্রিয়া হার নির্দেশক সমীকরণে অ্যাসিটোন ও অ্যাসিড উভয়েরই গাঢ়ত্ব এক ঘাতের হওয়ায় মোট বিক্রিয়া ক্রম $1 + 1 = 2$ হওয়া উচিত ছিল। কিন্তু অ্যাসিড বিক্রিয়ক না হওয়ায় এর গাঢ়ত্ব ধর্তব্য নয়। তাই মোট বিক্রিয়া ক্রম এক।

(c) অ্যাসিড সমসত্ব অণুঘটকের কাজ করে এবং বিক্রিয়া হার ধ্রুবকের মান নিয়ন্ত্রণ করে।

(d) বিক্রিয়া হার সমীকরণে আয়োডিনের গাঢ়ত্ব না আসায় অনুমান করা যায় যে বিক্রিয়াটি একাধিক ধাপে সম্পন্ন হয় এবং আয়োডিন একটি দ্রুত সংঘটিত বিক্রিয়া ধাপে ব্যয়িত হয়। সুতরাং নিম্নিলিখিত ক্রিয়াবিধি অনুমান করা যায় —

$$CH_3COCH_3 + H^+ \xrightarrow[\text{Slow (মন্থর)}]{\text{১ম ধাপ}} CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{C}=CH_2 + H^-$$

$$\xrightarrow[\text{দ্রুত}]{+I_2} CH_3COCH_2I + HI$$

(2) $2HI(g) \longrightarrow H_2(g) + I_2(g)$ এই বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া ধ্রুবকের মান 575^0K উষ্ণতায়

1.22 × 10^{-6} মিটার মোল $^{-1}$ সেকেণ্ড $^{-1}$ এবং 716K উষ্ণতায় 2.50 × 10^{-3} লিটার মোল $^{-}$ সেকেণ্ড $^{-1}$। বিক্রিয়াটির সক্রিয়করণ শক্তি গণনা করুন।

$$\log\frac{k_1}{k_2} = \frac{Ea}{2\cdot 303R}\left[\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}\right]$$

বা, $\log\frac{1\cdot 22\times10^{-6}}{2\cdot 50\times10^{-3}} = \frac{Ea}{2\cdot 303\times1\cdot 987}\times\frac{(575-716)}{575\times716}$

বা, Ea = 44.24 কিলোক্যালোরি মোল $^{-1}$

(3) সক্রিয়করণ শক্তির তাত্ত্বিক ও পরীক্ষাগত দিক আলোচনা করুন।

একক 8 ❑ সালোক রসায়ন (Photochemistry)

গঠন

8.1 প্রস্তাবনা, উদ্দেশ্য

8.2 আলোক অবশোষণ

8.3 সালোক রসায়নের কয়েকটি নীতি

8.4 কোয়ান্টাম উৎপাদন বা কোয়ান্টাম কর্মদক্ষতা

8.5 আলোক সুবেদী পদার্থ (Photo-sensitizer)

8.6 সালোক বাধক (Photo inhibitor)

8.7 রাসায়নিক সংদীপ্তি (Chemilluminisence)

8.8 সালোক ভৌত প্রক্রিয়া (Photophysical Process)

8.8.1 প্রতিপ্রভা (Fluorescence)

8.9 অণুপ্রভা বা Phosphorescence

8.10 প্রশ্নাবলি

8.1 প্রস্তাবনা

সালোক রাসায়নিক বিক্রিয়া আমাদের একেবারে অজানা নয়। হাইড্রোজেন ও ক্লোরিন গ্যাস অন্ধকারে দীর্ঘকাল ফেলে রাখলেও তাদের মধ্যে কোন বিক্রিয়া ঘটে না। কিন্তু বিচ্ছুরিত আলোতে গ্যাস দুটি বিক্রিয়া ঘটিয়ে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন করে। প্রখর সূর্য্যকিরণে এই বিক্রিয়া এত তীব্র হয় যে বিস্ফোরণ পর্যন্ত হয়। সালোক রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রধানতঃ অতিবেগুনী ও দৃশ্যমান আলোক রশ্মিই অর্থাৎ প্রায় 1000 থেকে $10{,}000A^0$ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সম্পন্ন আলোকই কার্য্যকরী হয়। এই তরঙ্গদৈর্ঘ্যে প্রতিটি কোয়ান্টামের শক্তি 1 থেকে 10ev বা 23 থেকে 230KCal/mole। একটি কোয়ান্টামের শক্তি একটির বেশী অণুকে সক্রিয় করতে সমর্থ হয়। অপরপক্ষে 1000000ev শক্তি সম্পন্ন রশ্মির (যেমন এক্স রশ্মি, গামা রশ্মি) একটি Photon কণিকা চলার পথে অসংখ্য অণুকে সক্রিয় আয়ণে পরিণত করতে পারে। উৎপন্ন ইলেকট্রনগুলি আবার আরও অণুকে আয়ণিত করে। তাই সালোক-রসায়ন (Photochemistry) ও বিকিরণ রসায়নের (Radiation Chemistry)-র মধ্যে সীমারেখা সুস্পষ্ট।

উদ্দেশ্য :

এই অধ্যায় পাঠ করলে আপনি বিভিন্ন আলোক বিক্রিয়ার কার্য-পদ্ধতি (mechanism), সূত্রাবলী ও তাদের প্রয়োগ সম্পর্কে জানতে পারবেন।

8.2 আলোক অবশোষণ (Light Absorption)

কোন একটি পদার্থের উপর কোন একবর্ণী আলো পড়লে ঐ আলোকরশ্মিগুচ্ছের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, বিক্ষেপণ, অবশোষণ বা উত্তরণ ঘটতে পারে। অনেক সময়ে প্রথম তিনটি পদ্ধতি নগণ্য মনে করা হয়। তাহলে থাকে শুধু অবশোষণ ও উত্তরণ। কোন পদার্থের উপরে আপতিত আলোর তীব্রতা (Intensity), I_0 হল অবশোষিত আলোর তীব্রতা (Ia) ও উত্তীর্ণ আলোর তীব্রতার (It)-র সমষ্টি।

ল্যামবার্ট দেখেন ঃ—

"কোন মাধ্যমে আপতিত রশ্মির যে ভগ্নাংশ অবশোষিত হয় তা মাধ্যমটির পুরুতার বা বেধের উপর নির্ভরশীল।"

ধরি আপতিত ফোটন সংখ্যা = N,

আলোর তীব্রতা = I,

অতিক্রান্ত আলোকপথ = dl,

অবশোষিত ফোটন = dN

$$\therefore \frac{-dN}{N} = \frac{-dI}{I} \propto dl$$

বা, $\frac{-dI}{I} = k' dl$ [k' = ধ্রুবক]

ফোটন সংখ্যা বা তীব্রতা হ্রাসের জন্যই এখানে ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহার করা হয়েছে। I = 0-তে। অর্থাৎ আলোকরশ্মি প্রবেশ করার আগে, $I = I_0$ হলে এবং l দৈর্ঘ অতিক্রমের পর আলোর তীব্রতা I হলে উপরের সমীকরণটি সমাকলন করলে দাঁড়ায়

$$-\int_{I_0}^{I} \frac{dI}{I} = \int_{0}^{l} k' dl$$

$$\therefore I = I_0 e^{-k'l}$$

k' = Absorption Coefficient বা অবশোষণ গুণাংক

$$\log_{10}\frac{I}{I_0} = \frac{-k'l}{2 \cdot 303} = -kl$$

K = এক্সটিংসন গুণাংক (extinction coefficient)

কোন স্বচ্ছ দ্রাবকে দ্রবীভূত দ্রবণের ক্ষেত্রে বীয়ার লম্বার্টের সমীকরণটি সম্প্রসারণ করেন ঃ

$$\boxed{\log_{10}\frac{I}{I_0} = -\epsilon cl}$$

এটাই ল্যামবার্ট বীয়ার সূত্র নামে পরিচিত।

c = দ্রবণের গাঢ়ত্ব (মোলার)

ϵ = মোলার এক্সটিংসন গুণাংক

Optical Density (আলোকঘনত্ব) বা অবশোষণাংক (absorbance) = D = log (I_0 / I) = ϵcl

8.3 সালোক রসায়নের কয়েকটি নীতি

(1) কেবলমাত্র অবশোষিত আলোকই কোনো সালোক রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটাতে সমর্থ।

(2) সক্রিয়করণ নীতি (Principle of Quantum Activation) বা স্টার্ক-আইনস্টাইন সালোক রাসায়নিক তুল্যমান।

সূত্রটি হল ঃ—

সালোক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অবশোষিত প্রতিটি আলোক কোয়ান্টাম প্রাথমিক ধাপে কেবলমাত্র একটি অণুকে সক্রিয় করে।

এক মোল ফোটনের শক্তি $E_E = N_0 h\gamma = \frac{N_0 hc}{\gamma}$ কে বলা হয় আইনস্টাইন একক।

No = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা

h = প্লাংক ধ্রুবক

γ = অবশোষিত আলোকের কম্পাংক

সবার মান বসিয়ে পাই ঃ

$$E_E = \frac{6 \cdot 02 \times 10^{23} \times 6 \cdot 62 \times 10^{-27} \times 2 \cdot 99 \times 10^{10}}{\gamma \times 4 \cdot 18 \times 10^{7}} \text{cal}$$

$$E_E = \frac{2 \cdot 859}{\gamma} \text{cal}$$

8.4 কোয়ান্টাম উৎপাদন বা কোয়ান্টাম কর্মদক্ষতা (Quantum Yeild or Quantum efficiency) [ϕ]

$$\phi = \frac{\text{কোন প্রদত্ত সময়ে আলোক রসায়নে বিক্রিয়াকারী অণুর সংখ্যা}}{\text{ঐ সময়ে অবশোষিত আলোক কোয়ান্টাম সংখ্যা}}$$

8.5 আলোকসুবেদী পদার্থ (Photo-Sensitizer)

এমন অনেক সালোক রাসায়নিক বিক্রিয়া আছে যেগুলিতে বিক্রিয়াটি নিজে সরাসরি বিকিরণ অবশোষণ করে না। অন্য একটি পদার্থ বিকিরণ অবশোষণ করে ঐ শক্তি বিক্রিয়াটিতে স্থানান্তরিত করে বিক্রিয়াটিকে সক্রিয় করে তোলে। বিকিরণ অবশোষণকারী পদার্থটিকে সালোকসুবেদী পদার্থ ও বিক্রিয়াটিকে সালোক সুবেদী বিক্রিয়া বলা হয়।

সালোক সুবেদী বিক্রিয়ার প্রকৃষ্ট উদাহরণ হল ক্লোরোফিলের উপস্থিতিতে সবুজ উদ্ভিদের CO_2 ও জলের

বিক্রিয়ায় গ্লুকোজ উৎপাদন। প্রক্রিয়াটি জটিল হলেও সহজেই বোঝা যায় যে এই বিক্রিয়ায় ক্লোরোফিল সালোকসুবেদী পদার্থের ভূমিকা গ্রহণ করে।

পারদবাষ্প একটি উত্তম সালোকসুবেদী পদার্থ। এই বাষ্প বিকিরণ অবশোষণ করে H_2-এ স্থানান্তর করে H_2 অণুর বিভাজন ঘটিয়ে H_2 ও CO-এর বিক্রিয়ায় নিম্নলিখিত ভাবে ফর্মালডিহাইড উৎপন্ন করে।

$$Hg + h\gamma \rightarrow Hg^* \quad \text{প্রাথমিক অবশোষণ}$$

$$Hg^* + H_2 \rightarrow 2H + Hg \quad \text{শক্তি স্থানান্তরণ}$$

$$\left.\begin{array}{l} H + CO \rightarrow HCO \\ HCO + H_2 \rightarrow HCHO + H \\ HCO \rightarrow HCHO + CO \end{array}\right\} \text{বিক্রিয়া}$$

$$HCO + HCO \rightarrow \begin{array}{c} H - C = O \\ | \\ H - C = O \end{array}$$

8.6 সালোক বাধক (Photoinhibitor)

যে সকল পদার্থ সালোক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বাধা দেয় বা বিক্রিয়া হারের অবনমন ঘটায়, তাকে সালোক বাধক বলে। যেমন সামান্য পরিমাণ NO বা প্রপিলীন C_3H_6-এর বিক্রিয়ার কোয়ান্টাম উৎপাদ অনেক কমিয়ে দেয়। মনে করা হয় শৃঙ্খলবাহী পরমাণু বা মূলকগুলিকে সরিয়ে ফেলাই এর কাজ।

8.7 রাসায়নিক সংদীপ্তি (Chemical Luminisence)

কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় আলো উৎপন্ন হলে তাকে বলা হয় রাসায়নিক সংদীপ্তি। P ও P_2O_3-র নীল আভা, গ্রীগনার্ড বিকারকের বাতাসে জারণে সবুজ আভা সৃষ্টি এ সবই এর উদাহরণ। লুসিকেরেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে লুসিকেরিন নামে প্রোটিনের বাতাসে জারণের ফলে জোনাকী পোকার আলোর সৃষ্টি হয়। এটিও আলোক সংদীপ্তির উদাহরণ। রাসায়নিক সংদীপ্তিতে কোনো উত্তাপের সৃষ্টি হয় না। তাই এই সংদীপ্তিকে শীতল আলো বলা হয়। রাসায়নিক সংদীপ্তির কারণ হল এই যে এই প্রক্রিয়ায় সৃষ্ট বিক্রিয়াজাত পাদার্থটি উদীপ্ত অবস্থায় থাকে এবং ধীরে ধীরে ভূমিস্তরে নেমে আসে। শক্তিস্তরের অবনমনের ফলে নির্গত শক্তি দৃশ্যমান আলোকরূপে প্রকাশ পায়।

8.8 সালোক ভৌত প্রক্রিয়া (Photophysical Process)

সালোক ভৌত প্রক্রিয়ায় বিকিরণ অবশোষণের ফলে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে না। পদার্থটি যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক অবশোষণ করে পরে সেই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা অন্য তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো বিকিরণ করে।

8.8.1 প্রতিপ্রভা (Fluorescence) :

অনেকগুলো অণু বা পরমাণু আছে যেগুলি কোনো তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো অবশোষণ করে তৎক্ষণাৎ সেই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা তার চেয়ে বড় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো বিকিরণ করে। এই ঘটনাকে বলা হয় প্রতিপ্রভা। আলোক রশ্মির আপাতন বন্ধ হলেই প্রতিপ্রভাও বন্ধ হয়ে যায়। প্রতিপ্রভায় যে বর্ণের আলোকতরঙ্গ নির্গত হয় পদার্থটিকেও সে বর্ণের দেখায়। যেমন দৃশ্যমান আলোক কুইনাইন সালফেটের দ্রবণ নীলাভ প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে এবং ইথার দ্রবণে ক্লোরোফিলের রক্তিম প্রতিপ্রভা দেখা যায়।

প্রতিপ্রভার কারণ বোঝার জন্য অণু ও পরমাণুর শক্তিস্তরগুলি সম্পর্কে সুস্পষ্ট ধারণা থাকা প্রয়োজন। অণুর ক্ষেত্রে ভূমিস্তরসহ প্রতিটি ইলেকট্রনীয় শক্তিস্তরের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট কয়েকটি কম্পনজাত শক্তিস্তর থাকে। প্রতিটি কম্পনজাত শক্তিস্তরের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট কয়েকটি ঘূর্ণনজাত শক্তিস্তরও থাকতে পারে। প্রতিটি স্থায়ী অণুর ভূমিস্তর একপদী। অর্থাৎ অণুটির সব কয়টি আণবিক কক্ষকেই ইলেকট্রন যুগলবদ্ধ অবস্থায় থাকে। আলোক অবশোষণ করে অণুটি যে ইলেকট্রনীয় স্তরে উন্নীত হয় তখন সেটি উপরের স্তরের যে কোনো কম্পনজাত শক্তিস্তরে যেতে পারে। ঐ শক্তিস্তর থেকেই তৎক্ষণাৎ যদি অণুটি নীচের ইলেকট্রনীয় স্তরে নেমে আসে তাহলে অবশোষিত আলো ও বিকীর্ণ আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে কোনোই পার্থক্য থাকে না। এই ধরণের প্রতিপ্রভাকে বলা হয় Resonance Fluorenscence। আর যদি আভ্যন্তরীণ বিকিরণহীন পরিবর্তনে অণুটি উপরের কম্পস্তরের ধাপে কিছুটা নেমে আসে তাহলে নীচের শক্তিস্তর থেকে অণুটির শক্তির ব্যবধান কমে যায়। ফলে অণুটি নীচের শক্তিস্তরে নেমে এলে কম কম্পাংকের বা বেশী তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রশ্মি নির্গত হয়। তাই অণুটি যদি আগে অতিবেগুনী রশ্মি অবশোষণ করে থাকে তাহলে এমন প্রতিপ্রভা হবে দৃশ্যমান অঞ্চলে। এই ধরণের প্রতিপ্রভাকে বলা হয় প্রকৃত প্রতিপ্রভা (True Fluorescence)।

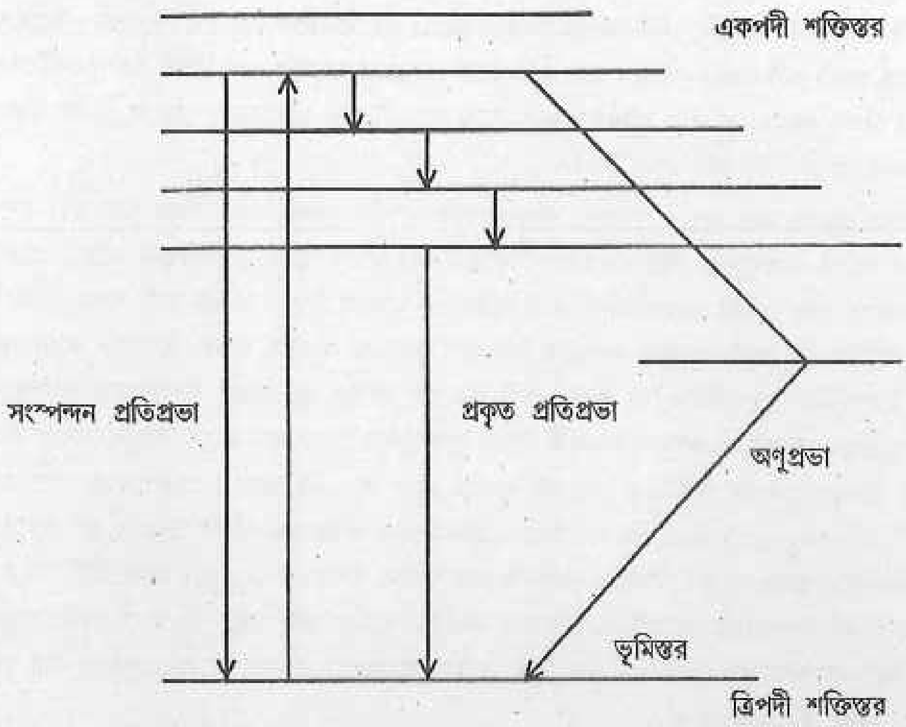
উদ্দীপ্ত অবস্থায় একটি অণু থাকে মাত্র 10^{-5}sec-এর মত। এই সময়ের মধ্যে উদ্দীপ্ত অণুটি যদি কোনো অণুদীপ্ত অণুর সঙ্গে সংঘর্ষে শক্তি হারায় তাহলে আর প্রতিপ্রভা ঘটে না। উদ্দীপ্ত অণুটির এইভাবে শক্তি হারানোর ঘটনাকে বলা হয় নির্বাপণ (quenching)। সুতরাং নির্বাপন এড়ানোর জন্য অনেক সময়েই গ্যাসের ঘনত্ব বা দ্রবণের গাঢ়ত্ব কম হওয়া বাঞ্ছনীয়।

8.9 অণুপ্রভা বা Phosphorescence

কোনো অণু যদি আলো অবশোষণের পরেই আলো বিকিরণ না করে কিছুটা পরে বড় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো বিকিরণ করে তাহলে সেই ঘটনাকে বলা হয় অণুপ্রভা। আলোক উৎস অপসারণের পরও বেশ কিছুক্ষণ অণুপ্রভা বর্তমান থাকে। এজন্য অণুপ্রভাকে অনেকসময় বিলম্বিত প্রতিপ্রভা বলা হয়। অণুপ্রভা সাধারণত ঘটে কঠিনে ও দৃশ্যমান ও অতিবেগুনী আলোকরশ্মির আপাতনে। বেরিয়াম, ক্যালসিয়াম ও স্ট্রনসিয়াম সালফেটে অণুপ্রভা দেখা যায়।

ভূমিস্তর থেকে উদ্দীপ্ত হয়ে একটি অণু যে ইলেকট্রনীয় শক্তিস্তরে যায় সেই স্তর যদি কোনো ত্রিপদী (Triplet) শক্তিস্তর দ্বারা অতিক্রান্ত হয় তাহলে অণুটি ত্রিপদীস্তরে চলে যেতে পারে। কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুযায়ী ত্রিপদী স্তর তেকে একপদী স্তরে অবনমন নিষিদ্ধ। তাই অণুপ্রভার বিকিরণে কিছুটা সময় লাগে এবং

আলোক উৎস সরিয়ে নিলেও অণুপ্রভা থেকে যায়। শক্তিস্তরের ব্যবধান কম হওয়ায় বিকীর্ণ রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যও হয় বেশী।



প্রতিপ্রভা ও অণুপ্রভা

8.10 প্রশ্নাবলি

উদা. 1 একটি বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ 2000A°। নিম্নলিখিত পদগুলির মান নির্ণয় করুন।

(i) কম্পাংক

(ii) তরঙ্গদৈর্ঘ

(iii) প্রতি কোয়ান্টামের শক্তি

(iv) আইনস্টাইন (বিভিন্ন এককে)

উত্তর : (i) কম্পাংক $\upsilon = \frac{c}{\gamma} = \frac{3\times10^{10}}{2000\times10^{-8}} = 1\cdot5\times10^{15}/\text{sec}$

(ii) তরঙ্গসংখ্যা $\upsilon = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{2000\times10^{-8}} = 5\times10^{4}/\text{cm}$

(iii) একটি কোয়ান্টামের শক্তি $h\gamma$

$= 6.62 \times 10^{-27} \times 1.5 \times 10^{15}$

$= 9.93 \times 10^{-12}$ erg

(iv) আইনস্টাইন $= N_0 h\gamma = 6.02 \times 10^{23} \times 9.93 \times 10^{-12}$

$= 5.97 \times 10^{12}$ erg/mol

$$= \frac{5 \cdot 97 \times 12^{12}}{4 \cdot 18 \times 10^{-7}}$$

$= 142,950$ cal/mol

$$= \frac{142950}{23,06 \times 10^{3}} = 6.195 \text{ erg/mol}$$

উদা. 2 2.20 মিনিটে একটি পদার্থ 2×10^{8} টি Photon অবশোষণ করার ফলে পদার্থটির 0.002 মোল বিক্রিয়া করে। বিক্রিয়াটির কোয়ান্টাম উৎপাদ কত?

উত্তর : কোয়ান্টাম উৎপাদ $= \dfrac{0 \cdot 002 \times 6 \cdot 02 \times 10^{23}}{2 \times 10^{8}}$

$= 6.02 \times 10^{12}$

উদা. 3 প্রোপানেলডিহাইডকে 30^{0}C উষ্ণতায় $\lambda = 3020A^{0}$ আলো দ্বারা উদ্দীপ্ত করলে কোয়ান্টাম উৎপাদ (ϕ) হয় 0.54। আপতিত রশ্মির তীব্রতা 15000 erg/sec হলে তাকে আইনস্টাইনে রূপান্তরিত কর এবং উৎপাদিত CO-এর উৎপাদন হার নির্ণয় কর।

$\lambda = 3020A^{0}$

এক আইনস্টাইন $= \dfrac{1 \cdot 196 \times 10^{16}}{3020}$ erg / mole

$$\therefore 15000 \text{ ergs} = \frac{15000 \times 3020}{1 \cdot 196 \times 10^{16}}$$

$= 3.78 \times 10^{-9}$ einstein

$$\phi = 0.54 = \frac{\text{মোল রূপান্তরের সংখ্যা}}{\text{আইনস্টাইনের সংখ্যা}} = \frac{\text{মোল রূপান্তরের সংখ্যা}}{3.78 \times 10^{-9}}$$

$\therefore$ CO-এর উৎপাদন হার $= 0.54 \times 3.78 \times 10^{-9}$

$= 2.04 \times 10^{-9}$ মোল/সেকেণ্ড

একক 9A ☐ কোলয়েড (Colloid)

গঠন

9A.1 প্রস্তাবনা, উদ্দেশ্য

9A.2 কোলয়েডের সংজ্ঞা

9A.3 কোলয়েডের শ্রেণীবিভাগ

9A.4 কোলয়েডের প্রস্তুতি

9A.4.1 কোলয়েডের বিশুদ্ধিকরণ

9A.5 কোলয়েডের ধর্ম

9A.5.1 দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের বিশেষ ধর্ম

9A.6 জেল

9A.7 অবদ্রব বা ইমালসন

9A.8 সংযোজিত কোলয়েড

9A.9 কোলয়েড রসায়নের প্রয়োগ

9B বৃহৎ অণু

9B.1 বৃহৎ অণুর সংজ্ঞা

9B.2 বহুলায়ন বিক্রিয়া

9B.3 ওজনায়িত গড় আণবিক ওজন

9B.3.1 অভিসারক চাপ পদ্ধতি

9B.3.2 বৃহৎ অণুর আণবিক ওজন

9B.3.3 ডোনান সাম্য

9B.3.4 সান্দ্রতা পদ্ধতি

9B.3.5 পরা-অপকেন্দ্রক পদ্ধতি

9B.3.6 পলল গঠন বেগ পদ্ধতি

9B.3.7 পলল গঠন সাম্য

9A.1 প্রস্তাবনা

বিভিন্ন পদার্থের দ্রবণের ব্যাপন সংক্রান্ত পরীক্ষা করার সময় টমাস গ্রাহাম (T. Graham, 1861) লক্ষ্য করলেন যে কিছু কিছু পদার্থ পার্চমেন্ট ঝিল্লীর (membrane) মধ্য দিয়ে সহজে ব্যাপিত হয় এবং উহাদের কেলাসিত অবস্থায় পাওয়া যায়। উদাহরণ স্বরূপ বলা যেতে পারে লবণ, চিনি, ইউরিয়া ইত্যাদি পদার্থ। এই জাতীয় পদার্থের উনি নাম দিলেন কৃস্ট্যালয়েড (Crystalloid)। আর এক জাতীয় পদার্থ পার্চমেন্ট ঝিল্লীর মধ্য দিয়ে অত্যন্ত ধীরে ধীরে প্রবাহিত হয় বা প্রবাহিত হয় না। এই জাতীয় পদার্থ অনিয়তাকার। উদাহরণ হিসাবে বলা যেতে পারে জিলেটিন, অ্যালবুমিন, স্টার্চ, গাম ইত্যাদি পদার্থ। উনি এই জাতীয় পদার্থের নাম দিলেন কোলয়েড (Colloid)। আঠাল প্রকৃতির জন্য তাদের নাম হ'ল কোলয়েড অর্থাৎ আঠা জাতীয় (গ্রীক শব্দে কোলয়েড অর্থ হ'ল আঠাল)।

পরবর্তী কালে গ্রাহাম এবং অন্যান্য বৈজ্ঞানিকরা লক্ষ্য করলেন এই ধরনের শ্রেণীবিভাগ যথার্থ নয়। কারণ অনেক কৃষ্ট্যালয়েড পদার্থকে যেমন সালফার, গ্রাফাইট, ইত্যাদি, কোলয়েড অবস্থায় পাওয়া যায়। আবার এক্স রশ্মির দ্বারা দেখান যায় যে অনেক কোলয়েড, কৃস্ট্যালয়েডের মত। দীর্ঘশৃঙ্খল যুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের সোডিয়াম লবণ, যার সাধারণ নাম সোপ বা সাবান, জলীয় দ্রবণে এটি কোলয়েড কিন্তু অ্যালকোহলে সাবান কৃস্ট্যালয়েডের মত। আসলে শ্রেণীবিভাগের মূল বিষয় হল কণিকার আকার। সুতরাং কোলয়েড কোন বিশেষ শ্রেণীর পদার্থ নয় ওটি একটি বিশেষ অবস্থা মাত্র। সুতরাং কোলয়েড জাতীয় পদার্থ না বলে বলা উচিত পদার্থের কোলয়েড অবস্থা অথবা কোলয়েড সিস্টেম (system)।

উদ্দেশ্য ঃ

বর্তমান অধ্যায়ে আমরা এই কোলয়েড সিস্টেম সম্বন্ধে সম্যক অবহিত হব।
এই অংশটি পড়ে আপনাদের নিচের বিষয়সমূহে অধিগতি জন্মাবে ঃ

- কোলয়েডের সংজ্ঞা ও ধর্ম
- কোলয়েডের প্রস্তুত ও বিশুদ্ধীকরণ
- আভোগেড্রো সংখ্যা নিরূপণ
- তঞ্চন ও তার কৌশল
- কোলয়েডের স্থায়িত্ব ও সংরক্ষণ
- জেল, ইমালসন, সংযোজিত কোলয়েড
- কোলয়েড রসায়নের প্রয়োগ
- বৃহৎ অণুর সংজ্ঞা ও ধর্ম

9A.2 কোলয়েডের সংজ্ঞা

প্রকৃত দ্রবণে যেমন লবণ, চিনি ইত্যাদির দ্রবণে, দ্রাবকণা হ'ল একটি অণু বা আয়ণ। আবার প্রলম্বনে (suspension) দ্রাব কণা সাধারণতঃ অনেক বড়, যা খালি চোখে বা অনুবীক্ষণ যন্ত্রের মাধ্যমে দেখা যায়।

দ্রাব কণার আকার যদি এই দুই প্রকার দ্রবণের দ্রাব কণার আকারের মাঝামাঝি হয় তবে এরূপ দ্রবণ বলা হয় কোলয়েড বা কোলয়েডীয় বিস্তার (Colloidal Dispersion) বা কোলয়েডীয় সিস্টেম (Colloidal system)। সুতরাং কোলয়েড একটি অসমসত্ব মিশ্রণ।

কোলয়েড কণার ব্যাসের নিম্নসীমা প্রায় 5×10^{-7} সেমি অর্থাৎ 5mμ এবং উর্দ্ধসীমা মোটামুটি 2×10^{-5} সেমি. অর্থাৎ 0.2μ (প্রসঙ্গতঃ 1μ (মাইক্রন) = 10^{-6} মি.)। সুতরাং বলা যেতে পারে কোলয়েড কণার আকারের উর্দ্ধসীমা অণুবীক্ষণযন্ত্রে দৃশ্যমান বস্তুর আকারের নিম্নসীমা এবং কোলয়েড কণার আকারের নিম্নসীমা কিছু বৃহৎ অণু জাতীয় পদার্থের যেমন স্টার্চ, প্রোটীন, রবার ইত্যাদির অণুর আকারের সমান। এ সকল অণু অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দৃশ্য না হলেও, পরা-অনুবীক্ষণ যন্ত্রে (Ultramicroscope)-এ দৃশ্য হয়। অবশ্য এই তিন প্রকার দ্রবণের মধ্যে সুস্পষ্টভাবে সীমারেখা নির্দ্ধারণ করা প্রায় অসম্ভব বরং দ্রবণগুলি ক্রমান্বয়িক ভাবে পরিবর্ত্তিত হয় (gradual change)।

কোলয়েডের একটি মুখ্য ধর্ম হ'ল কোলয়েড পৃষ্ঠতল ধর্ম (Surface property) যেমন অধিশোষণ (adsorption), তড়িৎ বিভব (electrical potential) ইত্যাদি বর্তমান। এটার কারণ কোলয়েডে কণাগুলির পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল অনেক বেশী। কোলয়েডের একটি নির্দিষ্ট অংশে কণাগুলির সমগ্র পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল ও কণাগুলি মোট আয়তনের অনুপাত অনেক বেশী। প্রকৃত দ্রবণে দ্রাবকণা ও দ্রাবকের মধ্যে কোন স্পর্শতল (interface) থাকে না কারণ প্রকৃত দ্রবণ একটি এক-দশা-বিশিষ্ট সিস্টেম (one phase system)। সে কারণে পৃষ্ঠতল ধর্ম ঐ দ্রবণে দেখা যায় না। আবার প্রলম্বনে মোট পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল তুলনামূলকভাবে অনেক কম ফলে এই ধরণের ধর্ম প্রলম্বনেও প্রকট নয়।

কোলয়েডে দুটি দশা বর্তমান। যে পদার্থ কণারূপে বর্তমান তাকে বলে বিস্তৃত-দশা (disperse phase) এবং যার মধ্যে ছড়িয়ে থাকে তাকে বলে বিস্তার মাধ্যম (dispersion medium)। কোলয়েডকে বিস্তৃত তন্ত্রও (disperse system) বলা যেতে পারে।

9A.3 কোলয়েডের শ্রেণীবিভাগ

বিভিন্নভাবে কোলয়েডকে শ্রেণীবদ্ধ করা যায়। যেমন ঃ

(ক) বিস্তৃত দশা ও বিস্তার মাধ্যমের অবস্থা (state) অনুযায়ী ঃ

বিস্তৃত দশা	বিস্তার মাধ্যম	কোলয়েডের নাম	উদাহরণ
গ্যাস	তরল	ফেনা (foam)	সাবানের ফেনা
	কঠিন	কঠিন ফোম	পিউমিস পাথর
তরল	গ্যাস	বায়বীয় সল (aerosol)	কুয়াশা, মেঘ
	তরল	অবদ্রব ইমালসন (Emulsion)	দুগ্ধ
	কঠিন	জেল	জেলি, পনির
কঠিন	গ্যাস	বায়বীয় সল	ধোঁয়া
	তরল	সল (sol)	স্বর্ণ সল, প্রোটীন সল
	কঠিন	কঠিন সল	রুবি কাঁচ (Ruby Glass)

প্রসঙ্গতঃ গ্যাস-স্যাস সর্বদাই দ্রবণ। যদি তরল বিস্তার মাধ্যমে বিস্তৃত দশা হলে তুলনামূলকভাবে বড় আকারের কঠিন কণা বিস্তৃত থাকে তবে তাকে বলে প্রলম্বন (suspension)। আবার যদি তরল বিস্তার মাধ্যমে তরল বিস্তৃত দশা থাকে, তখন দ্রবণকে বলে ইমালশন (Emulsion)। এখানেও বিস্তৃত দশার কণার আকার তুলনামূলকভাবে বড়। যদিও এই দু প্রকারের দ্রবণের ধর্ম অনেকটাই কোলয়েডের মত, তাদেরকে বিস্তৃত দশার বড় আকারের জন্য প্রকৃত কোলয়েড বলা হয় না। এখানে মূলতঃ তরল বিস্তার মাধ্যম যুক্ত কোলয়েড যথা সল ও ইমালশন নিয়ে আলোচনা করা হবে।

(খ) বিস্তার মাধ্যম ও বিস্তৃত দশার আসক্তি অনুযায়ী কোলয়েডকে দুভাগে ভাগ করা যেতে পারে — তা হ'ল (১) দ্রাবক-বিদ্বেষী সল (Lyophobic sols) এবং দ্রাবক-আসক্ত সল (Lyophilic sol)। দ্রাবক জল হলে এদের বলা হয় যথাক্রমে হাইড্রোফোবিক ও হাইড্রোফিলিক সল। এরূপ নাম হওয়ার কারণ গ্রীক অর্থে 'লাইয়োফোবিক' শব্দের অর্থ 'তরল বিদ্বেষ' এবং 'লাইয়োফিলি' শব্দের অর্থ 'তরল আসক্ত'। এই দু প্রকার সলের পার্থক্য মোটামুটি নিম্নরূপ ঃ

ধর্ম	দ্রাবক-বিদ্বেষী সল	দ্রাবকাসক্ত সল
1. ঘনত্ব, প্রতিসরাঙ্ক	মিশ্রন সূত্র মেনে চলে	মিশ্রণ সূত্র মানে না
2. সান্দ্রতা, তলটান	দ্রাবকের মত	সান্দ্রতা দ্রাবকাপেক্ষা বেশী, তলটান সাধারণতঃ দ্রাবকাপেক্ষা কম
3. অধঃক্ষেপন বা তঞ্চন	সামান্য তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ সহযোগে বিস্তৃত দশা অধঃক্ষিপ্ত হয় এবং এই অধঃক্ষেপ একমুখী।	সামান্য তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ সহযোগে কোন পরিবর্তন হয় না, বেশী পরিমাণ দিলে অধঃ-ক্ষিপ্ত হয় কিন্তু অধঃক্ষেপন উভমুখী।
4. স্থায়িত্ব	তুলনামূলকভাবে অস্থায়ী	স্থায়ী
5. দৃশ্যমান হওয়ার প্রবণতা	পরা-অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দৃশ্যমান।	পরা-অনুবীক্ষণ যন্ত্রে দৃশ্যমান নয়।
6. তড়িৎ-বিভব প্রয়োগ	তড়িৎ বিভবের প্রয়োগে কণাগুলি একটা নির্দিষ্ট দিকে প্রবাহিত হয়।	তড়িৎ বিভবের প্রয়োগে বিভিন্ন অবস্থায় বিভিন্ন দিকে প্রবাহিত হয় আবার কণা নিস্তড়িৎ অবস্থায় থাকতে পারে।
7. দ্রাবক যোজন (solvation)	দ্রাবক-যোজন সাধারণতঃ থাকে না।	কণাগুলি সর্বদা দ্রাবক-যোজিত থাকে।
উদাহরণ —	ধাতব সল, সালফার সল, সালফাইড সিলভার হ্যালাইড সল।	গাম, স্টার্চ, প্রোটীন প্রভৃতির সল

(গ) বিস্তৃত পদার্থের প্রকৃতি অনুযায়ী শ্রেণীবিভাগ করা যায় — যেমন ঃ—

(১) বিকীর্ণ কোলয়েড (Dispersion Colloid),

(২) সংযোজিত কোলয়েড (Association Colloid),

(৩) আণবিক কোলয়েড (Molecular Colloid)।

বিকীর্ণ কোলয়েড ঃ সাধারণতঃ দ্রাবক-বিদ্বেষী কোলয়েড সকলকে এই শ্রেণীর কোলয়েড বলে। উদাহরণ — স্বর্ণ সল, ফেরিক হাইড্রোক্সাইড কোলয়েড ইত্যাদি।

সংযোজিত কোলয়েড ঃ আণবিক বা আয়ণীয় সংযোজনের ফলে এই শ্রেণীর কোলয়েড গঠিত হয়। যেমন সাবান জল, রঙ ইত্যাদি। কিছু আয়ণ একত্রিত হয়ে আধানযুক্ত কোলয়েডের কণা তৈরী করে। কণাগুলি ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধান যুক্ত হতে পারে। এই কণাগুলিকে বলে 'মিসেল' (micelle)।

সাবান জলে বহু সংখ্যক ঋণাত্মক মিসেল থাকে এবং এর ফলে সাবান জল যুগপৎ তড়িত পরিবাহী ও কোলয়েড গুণসম্পন্ন। এজন্য তাদেরকে বলে কোলয়েডীয় তড়িৎ-বিশ্লেষ্য (colloidal electrolyte) বলে।

আণবিক কোলয়েড ঃ এই জাতীয় কোলয়েডে বিস্তৃত দশার একটি কণা একটি অণু। প্রোটীন সল, স্টার্চ সল এই শ্রেণীর কোলয়েডের উদাহরণ।

9A.4 কোলয়েডের প্রস্তুতি (Preparation of Colloids)

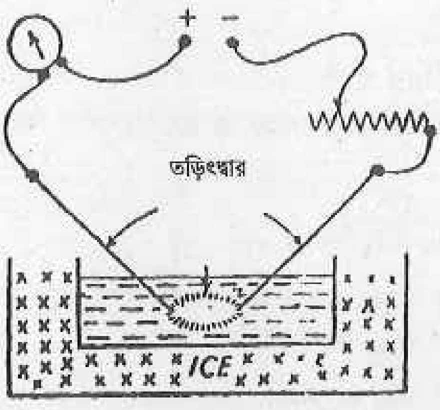
প্রস্তুতি পদ্ধতির ভিত্তিতে কোলয়েডকে দুভাগে ভাগ করা যেতে পারে যথা (১) স্বকীয় কোলয়েড (Intrinsic Colloids) এবং (২) পরকীয় কোলয়েড (Extrinsic Colloids)। অনেক কঠিন পদার্থ উপযুক্ত বিস্তার মাধ্যমের সংস্পর্শে আসলে বা একটু উত্তপ্ত করলে কোলয়েডীয় অবস্থা প্রাপ্ত হয়, যেমন জিলেটিন ও স্টার্চ জলের সংস্পর্শে, রবার বেঞ্জিনের সংস্পর্শে প্রভৃতি স্বকীয় কোলয়েডের উদাহরণ। এধরনের পদার্থে অণুর আকার তুলনামূলকভাবে বড় হয় অথবা অণুগুলি সংযোজিত অবস্থায় অর্থাৎ মিসেলের মাধ্যমে কোলয়েডীয় অবস্থা প্রাপ্ত হয়। অপেক্ষাকৃত কম আণবিক ওজন বিশিষ্ট ও অদ্রবণীয় পদার্থ বিশেষ অবস্থায় পরকীয় কোলয়েড তৈরী করে। এ ধরণের কোলয়েড সাধারণতঃ দ্রাবক-বিদ্বেষী কোলয়েড হয় ও দুই ভাবে তৈরী করা হয়, যথা বিকিরণ প্রণালী (Dispersion Method) ও সংজনন প্রণালী (Condensation Method)।

বিকিরণ প্রণালী — এই পদ্ধতি দুই ভাগে ভাগ করা যেতে পারে। যথা **যান্ত্রিক পদ্ধতি** ও **অপসরণ বা পেপটাইজেশন পদ্ধতি (peptisation)**। যান্ত্রিক পদ্ধতিতে পদার্থটিকে যথাসম্ভব গুড়া করা হয়। চূর্ণ পদার্থের সঙ্গে বিস্তার মাধ্যম মিশিয়ে একটি প্রলম্বন তৈরী করা হয়। এই প্রলম্বনটিকে একটি কোলয়েড মিলের মধ্যে পাঠান হয় যেখানে প্রায় পরস্পর স্পর্শকারী দুটি ধাতব চাকৃতি প্রবলভাবে পরস্পরের বিপরীত দিকে ঘোরে। প্রলম্বিত পদার্থ এই দুই চাকৃতির মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে কোলয়েড কণার আকারে বেরিয়ে আসে এবং কোলয়েড অবস্থা প্রাপ্ত হয়।

অপসরন পদ্ধতিতে কোন পদার্থকে অপর একটি পদার্থের সাহায্যে কোলয়েডে পরিণত করা হয়। যে পদার্থ কোলয়েড তৈরী করতে ব্যবহৃত হয় তাকে বলে অপসরন কারক বা পেপটাইজিং এজেন্ট (Peptising Agent)। এই ঘটনা সাধারণতঃ তঞ্চনের (Coagulation) বিপরীত। সদ্য প্রস্তুত ফেরিক-হাইড্রক্সাইডের অধঃক্ষেপের

সঙ্গে জল ও অল্প পরিমাণ ফেরিক-ক্লোরাইড দ্রবণ মিশিয়ে দ্রুত ঝাঁকালে গাঢ় বাদামী রঙের সল পাওয়া যায়। কপার ফেরোসায়ানাইডের $\{Cu_2[Fe(CN)_6]\}$ সদ্য প্রস্তুত অধঃক্ষেপকে পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইডের অতি লঘু দ্রবণ সহযোগে নাড়ালে কপার-ফেরোসায়ানাইডের সল পাওয়া যায়। সাধারণতঃ কোলয়েড প্রস্তুতকারী পদার্থের কোন আয়নের সঙ্গে যদি তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের একটি আয়ন সাধারণ হয়, তখন কম গাঢ়ত্বে সেই তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ অপসরণ কারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। এই কারণে ক্ষারীয় হাইড্রোক্সাইড ধাতব অক্সাইডকে, হাইড্রোজেন সালফাইড ধাতব সালফাইডকে এবং ক্লোরাইড আয়ন সদ্য অধঃক্ষিপ্ত সিলভার ক্লোরাইডকে অপসারিত করে।

সংজনন প্রণালী — এই পদ্ধতি বিভিন্ন ভাবে হতে পারে, যেমন তরল মধ্যে বাষ্পের ঘনীভবন বা ব্রেডিগ প্রণালী, দ্রাবক বিনিময় (Exchange of solvent) ও রাসায়নিক প্রণালী।



চিত্র—1 ঃ ব্রেডিগ প্রণালী

ব্রেডিগ প্রণালী — কঠিন ধাতুর দুই তারের মধ্যে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করে, ধাতুকে বাষ্পে পরিণত করা হয় এবং এই বাষ্পকে উপযুক্ত স্থায়িত্ব কালে পদার্থের উপস্থিতিতে শীতল জলে প্রবাহিত করে ধাতব সল তৈরী করা হয়। এইভাবে ব্রেডিগ বহু ধাতুর কোলয়েড তৈরী করেন বলে একে ব্রেডিগ প্রণালী (Bredig Method) বলে।

যে ধাতুর কোলয়েড তৈরী করা হবে তার দুটি তড়িৎদ্বার লওয়া হয়। তড়িৎদ্বার দুটির এক প্রান্ত ব্যাটারীর সঙ্গে এবং অপর প্রান্ত দুটি শীতল জলে নিমজ্জিত থাকে। এখন তড়িৎ প্রবাহ সহযোগে তড়িৎদ্বার দুটির নিমজ্জিত অংশ পরস্পরের কাছাকাছি এনে তড়িৎস্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করা হয় (চিত্র—1)। স্থায়িত্ব কারক পদার্থ হিসাবে অতি সামান্য পরিমাণ KOH দ্রবণ থাকে। কিছুক্ষণ তড়িৎস্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করলে যে সামান্য ধাতব বাষ্প উৎপন্ন হয় তা শীতল জলে ঘনীভূত হয়ে ধাতব কোলয়েড সৃষ্টি করে। এভাবে সোনা, রূপা, প্ল্যাটিনাম, কপার ইত্যাদির সল প্রস্তুত করা হয়।

ধাতব এবং অধাতব সল এই ভাবে তৈরী করার জন্য এই পদ্ধতিকে পরিবর্তন করা হয়। পরিবর্তিত (modified) পদ্ধতিতে তড়িৎদ্বার লওয়া হয় আয়রণ বা এ্যালুমিনিয়াম যাদের কোন বিভাজন হয় না এবং যার কোলয়েড তৈরী করা হবে তাকে গুড়ো অবস্থায় বা পাত (foil) আকারে বিস্তার মাধ্যমে নেওয়া হয়। তড়িৎস্ফুলিঙ্গ তৈরী করে ঐ পদার্থের সল তৈরী করা হয়।

দ্রাবক-বিনিময় পদ্ধতি — এই পদ্ধতিতে গন্ধক, ফসফরাস, রেজিন প্রভৃতি জলে অদ্রবণীয় পদার্থে অ্যালকোহলীয় দ্রবণ অধিক জলে ঢেলে সল তৈরী করা হয়।

রাসায়নিক প্রণালী — নানা রকমের রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে কোলয়েড তৈরী করা হয়, যেমন —

(ক) বিভাজন (Decomposition) — গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্যে $Na_2S_2O_3$ (সোডিয়াম থায়োসালফেটের) গাঢ় দ্রবণ ফোঁটা ফোঁটা করে ঢাললে S-এর অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। এই অধঃক্ষেপকে জলে পুনঃ পুনঃ ধৌত করলে S-এর সল পাওয়া যায়।

$$Na_2S_2O_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + H_2O + SO_2 + S$$

(খ) বিপরিবর্ত প্রক্রিয়া (Double decomposition) — সম্পৃক্ত আরসেনিয়াম অক্সাইডের জলীয় দ্রবণে ক্রমাগত H_2S গ্যাস প্রবাহিত করলে কমলা রঙের আরসেনিয়াম সল পাওয়া যায়। অবশ্য এই সলকে স্থায়ী করার জন্য অতিরিক্ত H_2S কে H_2 গ্যাস সহযোগে তাড়ান হয়।

$$As_2O_3 + 3H_2S \rightarrow As_2S_3 + 3H_2O$$

সোডিয়াম সিলিকেটের জলীয় লঘু দ্রবণে মাঝারি গাঢ়ত্বের HCl দ্রবণ যোগ করলে সিলিকা সল পাওয়া যায়। অতিরিক্ত HCl ও উৎপন্ন NaCl কে তাড়ান হয় সল স্থায়ী করার জন্য।

$$Na_2SiO_3 + 2HCl = 2NaCl + H_2SiO_3$$

এই সলকে ঠাণ্ডা করলে যে অর্ধকঠিন পদার্থ পাওয়া যায় তাকে 'সিলিকা-জেল' বলে।

(গ) জারণ প্রক্রিয়া (Oxidation) — HNO_3 এর লঘু দ্রবণের মধ্যে H_2S গ্যাস প্রবাহিত করে, দুধের মত সাদা S সল তৈরী করা হয়।

$$H_2S + [O] \rightleftharpoons H_2O + S$$

(ঘ) বিজারণ প্রক্রিয়া (Reduction) — গোল্ড ক্লোরাইড বা হাইড্রোক্লোরাইড কে HCHO দ্বারা বিজারিত করে লাল রঙের গোল্ড সল তৈরী করা হয়।

$$AuCl_3 \text{ (অথবা } HAuCl_4) \xrightarrow{HCHO} Au$$

(ঙ) আর্দ্র-বিশ্লেষণ (Hydrolysis) প্রক্রিয়া — অনবরত নাড়তে নাড়তে এক বীকার ফুটন্ত জলে কয়েক ফোঁটা $FeCl_3$-এর দ্রবণ ধীরে ধীরে ঢেলে লাল রঙের $Fe(OH)_3$ সল তৈরী করা হয়।

$$FeCl_3 + 3H_2O = Fe(OH)_3 + 3HCl$$

স্থায়ী করার জন্য অতিরিক্ত $FeCl_3$ ও উৎপন্ন HCl কে বিতাড়িত করা হয়।

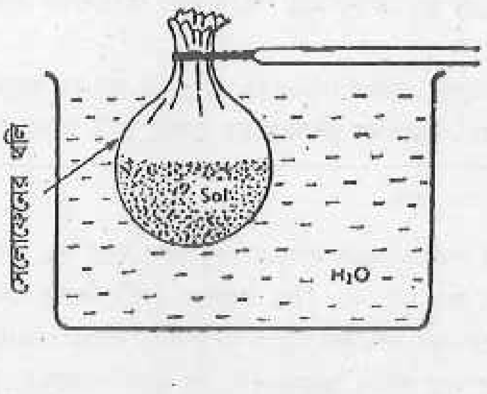
রাসায়নিক প্রণালীর মূলনীতি হ'ল প্রকৃত দ্রবণের দ্রাবকে অন্য পদার্থের উপস্থিতিতে রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে কোলয়েড উৎপন্নকারী পদার্থে পরিণত করা এবং উপযুক্ত অবস্থায় কোলয়েড তৈরী করা।

9A.4.1 কোলয়েডের বিশুদ্ধীকরণ (Purification of Colloids)

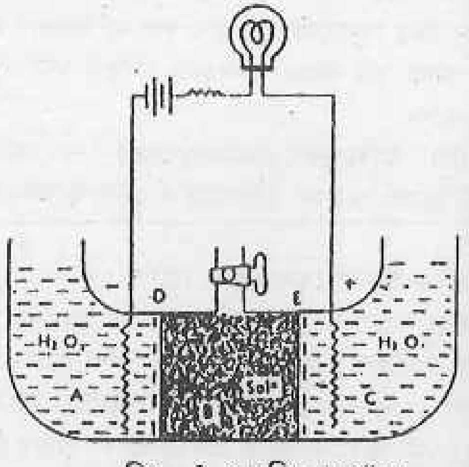
প্রধানতঃ দুইভাবে কোলয়েডকে বিশুদ্ধ করা হয় যথা অপোহন বা ঝিল্লী-বিশ্লেষণ (Dialysis) এবং পরা-পরিস্রাবণ (Ultra-filtration)।

অপোহন — এই পদ্ধতির মূলনীতি হ'ল, কোলয়েড কণার আকার বড় হওয়ায়, পার্চমেন্ট কাগজের (Parchment Paper) মধ্য দিয়ে প্রকৃত দ্রবণের দ্রাব সহজেই ব্যাপিত হয় কিন্তু কোলয়েড কণা ব্যাপিত হতে পারে না। পার্চমেন্ট কাগজের সাহায্যে এরূপভাবে কোলয়েড কণাকে প্রকৃত দ্রবণের দ্রাব বা কৃস্ট্যালয়েড হতে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় পৃথক করার নাম অপোহন বা 'ঝিল্লী-বিশ্লেষণ' বলে। যার দ্বারা এই প্রক্রিয়া সাধিত হয় তার নাম অপোহক (dialyser)। এই প্রসঙ্গে মনে রাখা প্রয়োজন যে অপোহকের বিভিন্ন আকারের কণার পৃথক করার কারণ একমাত্র কণার ভেদ্যতা নয়। বরং এটা ব্যাখ্যা করা যেতে পারে এভাবে যে বড় কণাগুলির ব্যাপন হার, ক্ষুদ্র কণাগুলির ব্যাপন হার অপেক্ষা তুলনামূলক ভাবে কম।

বিভিন্ন অপোহন প্রয়োগ করা হয়। পার্চমেন্ট কাগজ ছাড়াও, সেলোফেন, সেলুলোস নাইট্রেট (Cellulose Nitrate) এবং সেলুলোজ অ্যাসিটেটের (cellulose accetrate) ঝিল্লী (membrane) ব্যবহার করা হয়। এগুলি সাধারণতঃ লম্বা টিউব (tube) যা থলের আকারে নেওয়া হয়।



চিত্র—2 : অপোহন



চিত্র—3 : তড়িৎ অপোহন

অবিশুদ্ধ সলকে সেলোফেন ব্যাগে নিয়ে জলের মধ্যে ডুবিয়ে রাখা হয় (চিত্র—2)। ঘন ঘন জল পরিবর্তন করে সলকে বিশুদ্ধ করা হয়। অপদ্রব্য (impurities) তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থ হলে সলের দুইধারে দুটি তড়িৎ-দ্বারের মাধ্যমে তড়িৎ প্রবাহ করলে, খুব কম সময়েই সল বিশুদ্ধ হয় (চিত্র—3)। এই প্রক্রিয়াকে বলে তাড়িত অপোহন (electrodialyser)। এই প্রক্রিয়ায়, অপদ্রব্য তড়িৎ অবিশ্লেষ্য হলে যেমন চিনি, ইউরিয়া ইত্যাদি, কোন লাভ হবে না।

পরা-পরিস্রাবণ — এই পদ্ধতি প্রথম প্রয়োগ করেন H. Bechhold, 1907-এ। খুব ভালো ফিল্টার কাগজও কোলয়েড কণা ধরে রাখতে পারে না। ফিল্টার কাগজের ছিদ্র আরোও সূক্ষ্ম করা হয় 'কলোডিয়ন'-এর সাহায্যে। ফিল্টার কাগজ বা ছিদ্রযুক্ত পোর্থেলিনের উপর 'কলোডিয়ান' লেপে কলোডিয়ন ঝিল্লী (Collodian membrane) তৈরী করা হয়। চাপ প্রয়োগে সলের মধ্যে বর্তমান অপদ্রব্য ঝিল্লীর মধ্য দিয়ে বেরিয়ে যায় এবং ঝিল্লীর ছিদ্রের ব্যাস অনুযায়ী কলোয়েডের বড় কণা ছোট কণা থেকে পৃথক হয়।

9A.5 কোলয়েডের ধর্ম

সাধারণ ভৌত ধর্ম —

(i) রঙ — কোন কোন কোলয়েডের কণা আলো প্রকীর্ণন (scattering of lights) করতে সক্ষম। সেই জন্য অনেক কোলয়েড রঙীন। আবার কণার আকার ও প্রকৃতির উপর কোলয়েডের রঙ নির্ভর করে। যেমন, স্বর্ণ-সলের রঙ আকার বৃদ্ধির সঙ্গে লাল থেকে নীলে পরিবর্তিত হয়।

(ii) ঘনত্ব (density), সান্দ্রতা (viscosity), অভিসরণ (refractive index) ইত্যাদি — দ্রাবক-বিদ্বেষী সলের ক্ষেত্রে এই সকল ধর্ম মিশ্রণ-সূত্র (law of mixture) মেনে চলে। অর্থাৎ কোলয়েডের ধর্মটি বিস্তার মাধ্যম ও বিস্তৃত দশার নিজ নিজ ধর্মের পরিমাণের যোগফল। দ্রাবকাসক্ত সলের ক্ষেত্রে এই সকল ধর্ম মিশ্রণসূত্র মানে না।

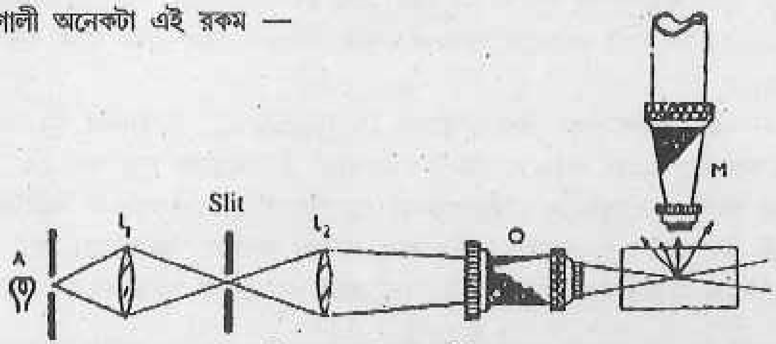
(iii) অভিসারক চাপ ও আণবিক গুরুত্ব (osmotic pressure & molecular weight) — কোলয়েডের অভিসারক চাপ কম এবং সে কারণে আণবিক ওজন বেশী। অভিসারক চাপ একটি সংখ্যাগত ধর্ম এবং এই কারণে অভিসারক চাপ নির্ভর করে কণার সংখ্যার উপর। সাধারণ দ্রবণে কণা হচ্ছে অণু বা আয়ণ কিন্তু কোলয়েডে তা হ'ল অণু বা আয়নের সমষ্টি। ফলে একই পরিমাণ কোন পদার্থ দ্রবীভূত অবস্থায় যত কণার সৃষ্টি করবে, কোলয়েড অবস্থায় তার থেকে অনেক কম কণার সৃষ্টি করবে এবং অভিসারক চাপ কম হবে।

(iv) অধিশোষণ (adsorption) — অধিশোষণ একটি তলধর্ম (surface property)। কণার মোট তলের ক্ষেত্রফল কোলয়েড অবস্থায় অনেক বেশী বলে, অধিশোষণ কোলয়েডের ক্ষেত্রে খুবই গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা।

দ্রাবক-বিদ্বেষী কোলয়েডের বিশেষ ধর্ম —

(ক) আলো সংক্রান্ত ধর্ম (optical properties) ঃ সল কণাগুলি সাধারণ অনুবীক্ষণ যন্ত্রে দৃশ্য নয়, কারণ অণুবীক্ষণ যন্ত্রে 0.2μ ব্যাসযুক্ত কণা অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর কণা দৃশ্য নয়। কিন্তু আলোর একটি বিশেষ ধর্ম, প্রকীর্ণন (scattering) ঘটনার মাধ্যমে সলকণা দৃশ্য হতে পারে। সল কণা দৃশ্য আলো অবশোষিত (absorbed) করে এবং পরে আলোকে প্রকীর্ণ করে। সাধারণ অণুবীক্ষণ যন্ত্রে প্রকীর্ণ আলো দৃশ্য হয় এবং পরোক্ষভাবে সল কণার অস্তিত্ব বোঝা যায়। সল কণা দ্বারা আলোর এই প্রকীর্ণনকে টিণ্ড্যাল ঘটনা বা প্রভাব Tyndall effect) বলে। টিণ্ড্যাল ঘটনা দ্বারা 5 থেকে 10μ ব্যাসযুক্ত কণার অস্তিত্ব বোঝা যায়।

টিণ্ড্যাল ঘটনার উপর ভিত্তি করে সমকণাগুলিকে দৃষ্টিগোচর করার জন্য H. Siedentopf এবং R. Zsigmondy 1903 সালে একটি যন্ত্র, পরা-অণুবীক্ষণ যন্ত্র (ultramicroscope) আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রের কার্যপ্রণালী অনেকটা এই রকম —



চিত্র—4 পরা-অণুবীক্ষণ যন্ত্র

একটি কালো পর্দার উপর একটি কাঁচের পাত্রে সল লওয়া হয়। পাত্রটির উপর খাড়াভাবে একটি সাধারণ অণুবীক্ষণ যন্ত্র থাকে। একটি শক্তিশালী রশ্মিকে আনুভূমিক ভাবে লেন্সের মধ্য দিয়ে চালনা করে সমান্তরাল বা সামান্য অভিসারী রশ্মিতে পরিবর্তিত করে সলের মধ্যে পাঠান হয়। সলকণা ঐ রশ্মিকে প্রকীর্ণ (scatter) করে এবং ঐ প্রকীর্ণ রশ্মির একটি অংশ সরাসরি উলম্বভাবে রক্ষিত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে প্রবেশ করে। অণুবীক্ষণ যন্ত্রে আলোর সচল বিন্দু দেখা যায়। ফলে সলকণাকে একটি জোনাকির মত দেখা যায়। এভাবে কণার রূপ বা আকৃতি না বোঝা গেলেও, সলকণার অস্তিত্ব বোঝা যায়। এ থেকে এটাও প্রমাণিত হয় যে সল এক অসমসত্ত্ব সিস্টেম। এ প্রসঙ্গে এটা মনে রাখা প্রয়োজন যে টিণ্ড্যাল ঘটনার জন্য প্রয়োজনীয় শর্ত হ'ল, বিস্তার মাধ্যম ও বিস্তৃত দশার প্রতিসরাঙ্কের বিভিন্নতা। দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের ক্ষেত্রে বিস্তার মাধ্যম ও বিস্তৃত দশার প্রতিসরাঙ্কের পার্থক্য যথেষ্ট নয় ফলে টিণ্ড্যাল ঘটনা খুব প্রকট নয়।

(ক) গতীয় ধর্ম **(Kinetic property)** ঃ

1827 সালে স্যার রবার্ট ব্রাউন (Sir Robert Brown) অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে লক্ষ্য করেন যে জলে ভাসমান ফুলরেণু অবিরাম ও এলোমেলোভাবে বিভিন্ন দিকে ঘুরে বেড়ায়। আদর্শ গ্যাসের ক্রান্তিতত্ত্বের শর্ত অনুযায়ী অণুর যেভাবে বিচরণ করা উচিৎ অনেকটা সেভাবেই ফুলরেণুগুলি বিচলণ করে। এইরূপ অবিন্যস্ত বিচলনের নাম ব্রাউনীয় বিচলন বা গতি। এই ধরনের বিচলন প্রলম্বিত অবস্থায় যে কোন প্রকার ক্ষুদ্রবস্তুর ক্ষেত্রে দেখা যায় এবং এই বিচলন প্রলম্বিত বস্তুর বা বিস্তার মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। মাধ্যমের সান্দ্রতা বাড়ালে এই ধরনের বিচলন বাধাপ্রাপ্ত হয়।

এই ধরনের বিচলনের ব্যাখ্যা দেন প্রথমে সি. ওয়াইনার (C. Wiener, 1863) এবং পরে ডব্লিউ. রামসে (W. Ramsey, 1879) ও জি. গই (G. Govy, 1888)। মাধ্যমের অণুগুলি অবিরাম নানা দিক থেকে প্রলম্বিত বস্তুকে ধাক্কা মারে এবং এই ধাক্কা চারিদিক থেকে সুষম না হওয়ায়, বস্তুটি বিশেষ এক দিকে ধাবিত হয় এবং পর মুহূর্তে ধাক্কার ফলে আবার দিক পরিবর্তন করে। সুতরাং প্রলম্বিত বস্তুর অবিরাম ও এলোমেলো ভাবে বিচলন আসলে মাধ্যমের অণুগুলির অবিরাম ও এলোমেলো বিচলনের বহিঃপ্রকাশ। যদিও মাধ্যমের অণুগুলি দৃশ্য নয়, কিন্তু তাদের বিচলনের কারণে অপেক্ষাকৃত বৃহৎ বস্তুর বিচলন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দৃশ্য হয়। কোলয়েডের কণা ক্ষুদ্র হওয়ায় কোলয়েডের বিশেষতঃ দ্রাবক বিদ্বেষী কোলয়েডের কণাগুলির এইরূপ বিচলন করে যা পরা-অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দৃশ্য হয়।

এই ধরনের বিচলনের উপর ভিত্তি করে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা নির্ণয় করা সম্ভব।

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা নিরূপণ —

জে. পেরাঁ (J. Perrin, 1908) এই বিষয়ে গবেষণা করেন এবং মূলতত্ত্ব নির্দেশ করেন। এটা ধরে নেওয়া হয়, ব্রাউনীয় গতি, তরল এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে সমানভাবে প্রযোজ্য। সমব্যাসযুক্ত একটি উলম্ব দীর্ঘ নলে গ্যাস লওয়া হয়। ধরা যাক গ্যাসে একমাত্র অভিকর্ষজ বল কাজ করছে এবং অণুগুলি সাম্যাবস্থায় রয়েছে। চোঙের তলা থেকে n দূরত্বে ধরা যাক গ্যাসের চাপ P এবং h + dh দূরত্বে তা হল P-dp। গ্যাসের চাপের ন্যায় উচ্চতা যত বাড়বে চাপ তত কমবে। এখন যেহেতু সাম্যাবস্থা বর্তমান, সুতরাং dh দূরত্বে দুটি স্তরের চাপের ব্যবধান, যা ঊর্ধ্বমুখী, দুটি স্তরের অন্তবর্তি অণুগুলির নিম্নমুখী অভিকর্ষজ বলের সঙ্গে সমান হবে।

চোঙের ক্ষেত্রফল (cross-section) a এবং h দূরত্বে, যেখানে গ্যাসের চাপ P, গ্যাসের ঘনত্ব ρ হলে, ঊর্ধ্বমুখী বল = adp। আবার নিম্নমুখী বল = $(adn)\rho g$ যেখানে g হল অভিকর্ষজ ত্বরণ।

সুতরাং, $-adp = a\rho gdh$ ....(1)

যেহেতু দূরত্ব বাড়লে চাপ কমবে সেকারণে এই সমীকরণে (1) ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহার করা হয়েছে।

$\therefore -dp = \rho gdh$

আবার, আদর্শ গ্যাসে এক মোলের গতিশক্তি (kinetic energy) $(E_k) = \frac{3}{2}PV$ যেখানে চাপ = P এবং আয়তন = V। আবার গ্যাসের অণুটির ওজন M হলে, $\rho = M/V = \dfrac{M}{\frac{2E_K}{3P}} = \dfrac{3PM}{2E_K}$

$$\therefore -dp = \frac{3MPg}{2E_K}dh$$

অর্থাৎ $-\frac{dp}{P} = \frac{3Mg}{2E_K}dh$ ....(2)

এখন ধরা যাক ইচ্ছামত কোন একটি স্তরকে শূন্য স্তর ধরা হ'ল অর্থাৎ γ স্তরে $h = 0$ এবং চাপ $= P_0$। γ স্তর থেকে h দূরত্বে কোন স্তরে চাপ P। এই সীমার মধ্যে (2) নং সমীকরণকে সমাকলন করে পাওয়া যায় —

$$\ln\frac{P_0}{P} = \frac{3Mgh}{2E_K} \quad ....(3)$$

এখন যেহেতু গ্যাসের চাপ একক আয়তনে অণুর সংখ্যা, n-এর সমানুপাতিক সুতরাং (3) নং সমীকরণ হতে পাওয়া যায়,

$$\ln\frac{n_0}{n} = \frac{3Mgh}{2E_K} \quad ....(4)$$

এখানে n_0 = শূন্য স্তরে (h20) একক আয়তনে অণুর সংখ্যা এবং n = h দূরত্বের স্তরের একক আয়তনের অণুর সংখ্যা।

এই সমীকরণ h দূরত্বে অবস্থিত যে কোন দুটি স্তরের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য যেখানে n_0 ও n স্তর দুটিতে একক আয়তনে অণুর সংখ্যা নির্দেশ করবে।

অভিকর্ষজ বলের প্রভাবে আদর্শ গ্যাসের অণুর বন্টন এই সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়। এই সূত্র কে ব্যারোমেট্রিক সূত্র (Barometric Law) বলে। পেরিন অনুমান করেন যে এই বন্টন সূত্র এরূপ প্রলম্বিত আণুবীক্ষনিক কণার ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য হবে। এই অনুমান অমূলক নয় কারণ যদি আণুবীক্ষণিক কণাসকলকে (ক) স্থিতিস্থাপক গোলকাকার কণা, (খ) নগণ্য আয়তন বিশিষ্ট ও (গ) পারস্পরিক আকর্ষণহীন বলে ধরে নেওয়া হয়, তবে জাত্তিতত্ত্বের সাহায্যে এই সকল কণার ক্ষেত্রে অনুরূপ সমীকরণ নির্ণয় সম্ভব। সুতরাং কোলয়েডের কণার ক্ষেত্রে এই বন্টন সূত্র প্রয়োগ করা যেতে পারে।

তবে এই ক্ষেত্রে প্লবতা হেতু চাপের পরিবর্তন বিবেচনা করতে হবে। এই কারণে, এক মোল অণুর উপর অভিকর্ষজ বল, $Mg = Nmg\ (1- \frac{\rho}{\rho/\rho'})$ ....(5) হবে। এখানে N = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, m = একটি কণার ভর, ρ ও ρ' যথাক্রমে কণা ও বিস্তার মাধ্যমের ঘনত্ব। কোলয়েডে এক মোল কণার গতিশক্তি বিবেচনা করতে হবে। ম্যাক্সওয়েলের (Maxwell)-এর শক্তি বন্টনসূত্র অনুযায়ী, কোন অণুর গড় গতি শক্তি হ'ল $\frac{1}{2}mC^2$, যেখানে C = গড় বর্গবেগের মূল বেগ (Root mean squor velocity) এবং এই গতিশক্তি একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় স্থির। এর মান অণুর আকারের উপর নির্ভর করে না। এই কারণে পেরিন অনুমান করেন যে এই সূত্র কোলয়েডের কণার বা আণুবীক্ষণিক কণার ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য হবে। প্রলম্বিত কণা যেহেতু বিস্তার মাধ্যমের অণুর বিচলনের বহিঃপ্রকাশ সুতরাং প্রলম্বিত কণাকে একটি বৃহৎ অণু হিসাবে ভাবা যেতে পারে। সুতরাং প্রলম্বিত কণার গতিশক্তি পারিপার্শিক অণুগুলির গড় গতিশক্তি সমান হবে। সুতরাং কোলয়েডের ক্ষেত্রে, $E_K = \frac{3}{2}RT$..........(6) লেখা যেতে পারে।

অতএব (4), (5) ও (6) নং সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়,

$\ln\frac{n_0}{n} = \frac{Nmgh}{RT}\left(1-\frac{\rho'}{\rho}\right)$ ....(7) এই সমীকরণে n_0 ও n হ'ল উলম্ব দূরত্ব, h এর ব্যবধান দুটি স্তরে একক আয়তনে কণার সংখ্যা।

এখন কণার ব্যাসার্ধ r হলে, কণার (গোলাকার ধরে) আয়তন $= \frac{4}{3}\pi r^3$। সুতরাং কণার ভর $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$................(8) যেখানে ρ = কণার ঘনত্ব।

সুতরাং (7) ও (8) নং সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়—

$$\frac{RT}{N} \ln\frac{n_0}{n} = \frac{4}{3}\pi r^3 gh(\rho - \rho') \quad ....(9)$$

এই সমীকরণ (9) থেকে দেখা যাচ্ছে অভিকর্ষজ বলের প্রভাবে সাম্যাবস্থায় প্রলম্বনের দুটি স্তরের কণার অনুপাত, কণার ব্যাসার্দ্ধ ও ঘনত্ব জানা গেলে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা নিরূপণ সম্ভব। J. Perrin অজ্ঞাত রাশি নির্ণয় করেন এবং অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার মান নির্ণয় করেন। পেরিন 'গাম্বুজের' প্রলম্বন নিয়ে পরীক্ষা করেন। কণাগুলি সমান আকারের লওয়া হয়।

কণার ঘনত্ব —

প্রলম্বনের একটি নির্দিষ্ট ওজনের (W) অংশকে 110^0 উত্তপ্ত করা হয় যতক্ষণ না স্থির ওজন (W_p) পাওয়া যায়। সুতরাং γ প্রলম্বনে জলের ওজন $(W - W_p)$। এখন জল ও প্রলম্বনের ঘনত্ব যথাক্রমে (d_0) ও (d_1) নিরূপণ করা হয়। যদি ধরে নেওয়া হয় প্রলম্বন তৈরীর সময় পদার্থের ও জলের মোট আয়তন = প্রলম্বনের আয়তন, সেক্ষেত্রে লেখা যেতে পারে,

$$\frac{W - W_0}{d_0} + \frac{W_p}{\rho} = \frac{W}{d_1} \quad ....(10)$$

জলের আয়তন	পদার্থের আয়তন	প্রলম্বনের আয়তন

সমস্ত রাশি জেনে, পদার্থের ঘণত্ব (ρ) বের করা সম্ভব (10) নং সমীকরণ থেকে।

কণার ব্যাসার্থ —

প্রথমে প্রলম্বনকে ভালোভাবে ঝাঁকান হয় যাতে কণাগুলি সমভাবে বন্টিত হয়। এখন γ প্রলম্বনকে স্থির ভাবে রেখে দিলে অভিকর্ষজ বলের ফলে উপরের পৃষ্ঠতল সংলগ্ন স্তরের কণাগুলি নীচের দিকে আকর্ষিত হবে এবং এই কারণে উপরের স্তরগুলি স্বচ্ছ হতে থাকবে যতক্ষণ না সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হয়। স্টোরাস সূত্র অনুযায়ী γ সময় কণার উপর অভিকর্ষজ বল এবং বিপরীতমুখী সান্দ্রতা জনিত বল সমান হবে। যদি স্বচ্ছ হওয়ায় সময় কণা u সমবেগে নীচের দিকে ধাবিত হয়, মাধ্যমের সান্দ্রতাংক η এবং কণার ব্যাসার্দ্ধ 'r' হলে লেখা যেতে পারে,

$$6\pi\eta r u = 4/3 \ \pi r^3 (\rho - \rho')g \quad ....(11)$$

ρ হচ্ছে কণার ঘণত্ব যা নিরূপিত হয়েছে এবং ρ' হচ্ছে বিস্তার মাধ্যমের ঘণত্ব।

স্বচ্ছ হওয়ায় সময় কণার বেগ u মেপে ও অন্যান্য রাশিগুলি জেনে কণার ব্যাসার্দ্ধ (11) নং সমীকরণ থেকে সহজেই জানা যায়।

দুটি স্তরে কণার ঘনত্বের অনুপাত —

অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কণার সংখ্যা বিশেষভাবে মাপা হয়। একটি ক্ষুদ্র ছিদ্রযুক্ত অস্বচ্ছ চাকতি অণুবীক্ষণযন্ত্রের 'ফোকস' তলে রাখা হয়। এর ফলে 5 থেকে 6টি কণা একসময়ে দৃশ্য হয়। এই অবস্থায় একটি নির্দিষ্ট স্তরে কণার সংখ্যা অন্ততঃ 200 বার গোণা হয়। একইভাবে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে আবার একটি স্তরে কণার সংখ্যা 200 বার গোণা হয়। এটা করা হয় কারণ কণার অনবরত ছোটাছুটির ফলে একবারে কণার সংখ্যা গোণা অসম্ভব। এখন দুটি স্তরে মোট সংখ্যার অনুপাত, দুটি স্তরে একক আয়তনে কণার সংখ্যার অনুপাত নির্দেশ করে। এভাবে n_0 / n বের করা হয়।

এখন সমস্ত অজ্ঞাত রাশি জেনে নিয়ে (9) নং সমীকরণের সাহায্যে অ্যাভোগাড্রোর সংখ্যা নিরূপণ করা সম্ভব। 'মাস্টিক' ও 'গাম্বুজের' জলে ও 'গ্লিসারিত জলে' বিভিন্ন তাপমাত্রায় পরীক্ষা করে অ্যাভোগাড্রোর সংখ্যা নিরূপণ করা হয়েছে যার মান মোটামুটি 6.5×10^{23} থেকে 7.2×10^{23} এর মধ্যে থাকে। গাসের জাস্তিতত্ত্বের উপর ভিত্তি করে নিরূপিত অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার মানের প্রায় কাছাকাছি এই মান, এই পদ্ধতিও সার্থকতা প্রমাণ করে।

(গ) তাড়িত গতীয় ধর্ম (electro-kinetic phenomena) ঃ

দ্রাবক বিদ্বেষী কোলয়েডের কণা তাড়িত ক্ষেত্রের প্রভাবে একটি নির্দিষ্ট তড়িৎদ্বারের দিকে চালিত হয়। কণার এইরূপ চলনকে তড়িৎ-সংচলন (electrophoresis) বলে। আবার একটি U-নলের মাঝে সচ্ছিদ্র ঝিল্লীর মধ্যে কোলয়েড রেখে দুই বাহুতে বিস্তার মাধ্যমের মধ্যে দুটি Pt তড়িৎদ্বারের সাহায্যে তাড়িত বিভব প্রয়োগ করলে বিস্তার মাধ্যম একটি নির্দিষ্ট তড়িৎদ্বারের দিকে ধাবিত হয়। এর ফলে U-নলের দুই পার্শ্বে তরল মাধ্যমের তলের পার্থক্য দেখা যায়। বিস্তার-মাধ্যমের এরূপ সংচলনকে তাড়িত অভিসরণ (electro-osmosis or endosmosis) বলে।

এই দুই ঘটনা নির্দেশ করে যে কোলয়েড কণা একটি বিশেষ তড়িৎ দ্বারা আহিত (charged)। এই কারণে প্রথম ক্ষেত্রে কণা একটি বিশেষ তড়িৎ-দ্বারের দিকে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে কণার চলন রদ করার জন্য বিপরীত আধানযুক্ত কণা সংলগ্ন বিস্তার মাধ্যমই বিশেষ তড়িৎদ্বারের দিকে প্রবাহিত হয়। কণার চলন বেগ পরা অণুবীক্ষণযন্ত্রের সাহায্যে বা অন্যভাবে মাপা যায়। বিভিন্ন দ্রাবক-বিদ্বেষী সল কণার ক্ষেত্রে পরীক্ষা করে দেখা গেছে কণার মোবিলিটি মোটামুটি $2\text{-}4 \times 10^{-4}$ সেমি প্রতি সেকেণ্ডে। কণার 'মোবিলিটি' তড়িৎবিশ্লেষ্য কণার মোবিলিটির প্রায় সমান। কোলয়েডের তড়িৎ-পরিবাহিতা খুব কম কারণ কণার সংখ্যা তুলনামূলকভাবে অনেক কম থাকে।

আধানের উৎপত্তি (Origin of Charge) ঃ—

কোলয়েড কণা আহিত থাকে এবং বিপরীত আধান বিস্তার মাধ্যমে কণার সঙ্গে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিস্তর তৈরী করে (electrical double layer)। কণার বাইরের এই আধানের ফলে কণাগুলি পরস্পর পরস্পরকে বিকর্ষিত করে এবং কোলয়েড স্থায়ী হয়। কণাগুলি যদি আধান মুক্ত হত তবে একে অপরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অপেক্ষাকৃত বড় আকারের কণা তৈরী করত, কারণ তাতে সমগ্র কণার পৃষ্ঠদেশের ক্ষেত্রফল কমে যেত এবং তাপ গতি বিদ্যার তত্ত্ব অনুযায়ী সমগ্র সিস্টেমের মুক্ত শক্তি (free energy) কমে যেত। এতে কোলয়েডের কণাগুলি বৃহৎ আকার ধারণ করে (coagulation) তঞ্চনের মাধ্যমে অধঃক্ষিপ্ত

হত এবং কোলয়েড তার সুস্থিতি হারাত। কণার আধানের ফলে এই তঞ্চন প্রক্রিয়া হয় না এবং কোলয়েড স্থায়ী হয়।

পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত যে সামান্য পরিমাণ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ কোলয়েডকে সুস্থির করে। γ পদার্থ ঝিল্লী বিশ্লেষণ বা অন্যভাবে দূর করলে কণার আকার বৃদ্ধি পায় এবং কণা অধঃক্ষিপ্ত হয়ে কোলয়েডের সুস্থিতি নষ্ট করে। সুতরাং এটা অনুমান করা যেতে পারে যে সামান্য পরিমাণ বিশেষ আয়ন কোলয়েডের আধান ও সুস্থিতির কারণ। উদাহরণস্বরূপ নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলি আলোচনা করা যেতে পারে।

(ক) স্বর্ণ ও রৌপ্য সল, ব্রেডিগ পদ্ধতিতে তৈরী করার সময় কালে (মাধ্যমে) $5 - 10 \times 10^{-4}$ গ্রাম তুল্যাংক প্রতি লিটারে ক্ষার থাকা প্রয়োজন। ক্ষারের এই কোলয়েডকে ঋণাত্মক আধানে আহিত করে এবং কোলয়েডকে সুস্থির করে।

(খ) অতিরিক্ত লঘু K_1 দ্রবণে Ag লবণের লঘু দ্রবণ ঢাললে ঋণাত্মক আধানযুক্ত AgI সল পাওয়া যায়। আবার অতিরিক্ত Ag লবণের দ্রবণে আয়োডাইডের লঘু দ্রবণ ঢাললে, ধনাত্মক আধানযুক্ত AgI সল পাওয়া যায়। এই দুই সল তুল্য পরিমাণে যোগ করলে কোলয়েড অবস্থা নষ্ট হয় এবং কণাগুলি সব অধঃক্ষিপ্ত হয়। তা কারণ হ'ল সম কণা তার সঙ্গে সাধারণ আয়ণকে অধিশোষিত করে এবং আহিত হয়। প্রথমক্ষেত্রে AgI তার সঙ্গে সাধারণ অতিরিক্ত আয়ন হ'ল I^- আয়ন এবং সেকারণে I^- অধিশোষিত হয়ে, AgI কে ঋণাত্মক আধানে আহিত করে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সাধারণ আয়ন Ag^+ সল ধনাত্মক AgI সল পাওয়া যায়। কৃষ্ট্যাল তার নিজস্ব গঠন বজায় রাখতে চায় বলে সাধারণ আয়নকে অধিশোষিত করে। কোলয়েডের এই দুইরূপ কণাকে প্রকাশ করা যেতে পারে যথাক্রমে,

$$[AgI]I^- \ \vdots \ k^+ \text{ এবং } [AgI]Ag_5^+ \ \vdots \ NO_3^-$$

এই প্রকাশে 'ডটেড' বা বিন্দুচিহ্নিত লাইন তড়িৎ দ্বিস্তরকে সূচিত করে।

(গ) যদি অধিক পরিমাণ গরম জলে $FeCl_3$ দ্রবণ ঢালা হয় এবং ঝিল্লী বিশ্লেষণ করা হয়, ধনাত্মক আধানযুক্ত Fe_2O_3-এর সল পাওয়া যায়। আবার আতিরিক্ত লঘু NaOH দ্রবণে $FeCl_3$-এর লঘু দ্রবণ ঝাঁকুনি সহযোগে ঢালালে ঋণাত্মক আধানযুক্ত Fe_2O_3-এর সল পাওয়া যায়। এই দুই সমকণা প্রকাশ করা হয় যথাক্রমে—

$$[Fe_2O_3 \ . \ xH_2O]Fe^{3+} \ \vdots \ 3Cl^- \text{ ও } [Fe_2O_3 \ . \ xH_2O]OH^- \ \vdots \ Na^+$$

এখানে x H_2O নির্দেশ করে x মোল H_2O, Fe_2O_3 এর সঙ্গে দ্রাবক অবচরণ (solvated) হিসাবে রয়েছে। এখানেও কৃস্ট্যাল তার গঠন বজায় রাখার জন্য কৃস্ট্যালের সঙ্গে সাধারণ আয়ন অধিশোষিত হয়ে ভিন্ন ভিন্ন আধানপ্রাপ্ত হয়েছে।

(ঘ) As_2S_3 এর সদ্য অধঃক্ষেপকে H_2S সহযোগে সলে পরিণত করা যায়। এখানে $S^=$, As_2S_3 এর সঙ্গে অধিশোষিত হয় এবং ঋণাত্মক As_2S_3 এর সল তৈরী করে। সল কণা প্রকাশ করা হয়,

$$[As_2S_3]S^= \ \vdots \ 2H^+$$

এইভাবে বহিঃস্থ আয়ণ অধিশোষণ করে কোলয়েড আধানপ্রাপ্ত হলেও, স্বতঃ আয়নীভবনের দ্বারাও আধান প্রাপ্ত হতে পারে। যেমন আম্লিক রঞ্জকের ক্ষেত্রে, H^+ পরিত্যাগ পূর্ব্বক কণা ঋণাত্মক আধান

প্রাপ্ত হয় এবং ক্ষারীয় রঞ্জকের ক্ষেত্রে, OH^- অধিশোষণ করে ঋণাত্মক আধান প্রাপ্ত হয়। অবশ্য শুধুমাত্র স্বতঃ আয়নীভবন কোলয়েডকে সুস্থির করতে পারে কি না এই বিষয়ে যথেষ্ট সন্দেহ আছে। এটা হলে সদ্য অধঃক্ষিপ্ত ধাতব হাইড্রক্সাইডকে ঝাঁকিয়ে সল প্রস্তুত সম্ভব হ'ত কিন্তু বহিস্থঃ অম্ল ক্ষার ছাড়া এরূপ সল স্থায়ী হয় না।

স্থায়িত্ব **(Stability)** :—

যদিও সামান্য পরিমাণ তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ কোলয়েডের সুস্থিরতার কারণ, অধিক পরিমাণ যোগ করলে বিস্তৃতদশা অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই ঘটনাকে বলে তঞ্চন (Coagulation or flocculation)। টি. গ্রাহাম (T. Graham, 1861), এইচ্ শুলজে (H. Schulze, 1882), এস. ই. লিণ্ডার (S. E. Linder) ও এইচ্ পিকটন (H. Picton, 1895, 1905) এবং ডব্লিউ. বি. হার্ডি (W. B. Hardy, 1900) বৈজ্ঞানিকরা এই বিষয়ে গবেষণা করে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হলেন যে তঞ্চনের জন্য তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের একটি আয়ন যার আধান কোলয়েড কণার আধানের বিপরীত দায়ী এবং তঞ্চনক্ষমতা যোজ্যতা বৃদ্ধির সঙ্গে বাড়ে। একেই শুলজে-হার্ডি নীতি (Schulze-Hardy rule) বলে।

নীচে ধনাত্মক আধানযুক্ত ফেরিক অক্সাইড (Fe_2O_3) সল ও ঋণাত্মক আধানযুক্ত আরসেনিয়াম সালফাইড সলের ক্ষেত্রে বিভিন্ন আয়নের তঞ্চনের জন্য প্রয়োজনীয় তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের ন্যূনতম গাঢ়ত্ব মিলিমোল প্রতি লিটারে দেওয়া হ'ল।

টেবিল—1 : বিভিন্ন আয়নের তঞ্চন ক্ষমতা

ফেরিক অক্সাইড সল (ধনাত্মক)			আরসেনিয়াম সালফাইড সল (ঋণাত্মক)		
তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ	অ্যানায়নের যোজ্যতা	ন্যূনতম গাঢ়ত্ব	তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ	ক্যাটায়নের যোজ্যতা	ন্যূনতম গাঢ়ত্ব
KCl	1	103	NaCl	1	51
KBr	1	138	KNO_3	1	50
KNO_3	1	131	HCl	1	31
$KBrO_3$	1	031			
K_2CrO_4	2	0.325	$MgSO_4$	2	0.81
K_2SO_4	2	0.219	$BaCl_2$	2	0.69
$K_2C_2O_4$	2	0.238	$ZnCl_2$	2	0.68
$K_3[Fe(CN)_6]$	3	0.096	$AlCl_3$	3	0.093

উপরোক্ত টেবিল থেকে দেখা যাচ্ছে যে তঞ্চনের জন্য কোলয়েড কণার আধানের বিপরীত আধানযুক্ত আয়ন দায়ী ও যোজ্যতা বৃদ্ধির সঙ্গে তঞ্চন ক্ষমতা বৃদ্ধি পাচ্ছে। ত্রিযোজী আয়নের তঞ্চন ক্ষমতা একযোজী আয়ন থেকে অন্তত 600 থেকে 1000 গুণ বেশী।

শুলজে-হার্ডির নীতির ব্যতিক্রম অবশ্য লক্ষ্য করা যায়। নীচের টেবিলে (2) আরসেনিয়াম সালফাইড সলের তঞ্চনের ক্ষেত্রে বিভিন্ন পটাসিয়াম লবণের ন্যূনতম গাঢ়ত্ব, মিনিমোল প্রতি লিটারে দেওয়া হল —

টেবিল—2

আরসেনিয়াম সল (ঋণাত্মক)-এর তঞ্চনের জন্য প্রয়োজনীয় পটাসিয়াম লবণের ন্যূনতম গাঢ়ত্ব

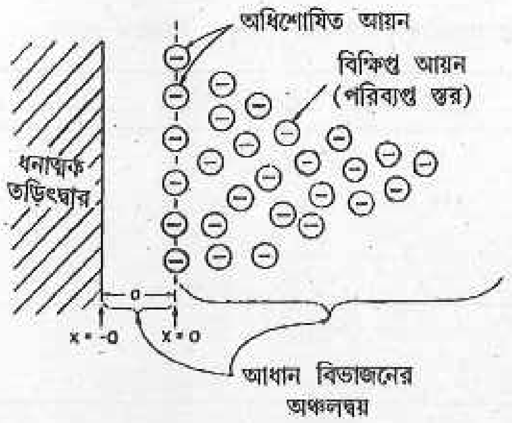
পটাসিয়াম লবণ	ন্যূনতম গাঢ়ত্ব
সাইট্রেট (Citrate)	> 240
অ্যাসিটেট (Acetate)	110
ফর্মেট (Formate)	86
সালফেট (Sulphate)	63
ক্লোরাইড (Chloride)	50
নাইট্রেট (Nitrate)	50

টেবিল—1 থেকে দেখা যাচ্ছে ফেরিক অক্সাইড সলের ক্ষেত্রে পটাশিয়াম ব্রোমেটের ও আরসেনিয়াম সালফাইড সলের ক্ষেত্রে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের ন্যূনতম গাঢ়ত্ব সমজাতীয় তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের থেকে অনেক কম। অর্থাৎ দায়ী আয়নগুলির তঞ্চনক্ষমতা তুলনামূলকভাবে অনেক বেশী। এছাড়া এটা দেখা গেছে যে আরসেনিয়াম সালফাইড সলের ক্ষেত্রে 'কৃষ্ট্যাল ভায়োলেট', যা একযোজী ক্যাটায়ন দেয়, -এর ন্যূনতম গাঢ়ত্ব তঞ্চনের জন্য 0.16 মিলি মোল প্রতি লিটারে এবং মরফিন ও স্ট্রাইচ্‌নিন হাইড্রোক্লোরাইড (morphine & strychnin hydrochloride)-এর তঞ্চনের জন্য ন্যূনতম গাঢ়ত্ব যথাক্রমে 0.4 ও 0.5 মিলিমোল প্রতি লিটারে। এই সমস্ত ব্যতিক্রমী আয়নগুলি কোলয়েড কণার পৃষ্ঠদেশে দৃঢ়ভাবে (strongly) অধিশোষিত হয়। আবার টেবিল—2 থেকে দেখা যাচ্ছে যদিও দায়ী আয়ন ক্যাটায়ন একই টিডি তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থে, তা হলেও অ্যানায়নের তঞ্চনে একটি ভূমিকা আছে।

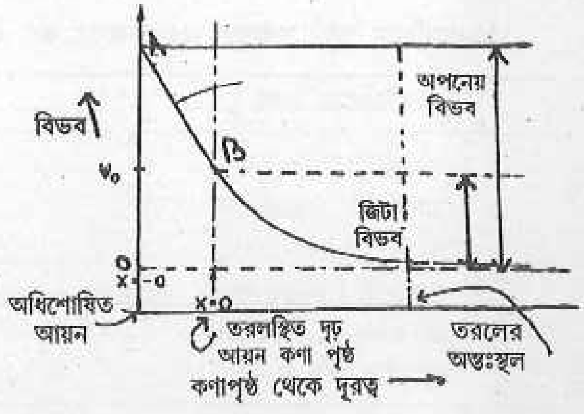
ঋণাত্মক Pt সলে 0.083 মিলি মোল ফেরিক ক্লোরাইড সহযোগে ফেরিক আয়নের জন্য জলে তঞ্চিত হয় কিন্তু যদি 0.333 মিলি মোল দ্রুত ঢাললে স্থায়ী ধনাত্মক সল পাওয়া যায়। তখন তঞ্চনের জন্য প্রয়োজন হয় 16.33 মিনি মোল এবং এক্ষেত্রে সম্ভাব্য তঞ্চনকারী আয়ন ক্লোরাইড আয়ন।

তঞ্চনের কৌশলের ব্যাখ্যা (mechanism of precipitation) :—

সল কণার পৃষ্ঠদেশে কোন এক প্রকার আয়ন অধিশোষিত হয়ে কণাগুলিকে আহিত করে। আয়নের যে আধান সলকণাও γ আধানপ্রাপ্ত হয়। তড়িতাহিত কণা স্বাভাবিক ভাবে বিস্তার মাধ্যমের বিপরীতে আধানযুক্ত আয়ণে আকর্ষিত করে এবং ফলে দুটি তড়িৎকণার সৃষ্টি হয়। একেই বলে তড়িৎ দ্বি-স্তর (electrical double layer)। এই তড়িৎ-দ্বি-স্তরের গঠন সম্পর্কে মতভেদ রয়েছে। এইচ্. ভন্. হেল্মহোজের (H. Von. Helmholtz, 1879) মতানুযায়ী তড়িৎ-দ্বি-স্তর অনেকটা সমান্তরাল প্লেট ধারকের (parallel plate condenser) মত। প্লেট দুটির মধ্যে দূরত্ব প্রায় আনব-ব্যাসের সমান এবং বিভব (দুটি প্লেটের মধ্যে অর্থাৎ দুটি তড়িৎ স্তরের মধ্যে) খুব দ্রুত হ্রাস পায়। কিন্তু এই প্রতিরূপ (Model) লঘু দ্রবণে তড়িৎ-দ্বি-স্তরকে ব্যাখ্যা করতে পারে না। ফলে নূতন একটি প্রতিরূপের উদ্ভব হয়। এই প্রতিরূপ করেন জি. গই (G. Gouy, 1909)। এই প্রতিরূপ অনুযায়ী তরলস্থিত স্তরটি দৃঢ় নয় বরং পরিব্যাপ্ত (diffuse) এবং বিভব কণা পৃষ্ঠস্থ স্তর থেকে ধীরে ধীরে সূচক হারে (exponentral rate) হ্রাস পায়। এই ব্যাখ্যাও উপযুক্ত নয়। আধুনিক প্রতিরূপ অনুযায়ী



আয়নের বন্টন দ্বি-স্তর



বিভব হ্রাস

(ও. স্টার্ন, O. Stern, 1924) কণা পৃষ্ঠস্থ আধানগুলির সঙ্গে প্রায় সংলগ্ন থাকে একটি স্থির (Stationery) বিপরীত আধানযুক্ত আয়ন-স্তর ও বাকী বিপরীত আধানযুক্ত আয়ন বিস্তার মাধ্যমে কিছু দূরত্বে পরিব্যাপ্ত থাকে। কণা পৃষ্ঠ থেকে তরলস্থিত স্থির স্তর পর্য্যন্ত বিভব খুব দ্রুত সরলরৈখিক ভাবে হ্রাস পায় কিন্তু স্থির স্তর থেকে পরিব্যপ্ত স্তরে বিভব সূচক হারে হ্রাস পায়। পরিব্যপ্ত স্তরে আয়নগুলি বিচরণ করতে পারে। এই পরিব্যপ্ত (diffuse layer) স্তরে বিভব পার্থক্যকে বলে তড়িৎগতি বিভব (electrokinetic potential) বা জিটা বিভব (Zeta potential)। এই বিভব পার্থক্যই তড়িৎ সংচলন (electro phoresis) যা তাড়িত-অভিসরণ (electro-osmosis) এর জন্য দায়ী। কণাপৃষ্ঠ থেকে তরলের অন্তঃস্থল (Back) অবধি বিভব পার্থক্যকে বলে তাপগতীয় বিভব বা অপনেয় বিভব (reversible potential) বলে। নীচের চিত্রে তড়িৎ-দ্বি-স্তরের গঠন দেওয়া হ'ল।

তড়িৎ-দ্বিস্তরের ফলে কণাগুলির পারস্পরিক বিকর্ষণ জনিত বল কম কাজ করে এবং সল অবস্থাকে স্থায়ী করে। এখন সামান্য পরিমাণ তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করলে কণার বিপরীত আধানযুক্ত আয়ন তরলের দিক দ্বিস্তরে অধিশোষিত হয় এবং জিটা বিভবকে কমিয়ে দেয়। ফলে কণাগুলির মধ্যে বিকর্ষণ জনিত বলের পরিমাণ হ্রাস পায় ও সলের কণাগুলি একত্রিত হয়ে তঞ্চিত হয়। এখন তঞ্চনকারী আয়নের আধান যত বেশী হবে, জিটা বিভব তত দ্রুত হ্রাস পাবে ফলে তঞ্চকারী আয়নের যোজ্যতা যত বেশী হবে তার তঞ্চনক্ষমতা তত বৃদ্ধি পাবে।

ভারবে ও ওবারবীক (Verwey & Overbeek) দেখিয়েছেন যে তঞ্চনের জন্য বিভিন্নযোজী আয়নের পরিমাণ মোটামুটি নিম্ন অনুপাতে হয়,

একযোজী ঃ দ্বিযোজী ঃ ত্রিযোজী $= 1 : \frac{1}{2^6} : \frac{1}{3^6}$

একে বলে ব্যস্ত ষড়ঘাত সূত্র (Inverse sixth power rule)।

সাধারণতঃ জিটা বিভবের মান 0.02 থেকে 0.03 ভোল্টের কম বলে তঞ্চন প্রক্রিয়া দেখা যায়।

তড়িৎ-দ্বি-স্তরকে দুটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের সঙ্গে তুলনা করলে যা একটু গাঢ় দ্রবণীয় ক্ষেত্রে প্রযোজ্য, জিটা বিভব, G

যেখানে e = স্তরের একক ক্ষেত্রফলে আধান

$$G = \frac{4\pi ed}{D}$$

d = স্তর দুটির মধ্যেকার দূরত্ব

D = ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক।

বিপরীত আধানযুক্ত আয়ন তরলের দিকে স্থিতভাবে অধিশোষিত হলে, e এবং d কমে যায় ফলে G কমে, যার জন্য সলের স্থায়িত্ব নষ্ট হয় এবং সল তঞ্চিত হয়।

9A.5.1 দ্রাবকাসক্ত (lyophilic) কোলয়েডের বিশেষ ধর্ম

প্রধানতঃ প্রোটিন, স্টার্চ জাতীয় পদার্থ দ্রাবকাসক্ত কোলয়েড উৎপন্ন করে।

(ক) সান্দ্রত্ব (viscosity) ঃ দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের সান্দ্রতা দ্রাবকবিদ্বেষী কোলয়েডের থেকে অনেক বেশী। এ্যালবার্ট আইনস্টাইন (A. Einstein, 1906) সলের সান্দ্রতা সংক্রান্ত একটি সূত্র প্রবর্তন করেন। এই সূত্র —

$$\eta_{sp} = \eta/\eta_0 - 1 = 2.5\ \phi$$

η = সলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক

η_0 = বিস্তার মাধ্যমের সান্দ্রতাগুণাঙ্ক

η_{sp} = আপেক্ষিক সান্দ্রতা (specific viscosity)

ϕ = বিস্তৃত দশার আয়তন ও সলের আয়তনের অনুপাত

যেহেতু ϕ, সলের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভরশীল, h_{sp} ও সলের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করবে। এই সূত্রটি বিশেষতঃ গোলকাকার অণু জাতীয় বিস্তৃত দশার ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। পরীক্ষালব্ধ ফল নির্দেশ করে ϕ, দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের ক্ষেত্রে তুলনামূলক ভাবে বেশী। সুতরাং দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের সান্দ্রতা বেশী হওয়ার কারণ, বিস্তৃতদশার বেশী আয়তন। বিস্তৃত দশার আয়তন, শুষ্ক অবস্থার আয়তনের তুলনায় অনেক বেশী হওয়ার কারণ, বিস্তৃত দশার কণাগুলির দ্রাবক-আবরণ (solvation)। সুতরাং দ্রাবক অণু সংযোজিত (solvated) হওয়ার জন্য দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের সান্দ্রতা অনেক বেশী হয়।

তাড়িত-সান্দ্র প্রভাব (Electroviscous effect) —

প্রতি লিটারে 2 মিলিমোল গাঢ়ত্বের পটাশিয়াম লবণ এগার এগার সলে যোগ করলে, γ সলের সান্দ্রতা অন্ততঃ 20 শতাংশ হ্রাস পায়। পরীক্ষালব্ধ ফল নির্দেশ করে যে লবণের যে আয়ন সল কণার বিপরীত আধান বহন করে, সেই আয়নই এই ঘটনার জন্য দায়ী। তাছাড়া দায়ী আয়নের যোজ্যতা বৃদ্ধির সঙ্গে, তার সান্দ্রতা হ্রাসের ক্ষমতাও বেড়ে যায়। এই ফল নির্দেশ করে যে সল কণাগুলির জিটা বিভবের সঙ্গে সলের সান্দ্রতার একটি সম্পর্ক রয়েছে। সামান্য পরিমাণ লবণ সল কণার দ্রাবক আবরণ ততটা প্রভাবিত করতে পারবে না। সলের সান্দ্রতার উপর সলকণাগুলির আধানের প্রভাবেই তাড়িত সান্দ্র প্রভাব বলে।

(খ) পৃষ্ঠটান (surface tension) —

অনেক কোলয়েডের পৃষ্ঠটান, জলের পৃষ্ঠটানের থেকে কম। এক্ষেত্রে কোলয়েডের কণা অধিকমাত্রায় পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত হয় ফলে পৃষ্ঠটান কমে যায়। পৃষ্ঠটান কমে যাওয়ার জন্য দ্রাবকাসক্ত কোলয়েড সহজেই ফেনা (foam) তৈরী করে।

(গ) তাড়িত গতীয় ধর্ম (Electro-kinetic phenomena) —

দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের কণাগুলি তাড়িত ক্ষেত্রের (electrical field) প্রভাবে একটি নির্দিষ্ট তাড়িৎদ্বারের দিকে গমন করে এবং গমনের দিক নির্দ্ধারিত হয় মাধ্যমের pH-এর উপর। pH হ'ল দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়ত্বের ঋণাত্মক লগারিদ্‌ম্। প্রোটীন অণু বা এই জাতীয় কোলয়েডের কণা ধনাত্মক আধান প্রাপ্ত হয় যখন মাধ্যম আম্লিক হয় এবং ঋণাত্মক আধান প্রাপ্ত হয় যখন ক্ষারীয় হয়। সাধারণতঃ আম্লিক মাধ্যমে প্রোটন গ্রহণ করার ফলে কণা ধণাত্মক আধান প্রাপ্ত হয় এবং ক্ষারীয় মাধ্যমে কণা থেকে প্রোটন নির্গত হয় ফলে কণা ঋণাত্মক আধান প্রাপ্ত হয়। কণাগুলি প্রায় আধানশূন্য থাকে ফলে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাব দেখা যায় না। কোলয়েডের এই নির্দিষ্ট pH এর মানকে 'সম-তড়িত-বিন্দু' (isoelectric point) বলে। এই বিন্দুতে জিটা বিভবের মান নগন্য হয়। অনেক কোলয়েড অস্থায়ী হয়।

(ঘ) স্থায়িত্ব (stability) ঃ

দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডে সামান্য পরিমাণ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করলে যদিও জিটা বিভবের মান কমে যায়, তাহলেও তঞ্চন প্রক্রিয়া দেখা যায় না। এমনটি সম-তড়িৎ-বিন্দুতেও যখন আধানের মান প্রায় নগন্য, কোলয়েড কিন্তু সুস্থির। সুতরাং দ্রাবকাসক্ত কোলয়েড কণার আধান ছাড়াও অন্য কোন বিশেষ ধর্ম দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডকে সুস্থির করে। এইচ্. আর. ক্রিষ্ট (1922-28)-এর গবেষণালব্ধ ফল নির্দেশ করে যে, দ্রাবক-আবরণ দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের সুস্থিতির একটি অন্যতম কারণ। এই সম্পর্কে দুটি ঘটনা উল্লেখ করা যেতে পারে —

(১) যদি এগার-এগার সলে যথেষ্ট পরিমাণ (শতকরা 50 ভাগ বা তার বেশী) এ্যালকোহল বা অ্যাসিটোন যোগ করা হয় দেখা যায় সলের সান্দ্রতা কমে যায়, টিণ্ড্যাল ঘটনার প্রভাব বাড়ে এবং সামান্য পরিমাণ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য যোগ করলে সল অধঃক্ষিপ্ত হয়।

(২) শতকরা 1 ভাগ ওজনে ট্যানিন, এগার এগার সলে যোগ করলে একই রকম ভাবে কোলয়েডের সুস্থিতি নষ্ট হয়।

এই দুটি ঘটনাকে ব্যাখ্যা করা হয় এভাবে যে প্রথম ক্ষেত্রে অ্যালকোহল বা অ্যাসিটোন সলের কণা-সংলগ্ন অধিশোষিত সল অণুকে অধিশোষিত করে। ফলে সল কণার দ্রাবক-আবরণ নষ্ট হয় এবং সামান্য পরিমাণ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করলে অধঃক্ষেপন বৃদ্ধি পায়। দ্বিতীয় ক্ষেত্রেও ট্যানিন, কণা পৃষ্ঠে অধিশোষিত হয়ে, দ্রাবক-আবরণ দূর করে এবং কোলয়েডকে অস্থির করে। এই সমস্ত পরীক্ষা হতে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায় যে দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের সুস্থিতির কারণ (i) দ্রাবক-আবরণ ও (ii) তড়িতাধান।

যথেষ্ট পরিমাণ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করলে দ্রাবকাসক্ত কোলয়েড অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই ঘটনাকে বলে 'সল্টিং আউট' (salting out)। অধিক পরিমাণ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য যোগ করার ফলে দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের কণার দ্রাবক-আবরণ ও জিটা বিভব উভয়েই কমে এবং সল অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই অধঃক্ষেপন অবশ্য আয়নের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন আয়নকে অধঃক্ষেপন ক্ষমতার নিম্নক্রমে সাজালে নিম্নলিখিত সারি দুটি পাওয়া যায়। এই সারি (series) গুলোকে বলে হফ্‌মাইস্টার সারি (Hofmeister series)।

ক্যাটায়নের ক্ষেত্রে,

$$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Sr^{2+} > Ba^{2+} > Li^{+} > Na^{+} > K^{+} > Pb^{+} > Cs^{+}$$

এবং অ্যানায়নের ক্ষেত্রে,

$Citrate^{3-} > Tartrate^{2-} > SO_4^{2-} > C_2H_3O_2^- > Cl^- > NO_3^- > ClO_3^- > I^- > CNS^-$

অধঃক্ষিপ্ত সল থেকে এই তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ ঝিল্লী বিশ্লেষণ বা অন্যভাবে দূর করলে, আবার সল অবস্থা পাওয়া যায়।

সংরক্ষণ (Protection) —

যদি বিপরীত আধানযুক্ত হাইড্রোফোবিক (জল-বিদ্বেষী) সলের মধ্যে সামান্য পরিমাণ হাইড্রোফিলিক (জল-আসক্ত) সল যোগ করা হয়, হাইড্রোফোবিক সলের সুস্থিতি কমে যায়। এই ঘটনাকে বলে সেনসাইটাইজেশান (sensitisation)। হাইড্রোফিলিক সল হাইড্রোফোবিক সলের উপর অধিশোষিত হওয়ার জন্য মুখ্যতঃ সলের স্থায়িত্ব কমে। আধানযুক্ত কিন্তু সম আধনাযুক্ত হাইড্রোফিলিক সল বা অধিক পরিমাণে বিপরীত হাইড্রোফিলিক সল, হাইড্রোফোবিক সলে যোগ করলে, হাইড্রোফোবিক সলের স্থায়িত্ব বেড়ে যায়। এই ঘটনাকে বলে হাইড্রোফোবিক সলের সংরক্ষণ। আর. জিগমন্ডি (R. Zsigmondy, 1901), বিভিন্ন হাইড্রোফিলিক সলের সংরক্ষণ ক্ষমতা বোঝানোর জন্য একটি রাশি স্থির করেন। এই রাশি হ'ল একটি সংখ্যা তাই একে বলে স্বর্ণসংখ্যা (Gold Number)।

স্বর্ণসল দেখতে লাল, কিন্তু সোডিয়াম ক্লোরাইড যোগ করলে তখন শুরু হয় এবং উহা নীল রঙে পরিণত হয়। এই রঙ পরিবর্তন প্রতিরোধ করবার ক্ষমতার দ্বারা কোলয়েডের রক্ষণক্ষমতা নির্ণীত হয়। 10 ঘন সে.মি. আয়তন প্রমাণ গোল্ড সলের (0.0053 – 0.0058%) মধ্যে 1 ঘন সে.মি. 10% NaCl যোগ করে রঙের লাল থেকে নীলে পরিবর্তন রোধ করার জন্য নিম্নতম যত মিলিগ্রাম সংরক্ষণ কোলয়েডীয় বস্তু প্রয়োজন, সেই সংখ্যাকে ঐ সংরক্ষক কোলয়েডের স্বর্ণসংখ্যা বা স্বর্ণাঙ্ক (gold number) বলে। যার স্বর্ণসংখ্যা যত কম, তার রক্ষণক্ষমতা তত বেশী। নীচের টেবিলে বিভিন্ন দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের স্বর্ণসংখ্যা দেওয়া হ'ল।

টেবিল নং —

সল	স্বর্ণ সংখ্যা
জিলেটিন (Gelatin)	0.005—0.01
সোডিয়াম ক্যাজেনেট (Sodium Caseinate)	0.01
হিমোগ্লোবিন (Haemoglobin)	0.03—0.07
গাম অ্যারবিক (Gum arabic)	0.15—0.25
সোডিয়াম ওলেট (Sodium Oleate)	0.4—1.0
পোটাটো স্টার্চ (Potato Starch)	25

টেবিলে লক্ষ্য করা যায়, জিলেটিন ও ক্যাজেনেটের সংরক্ষণ ক্ষমতা তুলনামূলকভাবে বেশী। দু প্রকারের সল কণা কোনভাবে সংপৃক্ত হয়ে, দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডকে সুস্থির করে। এই সংযোজনকে ব্যাখ্যা পরিষ্কার ভাবে করা যায় নি।

9A.6 জেল (Gel)

বিশেষ অবস্থায় কোলয়েডকে (বিশেষতঃ দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডকে) তঞ্চিত করলে একটি অর্ধকঠিন (Semi-rigid) জেলী জাতীয় পদার্থে পরিণত হয় এবং এর মধ্যে কোলয়েডের তরল বিধৃত থাকে। কোলয়েডের এই অবস্থাকে জেল বলে।

জেল দুই প্রকারের যথা স্থিতিস্থাপক জেল ও অস্থিতিস্থাপক জেল। স্থিতিস্থাপক জেলের উদাহরণ হ'ল জিলেটিন জেল, এগার জেল, স্টার্চ জেল ইত্যাদি। সাধারণতঃ দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের বিস্তৃত দশা জলের সহিত গরম করে ঠাণ্ডা করলে এই ধরনের জেল পাওয়া যায়।

অস্থিতিস্থাপক জেলের উদাহরণ — সিলিকন জেল। ইহা সোডিয়াম সিলিকেট ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে উপযুক্ত গাঢ়ত্বে মিশিয়ে তৈরী করা হয়। ফেরিক অক্সাইড জেল এই ধরনের জেল। আয়রণ অ্যালুমিনিয়াম, ক্রোমিয়াম, টিন ও লেডের জেলী জাতীয় অধঃক্ষেপ হাইড্রাস অক্সাইডের সম্ভবতঃ এই ধরনের জেল যদিও এদের প্রকৃত অস্থিতিস্থাপক জেল বলা ঠিক নয় কারণ জেলের মধ্যে কোলয়েডকে সমস্ত তরল অংশ বিধৃত থাকে না।

এই দুই প্রকার জেলের পার্থক্য নিম্নরূপ ঃ

(ক) আংশিক নিরুদনের ফলে স্থিতিস্থাপক জেল একটি স্থিতিস্থাপক কঠিন পদার্থে পরিণত হয়। এই কঠিন পদার্থে জল মিশিয়ে প্রয়োজনমত গরম করলে সল অবস্থা প্রাপ্ত হয়।

অস্থিতিস্থাপক জেল আংশিক নিরুদনের ফলে স্বচ্ছ কাঁচের মত অথবা তরল জাতীয় পদার্থে পরিণত হয় এবং স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম বিলুপ্ত হয়। জল প্রয়োগে প্রাথমিক সল অবস্থা প্রাপ্ত হয় না।

(খ) জিলাটিন জেলকে নিরুদিত করলে, বাষ্পচাপ নিরবিচ্ছিন্ন ভাবে কমে এবং শুষ্ক অবস্থা থেকে জেল অবস্থা জল সহযোগে প্রাপ্ত হওয়ার সময় বাষ্পচাপ নিরবিচ্ছিন্ন ভাবে পরিবর্তিত হয়।

সিলিকা জেলকে নিরুদন করা খুব কঠিন। বাষ্পচাপ বিচ্ছিন্নভাবে পরিবর্তিত হয় এবং একমাত্র শুষ্ক জেল থেকে জল সহযোগে জেল অবস্থা প্রাপ্ত হতে পারে।

(গ) স্থিতিস্থাপক জেল জলে রাখলে, ওটি জল টেনে ফুলে উঠে। এই ঘটনাকে বলে অন্তঃশোষণ (imbibition) অথবা ফুলা (Swelling)। এই ঘটনাকে তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের আয়ন লাইয়োট্রনিক সারী অনুযায়ী প্রভাবিত করে। ফুলে উঠা জেল অনেক সময় স্বাভাবিক ভাবে কখনও বা শুষ্ক করলে সল অবস্থা প্রাপ্ত হয়।

অন্যদিকে অস্থিতিস্থাপক জল টানলেও ফুলে ওঠে না এবং জেলের আয়তনের কোন পরিবর্তন হয় না।

(ঘ) স্থিতিস্থাপক জেল বিশেষ তরলকেই টানে কিন্তু অস্থিতিস্থাপক জেল যে কোন প্রকার তরলকে অন্তঃশোষণ করতে পারে। উদাহরণ স্বরূপ বলা যেতে পারে, জেল জল বা অ্যালকোহল উভয়কেই টানে কিন্তু সিলিকা জিলাটিন জেল জলকে টানে অ্যালকোহলকে নয়।

বিশেষতঃ স্থিতিস্থাপক জেলের ক্ষেত্রে সল থেকে জেল এবং বিপরীত প্রক্রিয়া ধীরে ধীরে হয়। এ থেকে বলা যেতে পারে সল বা জেলের গঠনের মধ্যে বিশেষ কোন পার্থক্য নেই। সল অবস্থা থেকে জেল অবস্থা প্রাপ্ত হওয়ায় সময় সলের বিস্তৃত দশার কণাগুলি পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে প্রথমে ক্ষুদ্র শৃঙ্খল বা সুতো তৈরী করে। ঐ সুতো জালের মত সংযুক্ত হয় এবং এই কারণে সান্দ্রতা বৃদ্ধি পায় ও অর্ধকঠিন অবস্থা প্রাপ্ত হয়।

এরকম গঠনে বিস্তার মাধ্যমের সামান্য অংশ সুতোর সঙ্গে দ্রাবক আবরণ হিসাবে থাকলেও বেশীর ভাগ সুতোগুলোর মধ্যে আবদ্ধ থাকে। এই গঠন স্থিতিস্থাপক বা অস্থিতিসাথাপক জেল উভয় ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য যদিও, সুতোর প্রকৃতি নির্ভর করে সলের কণার প্রকৃতির উপর।

স্থিতিস্থাপক জেলের একটি বিশেষ ধর্ম হ'ল চাপ প্রয়োগে কিছু এই ধরনের জেল সলে রূপান্তরিত হয়। এই ঘটনাকে বলে থিক্সোট্রপি (Thixotropy)।

9A.7 অবদ্রব বা ইমালসন (Emulsion)

যখন একটি তরল পদার্থের মধ্যে অপর একটি অমিশ্রণীয় বা আংশিক মিশ্রণীয় তরল ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দুর আকারে ছড়ান থাকে, তখন ঐ মিশ্রণকে বলে ইমালসন। এই ক্ষুদ্র বিস্তৃত কণাগুলির ব্যাস 0.1 হইতে 1μ (10^{-4} সে.মি.) এবং এই কারণে কণাগুলি সাধারণ সলকণা অপেক্ষা বড়।

ইমালসন দু প্রকারের যথা (১) জলে তেল (Oil in Water) এবং (২) তেলে জল (Water in Oil)। যখন কোন হাইড্রোকার্বন তেল জলের সঙ্গে ঝাঁকান হয় বা জলে অদ্রবণীয় বা আংশিক দ্রবণীয় তরল যথা অ্যানিলিন বা নাইট্রোবেঞ্জিন স্টীমে পাতিত করা হয়, অথবা জৈব তরল যথা অ্যালকোহল বা অ্যাসিটোন অতিরিক্ত জলে ঢালা হয়, জলে তেল জাতীয় ইমালসন তৈরী হয়। এই ইমালসনে বিন্দু আকারে ছড়ান থাকে তেলের বিন্দু। এখানে তেল বলতে জলে অদ্রবণীয় জৈব যৌগকে সাধারণতঃ বোঝান হয় কারণ অধিকাংশ ক্ষেত্রে এই অদ্রবণীয় যৌগ হাইড্রোকার্বন তেল, তরল ফ্যাট যা উদ্ভিজ্জ তেল। দুধ এই জাতীয় ইমালসন এবং এই ইমালসনে তরল ফ্যাটের কণা জলে বিস্তৃত থাকে।

যদি জল কণার আকারে তেলে ছড়ান থাকে তখন ঐ ইমালসনকে বলে তেলে জল ইমালসন। যেমন কড্ মাছের তেল যেখানে কড মাছের যকৃতের তেলে জল বিন্দু ছড়ান থাকে।

কোন ইমালসনের প্রকৃতি জানার সহজ উপায় হ'ল ইমালসনের সামান্য অংশ অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দৃশ্যপথে রেখে এক বিন্দু জল বা তেলের দ্বারা নাড়াতে হবে। যদি তেলে জল প্রকৃতির ইমালসন হয় তবে এক বিন্দু তেল সহজেই মেশে কারণ এই ক্ষেত্রে তেল বিস্তার মাধ্যম। জলে তেল জাতীয় ইমালসনের সঙ্গে এক বিন্দু জল সহজেই মেশে।

ইমালসনের স্থিতির জন্য তৃতীয় একটি পদার্থের উপস্থিতি প্রয়োজন। একে বলে ইমালসন-কারক (emulsifying agent)। ইমালসন কারক তিন ধরনের হয় যথা—(ক) ডিটারজেন্ট বা সাবান বা দীর্ঘশৃঙ্খলযুক্ত সালফোনিক অ্যাসিড এবং সালফেট জাতীয় পদার্থ। এই সমস্ত ডিটারজেন্টের পরিস্কার প্রক্রিয়া আসলে ইমালসন কারক হিসাবে। এই সব ডিটারজেন্ট পোষাক পরিচ্ছদের গ্রীজ বা তেলকে জলে তেল জাতীয় ইমালসনে পরিণত করে এবং জলে ধৌত করলে তেলে অটকানো ময়লা দূরীভূত হয়। (খ) দ্বিতীয় ধরনের ইমালসন কারক প্রোটীন, গাম, এগার প্রভৃতি দ্রাবকাসক্ত কোলয়েড সৃষ্টিকারী পদার্থ। যেমন দুধে ইমালসন কারক আসলে 'কেসিন' নামক একটি প্রোটীন। (গ) তৃতীয় ধরনের ইমালসন কারক কিছু অদ্রবণীয় পাউডার যেমন আয়রণ, কপার ও নিকেলের ক্ষারীয় সালফেট, লেড সালফেট, ফেরিক অক্সাইড, ক্যালসিয়াম কার্বনেট, ভাঙ্গা কাঁচ ইত্যাদি যারা জলে তেল জাতীয় ইমালসনকে স্থিতিশীল করে। কার্বন ব্ল্যাক এই ধরনের ইমালসন কারক যা তেলে জল ইমালসনকে স্থিতিশীল করে।

সোডিয়াম বা পটাশিয়াম সাবান জলে তেল জাতীয় ইমালসনের ইমালসন কারক হলেও, জিঙ্ক, আয়রণ, অ্যালুমিনিয়ামের সাবান তেলে জল ইমালসনের ইমালসন কারক। সেই কারণে সোডিয়াম বা পটাশিয়াম সাবান দ্বারা স্থিতিশীল জলে তেল ইমালসন, দ্বি বা ত্রিযোজী ধাতুর সাবানের উপস্থিতিতে তেলে জল জাতীয় ইমালসনে পরিণত হয়।

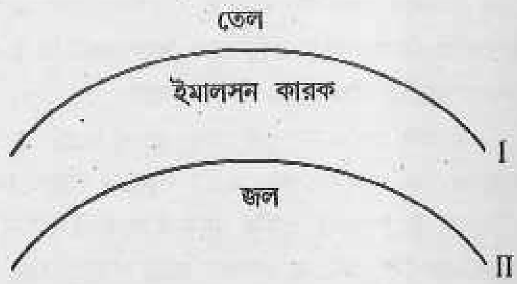
ইমালসন-কারকের ক্রিয়া পদ্ধতি —

কোন তরলের পৃষ্ঠটানের হেতু, তরলপৃষ্ঠ ক্ষুদ্রতম হতে চেষ্টা করে। ইমালসনে বিস্তৃত দশা ও বিস্তার মাধ্যমের সংস্পর্শে তলের ক্ষেত্রফল যথেষ্ট এর কারণ ইমালসন কারক। সাধারণতঃ ইমালসনে বিস্তৃত তরল কণার পৃষ্ঠতলে ইমালসন-কারকের একটি প্রলেপ থাকে। এখন কি ধরনের ইমালসন হবে তা নির্ভর করে তেল বা জল দ্বারা ইমালসন-কারকের ভেজান (wetting) প্রকৃতির উপর অর্থাৎ তেল ও ইমালসন কারকের পৃষ্ঠটান ও ইমালসনকারক ও জলের পৃষ্ঠটানের উপর। যদি তেল ও ইমালসন-কারকের পৃষ্ঠটান, ইমালসন কারক ও জলের পৃষ্ঠটান অপেক্ষা বেশী হয় তবে জলে তেল জাতীয় ইমালসন তৈরী হবে। এই ক্ষেত্রে ইমালসন-কারক জলের দ্বারা বেশী আকর্ষিত হয় বা ভেজে বলে পৃষ্ঠটান কমে এবং বিস্তার মাধ্যম হয় এবং জলে তেল জাতীয় ইমালসন তৈরী করে। আবার ইমালসন-কারক ও তেলের আকর্ষণ বেশী হলে অন্তঃপৃষ্ঠীয় পৃষ্ঠটান কমবে এবং তেল বিস্তার মাধ্যম হিসাবে বর্তমান থেকে তেলে জল জাতীয় ইমালসন তৈরী করবে।

নিম্নলিখিত চিত্রে এটা দেখান হ'ল —

পৃষ্ঠটান (r_1) > পৃষ্ঠটান (r_2)

জলে তেল ইমালসন



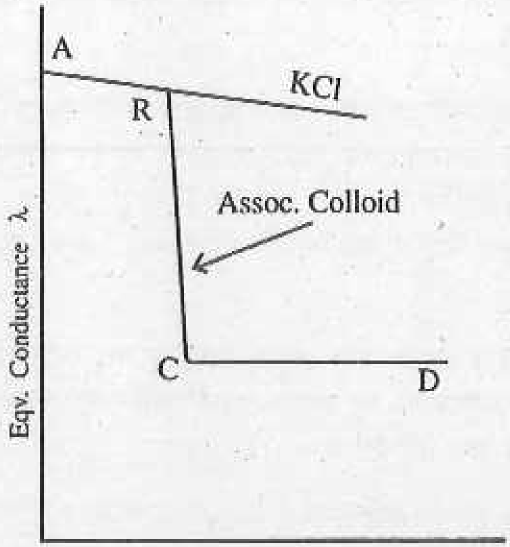
পৃষ্ঠটান (r_{II}) > পৃষ্ঠটান (r_I)

তেলে জল ইমালসন

9A.8 সংযোজিত কোলয়েড (Associated Colloid)

কোন কোন পদার্থের দ্রবণে গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে কিছু অণু বা আয়ণ একত্রিত হয়ে কোলয়েড কণার আকার প্রাপ্ত হয়ে স্থিতিশীল অবস্থা সৃষ্টি করে। এই অবস্থাকে বলে সংযোজিত কোলয়েড এবং এই কণার মধ্যে বেশ কিছু বিস্তার মাধ্যমের অণু বর্তমান থাকে। সংযোজিত কোলয়েডের কণা বৃহৎ অণু নয় বা দ্রাবকবিদ্বেষী কোলয়েড নয়। এই কণাগুলিকে বলে 'মিসেল' (micelles)। সাধারণতঃ বিশেষ অণুর বৃহৎ আয়ণ একত্রিত হয়ে 'মিসেল' তৈরী করে। এই জাতীয় অণুতে দ্রাবকাসক্ত এবং দ্রাবকবিদ্বেষী অংশ থাকে। উদাহরণ হ'ল সোডিয়াম অলিয়েট

(sodium oleate, $C_{17}H_{33}COO^{-}Na^{+}$)। এর হাইড্রোকার্বন অংশ ($C_{17}H_{33}$) জল থেকে পৃথক হতে চায় আবার $COO^{-}Na^{+}$ অংশ জল পছন্দ করে। যখন গাঢ়ত্ব $3 \times 10^{-3}M$ এর থেকে কম থাকে, সোডিয়াম অলিয়েটের প্রকৃত দ্রবণ অবস্থা থাকে কিন্তু গাঢ়ত্ব এর থেকে বেশী হলে হাইড্রোকার্বন অংশ একত্রিত হয়ে একটি গুচ্ছ তৈরী করে যাকে 'মিসেল' বলা হয়। এখানে মিসেলের উপর ঋণাত্মক আধান থাকে। একটি মিসেল কণার মধ্যে একশত বা তার বেশী অলিয়েট আয়ন একত্রিত থাকে। মিসেল সাধারণতঃ গোলকাকার হয় এবং COO^{-} গ্রুপ বইরের দিকে জলের সঙ্গে থাকে। Na^{+} আয়ন আকর্ষিত হয়ে কণার পৃষ্ঠতলে একটি তড়িৎ দ্বিস্তর (electrical double layer) তৈরী করে। এই ধরনের কোলয়েডকে 'কোলয়েডীয় তড়িৎবিশ্লেষ্য'ও বলা হয়। সাধারণতঃ সাবানে এই ধরনের ঋণাত্মক 'মিসেল' থাকে। অ্যামিন জাতীয় লবণ যেমন CTAB [Cetyltrimethyl ammonium bromide, $(C_{16}H_{33})(CH_3)_3N^{+}Br^{-}$] ধনাত্মক মিসেল তৈরী করে। যে নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বে প্রকৃত দ্রবণ অবস্থা থেকে মিসেল অবস্থা প্রাপ্ত হয়, সেই গাঢ়ত্বকে বলে সংকট মিসেলকারক গাঢ়ত্ব (critical micellitation concentration, cmc)। প্রতিটি সংযোজিত কোলয়েডের একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট cmc থাকে। তাপমাত্রা বাড়ালে cmc কমে, আয়ন থেকে মিসেল উভমুখী তাই সংযোজিত কোলয়েডকে লঘু করলে প্রকৃত দ্রবণ অবস্থা পাওয়া যায়।



দ্রবণের তুল্যাংক, পরিবাহিতা, পৃষ্ঠটান, অস্মোটিক চাপ ইত্যাদি ধর্ম গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে cmc তে প্রকটভাবে পরিবর্তিত হয়। cmc এর পূর্বে এই সকল ধর্ম নিয়মিত ভাবে পরিবর্তিত হয়। এই কারণে এই সব ধর্ম বিভিন্ন গাঢ়ত্বের পরিমাপ করে ধর্ম বনাম গাঢ়ত্বের লেখচিত্রের মাধ্যমে cmc নির্ণয় করা যায়।

9A.9 কোলয়েড রসায়নের প্রয়োগ ও গুরুত্ব (Application and Importance of Colloid-Chemistry)

আমাদের দৈনন্দিন জীবনে এবং নানা ক্ষেত্রে যেমন শিল্প, কৃষি, ঔষধ ইত্যাদিতে কোলয়েড ভীষণভাবে জড়িত। নিম্নলিখিত বিশেষ বিষয়ে কোলয়েডের ভূমিকা উল্লেখ করা হ'ল।

(ক) খাদ্য (Foods) : আমাদের বহু খাদ্য কোলয়েড জাতীয়। যেমন দুধ (Milk), ঝোল (Soup), মাখন (Butter), জেলী (Jellies), ডিম (egg) ইত্যাদি কোলয়েড জাতীয়।

(খ) ঔষধ (Medicines) : বহু ইমালসন এবং ধাতুসম ঔষধরূপে ব্যবহৃত হয়। অ্যান্টিমনি, গোল্ড ইত্যাদির সল ঔষধরূপে ব্যবহৃত হয়। এই সব বস্তু কোলয়েড রূপে সহজেই শরীর শোষণ করতে পারে।

(গ) শিল্পে (Industrial goods) : সাবান এবং বহু ডিটারজেন্ট কোলয়েড অবস্থায় ব্যবহৃত হয়। রঙ, ভার্নিস, রেসিন, আঠা ইত্যাদি কোলয়েড জাতীয়। রেয়ন, নাইলন, টেরিলিন, চামড়া, কাগজ কোলয়েড জাতীয়।

(ঘ) ধূম্র অধঃক্ষেপন (Smoke precipitation) : ধূম্র একটি কোলয়েড। এর মধ্যে থাকে আহিত অবস্থায় কঠিন কণা। আধুনিক কর্টরেন ধূম্র-অধঃক্ষেপকের (Cottercell smoke precipitator) সাহায্যে তড়িৎ বিশ্লেষণের মাধ্যমে ধূম্রকে সহজেই বিশুদ্ধ করা হয়। এই যন্ত্রে বিপরীত আধানযুক্ত এবং উচ্চ বিভবযুক্ত তড়িৎদ্বার (electrode) ব্যবহার করা হয় যার সংস্পর্শে আহিত কণা নিস্তড়িৎ হয়ে অধঃক্ষিপ্ত হয় এবং বিশুদ্ধ বায়ু পরিবেশে ছড়ায়।

(ঙ) ড্রেনের জল বিশুদ্ধীকরণ (Sweage disposal) : ড্রেনের জলে নোংরা, কাদা, গোবর, আবর্জনা জাতীয় আহিত কঠিন কণা থাকে। ফলে তড়িৎ বিশ্লেষণের মাধ্যমে এই সব নোংরা পদার্থ বিপরীত আধানযুক্ত তড়িৎদ্বারে আকৃষ্ট হয় এবং অধঃক্ষিপ্ত হয়। ফলে ড্রেনের জল পরিষ্কার হয়।

(চ) জলের বিশুদ্ধিকরণ (Water Clearification) : অবিশুদ্ধ জলে কাদা ও ব্যাক্টেরিয়া থাকে। ফটকিরি যোগ করলে ফটকিরির অ্যালুমিনিয়াম আয়ন (Al^{3+}) কণাগুলির আধান নষ্ট করে এবং কোলয়েডে তঞ্চন (Coagulation) হয়। ফলে ভাসমান অশুদ্ধি অধঃক্ষিপ্ত হয় এবং জল পরিষ্কার হয়।

(ছ) সাবানের পরিষ্কারক ক্রিয়া (Detergent action of soap) : বাষ্পায়িত অধিশোষিত তেল ধূলিকণা অধিশোষণ করে এবং বস্ত্রাদিকে নোংরা করে। জলের সঙ্গে তেল মেশে না কিন্তু সাবান সহযোগে জল ও তেলের পৃষ্ঠতলের আধান (interfacial tension) কমে যায় এবং জলে তেল ইমালসন তৈরী হয়। ফলে ধূলিকণা আলগা হয়ে যায় যা ঘর্ষণ দ্বারা দূর করা যায়।

(জ) বৃষ্টিপাত (Artificial rain) : মেঘের মধ্যে থাকে আহিত ভাসমান জলকণা। এখন উড়োজাহাজ থেকে বিপরীত আধানযুক্ত বালুকণা ছড়ান হয় এবং তখন আধান নষ্ট হয়ে মেঘের কোলয়েড অবস্থা নষ্ট হয়। ফলে জলের কণাগুলি যুক্ত হয়ে বৃহৎ আকার ধারণ করে বৃষ্টির সৃষ্টি করে।

(ঝ) নদীর মুখে ব-দ্বীপ গঠন (Delta formation) : নদীর জলে কাদামাটি আহিত অবস্থায় কোলয়েড অবস্থায় থাকে। সমুদ্রের মুখে নদীর জল যখন সংযুক্ত হয়, তখন সমুদ্রের জলের লবণ দ্বারা কাদামাটির আধান নষ্ট হয় এবং কাদামাটি অধঃক্ষিপ্ত হয়ে ব-দ্বীপ গঠন করে।

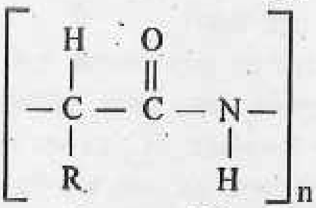
বৃহৎ অণু (Macromolecules)

9B.1 বৃহৎ অণু (Macromolecules)-র সংজ্ঞা

যখন একটি অণু বা অণুর সমষ্টি যাকে গঠনসংক্রান্ত একক বা পুনরাবৃত্তিশীল একক (structural unit) বলা হয়, সমযোজী বন্ধনীদ্বারা যুক্ত হয়ে পুনরাবৃত্ত হয় ও বৃহৎ আকারের অণু তৈরী করে, তখন সেই বৃহৎ আকারের অণুকে বৃহৎ অণু বলে। এই বৃহৎ অণুর আণবিক ওজন কয়েক হাজার থেকে কয়েক নিযুত হতে পারে। এদের পলিমারও বলা হয়। এই জাতীয় পলিমার সম্পর্কে উল্লেখযোগ্য গবেষণা করেন এইচ্, স্টাউডিন্জার (H. Staudeniger, 1920) এবং এই বিষয়ের উপর গবেষণা করে উনি রসায়নে 1953 সালে নোবেল পুরস্কার পান।

এ জাতীয় বৃহৎ অণু দুই প্রকারের হয়, (ক) প্রাকৃতিক (Natural) ও (খ) সাংশ্লেষিক (Synthetic)। প্রাকৃতিক গাম, রেসিন, রবার, সেলুলোজ, স্টার্চ, প্রোটীন, উৎসেচক, নিউক্লিক অ্যাসিড ইত্যাদি। অজৈব পলিমারের উদাহরণ সিলিকেট, পলিফসফেট, গাম ফসফরাস, প্লাস্টিক সালফার ইত্যাদি। সাংশ্লেষিক বৃহৎ অণু হ'ল প্লাস্টিক, সাংশ্লেষিক রবার, সাংশ্লেষিক তন্তু (fibre), রঙ, বার্নিশ ইত্যাদি।

যদিও সব পলিমার বৃহৎ অণু কিন্তু সব বৃহৎ অণুকে পলিমার বলা যায় না। যেমন পলিইথিলিন একটি রৈখিক বৃহৎ অণু, —$(CH_2)_n$—, যাতে পুনরাবৃত্তিশীল একক হ'ল —CH_2— গ্রুপ কিন্তু প্রোটীন অণু, যাকে



এইভাবে প্রকাশ করা হয়, এর পুনরাবৃত্তিশীল এককে R গ্রুপ পৃথক হতে পারে। R- গ্রুপের বিভিন্নতা হেতু 20 রকমের অ্যামিনো অ্যাসিড পাওয়া যায় এবং যারা যুক্ত হয়ে প্রোটীন অণু তৈরী করে। অ্যামিনো অ্যাসিডগুলোর বিশেষ সজ্জা প্রোটিনের ধর্মটির কার্যকারিতা নিরূপণ করে। অনুরূপ ভাবে DNA অণুর পুররাবৃত্তিশীল একক হ'ল ফসফরিক অ্যাসিড ও ডি অক্সিরাইবোস্-এর এস্টার এবং ঐ এককে একটি ক্ষারকীয় গ্রুপ থাকে। এখন ঐ ক্ষারকীয় গ্রুপ, অ্যাডিনিন, গোয়ানিন, সাইটোমিন ও থাইমিনের যে কোন একটি হতে পারে। সে কারণে পুনরাবৃত্তিশীল চার রকমের হতে পারে। এখানে বৃহৎ অণুতে ক্ষারকীয় গ্রুপের সজ্জা বিশেষ ধর্ম বহন করে।

9B.2 বহুলায়ন বিক্রিয়া (Polymerisation)

পলিমার দুইভাবে তৈরী হতে পারে। বিক্রিয়ার প্রকৃতি অনুযায়ী এদের বলা হয় (ক) সংযোজন বহুলায়ন বিক্রিয়া (addition polymerisation) এবং (খ) ঘনীভবন বহুলায়ন বিক্রিয়া (Condensation polymerisation)।

(ক) যদি পুনরাবৃত্তিশীল এককের রাসায়নিক সংযুতি একক অবস্থায় ও পলিমারে একইরূপ হয়, তখন

সেই পলিমারকে বলে সংযোজন পলিমার। যেমন ইথিলীন, মনোমার বা একক হতে তৈরী পলিইথিলীন পলিমার।

$$\underset{\text{ইথিলীন}}{>C=C<} \quad \rightarrow \quad \underset{\text{পলিইথিলীন}}{—(CH_2—CH_2)_n—}$$

(খ) যদি পুনরাবৃত্তিশীল এককের রাসায়নিক সংযুতি পলিমার অবস্থায় ভিন্ন হয়, তখন সেই পলিমারকে ঘনীভবন পলিমার বলা হয়। যেমন পলিস্টার বা পলি অ্যামাইড যেখানে প্রতি দুটি মনোমার হতে এক অণু নির্গত হয়ে পলিমার তৈরী হয়। যেমন এক লক্ষ আণবিক ওজন বিশিষ্ট পলিমারের সঙ্গে ওজন হিসাবে শতকরা 1 ভাগ এক হাজার আণবিক ওজন বিশিষ্ট পদার্থ থাকলে $\overline{Mn}$-এর মান হয় 50,000 কিন্তু দশ লক্ষ আণবিক ওজন বিশিষ্ট পদার্থ শতকরা 1 ভাগ থাকলে $\overline{Mn}$-এর মান হয় 101,000 অর্থাৎ এক লক্ষ এক হাজার।

9B.3 ওজনায়িত গড় আণবিক ওজন (Weighted average molecular weight)

এরূপ আণবিক ওজনকে প্রকাশ করা হয় নিম্নলিখিত ভাবে —

$$\overline{Mw} = \frac{m_1M_1 + m_2M_2 + \ldots\ldots}{m_1 + m_2 + \ldots\ldots} = \frac{\Sigma n_iM_i^2}{\Sigma n_iM_i}$$

এখানে m_1, m_2 ...... অর্থাৎ সাধারণভাবে m_i হল i প্রকারের অণুর মোট ওজন।

এক বিস্তৃত দশা বিশিষ্ট তন্ত্রে M_n ও M_w একই তাছাড়া M_w মান M_n এর থেকে সবসময় বেশী। M_w এর ক্ষেত্রে বৃহৎ আকারের অণুর প্রভাব বেশী। যেমন একলক্ষ আণবিক ওজন বিশিষ্ট পলিমারে ওজন হিসাবে শতকরা এক ভাগ এক হাজার আণবিক ওজন বিশিষ্ট পদার্থের উপস্থিতিতে M_w এর মান হয় 99,000, কিন্তু একই পরিমাণ দশ লক্ষ আণবিক ওজন বিশিষ্ট পদার্থের উপস্থিতিতে M_w এর মান দাঁড়ায় 109,000।

আণবিক ওজন নির্ণয় (Determination of molecular weight of macromolecules) :

9B.3.1 অভিসারক চাপ পদ্ধতি (Osmotic Pressure method)

বৃহৎ অণুজাতীয় পদার্থের আণবিক ওজন বিভিন্ন সংখ্যাগত ধর্ম (Colligative properties) পরিমাপ করে নির্ণয় করা সম্ভব। তবে এদের আণবিক ওজন যথেষ্ট বেশী হওয়ায় (আণঃ ওজন 10,000-এর বেশী), নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বে অণুর সংখ্যা অনেক কম ফলে সংখ্যাগত ধর্মের মানের পরিবর্তন খুব কম হয়। এর ফলে পরিমাপ কষ্টসাধ্য হয়। অভিসারক চাপ পদ্ধতিতে তুলনামূলকভাবে অনেকটা নির্ভুলভাবে আণবিক ওজন নির্ণয় সম্ভব যদিও খুব বেশী আণবিক ওজনের ক্ষেত্রে (তা অযুত বা তার বেশী, 1,000,000) নির্ণয় নির্ভুল নয়।

বৃহৎ অণুর দীর্ঘ নমনীয় (flexible chain) এলোমেলোভাবে কুণ্ডলীকৃত (randomly coiled) অবস্থায়

থাকে। এই অবস্থায় অনেক দ্রাবক অণু শৃঙ্খলের মধ্যে আবদ্ধ থাকে ফলে মুক্ত দ্রাবক অণুর সংখ্যা যথেষ্ট কম। এই কারণে কার্যকারী গাঢ়ত্ব (effective concentration) অনেক কম হয় এবং আন্তঃআণবিক আন্তক্রিয়া (intermolecular interaction) বেশী হয় এবং দ্রবণ আদর্শ দ্রবণের মত আচরণ করে না। সেকারণে নির্ভুলভাবে আণবিক ওজন বের করার জন্য বিভিন্ন গাঢ়ত্বে অভিসারক চাপ মাপা হয় এবং তা অসীম লঘুতায় প্রসারিত করা হয় (extrapolated)।

ভ্যান্ট হফ্ সমীকরণ (অভিসার চাপ সম্পর্কে) হ'ল—

$$\pi = CRT \quad ....(1)$$

যেখানে π = অভিসারক চাপ
C = আণব গাঢ়ত্ব
R = সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক
T = পরম তাপমাত্রা

প্রতিস্থাপিত ভিনাইল মনোমার, Cu_2 = CRR'-এর α.C অপ্রতিসম হওয়ায়, মনোমার অলোকসক্রিয়। এই মনোমার যখন পলিমার তৈরী করে তখন একান্তর কার্বন পরমাণুগুলি (α.C) আলোক সক্রিয় হওয়ার জন্য, অর্থাৎ ঐ কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত গ্রুপগুলির ত্রিমাত্রিয় বিন্যাস বিভিন্নরকম হতে পারে। এর ফলে এই মনোমার হতে প্রাপ্ত পলিমার তিন ধরনের হয়। যথা —

(ক) যদি সমস্ত অপ্রতিসম কার্বন পরমাণুগুলির সঙ্গে যুক্ত মূলকগুলির ত্রিমাত্রিক বিন্যাস (দক্ষিণাবর্তী, d বা l, dextrorotatory or laevo-rotatory) একইরকম হয় তখন ঐ পলিমারকে বলে আইসোট্যাকটিক (isotactic polymer) পলিমার।

(খ) যদি অপ্রতিসম কার্বন পরমাণুগুলির সঙ্গে যুক্ত মূলকগুলির ত্রিমাত্রিক বিন্যাস পর্যায়ক্রমে পরিবর্তিত হয় অর্থাৎ d- এবং l- পর্যায়ক্রমে হয়, তবে γ পলিমারকে বলে সিন্ডিওট্যাকটিক পলিমার (Syndiotactic polymer)।

(গ) যদি অপ্রতিসম কার্বন পরমাণুগুলির সঙ্গে যুক্ত মূলকগুলির ত্রিমাত্রিক বিন্যাস অনিয়মিত হয়, তবে ঐ পলিমারকে বলে অ্যাটাক্টিক পলিমার (atactic)।

যদি পুনরাবৃত্তিশীল একক একাধিক ধরনের হয় এবং তারা অনিয়মিত ভাবে যুক্ত হয়ে পলিমার তৈরী করে তখন সেই পরিমারকে বলে সহ পলিমার (co-polymer)। যেমন প্রোটীন, নিউক্লিক অ্যাসিড ইত্যাদি।

9B.3.2 বৃহৎ অণুর অণবিক ওজন (Molecular weight of Macromolecules)

বৃহৎ অণুর দ্রবণে যদি একই আণবিক ওজন বিশিষ্ট অর্থাৎ একই দৈর্ঘ্যযুক্ত শৃঙ্খল থাকে তখন সেই সিস্টেম বা তন্ত্রকে এক বিস্তৃত দশা বিশিষ্ট তন্ত্র বলে (monodisperse)। অধিকাংশ প্রোটীন-দ্রবণ এক বিস্তৃত দশা বিশিষ্ট তন্ত্র।

তবে অধিকাংশ পলিমার দ্রবণে, বিশেষতঃ কৃত্রিম রৈখিক পলিমার দ্রবণে একাধিক আণবিক ওজন বিশিষ্ট অণু থাকে। এই ধরনের দ্রবণকে 'বহু বিস্তৃত দশা বিশিষ্ট তন্ত্র' (polydisperse) বলে। এই ধরনের তন্ত্রে পলিমারের শৃঙ্খল দৈর্ঘ্য বিভিন্ন হয়। তাই আণবিক ওজন প্রধানতঃ দুইভাবে প্রকাশ করা হয়।

(ক) সংখ্যা গড় আণবিক ওজন **(Number average molecular weight, $\overline{M_n}$) :**

বিস্তৃত দশায় মোট ওজনকে বিস্তৃতদশার অণুর মোট সংখ্যা দিয়ে ভাগ করলে এই আণবিক ওজন পাওয়া

যায়। এটি প্রকাশ করা হয় নিম্নলিখিত ভাবে — .

$$\overline{Mn} = \frac{n_1M_1 + n_2M_2 + ...}{n_1 + n_2 + ...} = \frac{\Sigma n_i M_i}{\Sigma n_i}$$

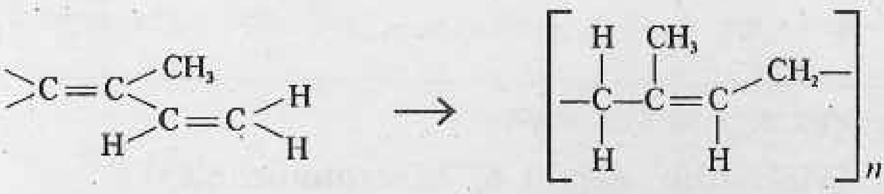
এখানে n_1, n_2 ...... ইত্যাদি অর্থাৎ সাধারণভাবে n_i হল i প্রকারের অণুর মোট সংখ্যা এবং M_1, M_2 ..... সাধারণভাবে M_i হ'ল i প্রকারের অণুর আণবিক ওজন। সংখ্যাগত ধর্মের ভিত্তিতে যে আণবিক ওজন বের করা হয় তা এইরকম। এই আণবিক ওজন যেহেতু অণুর সংখ্যার উপর নির্ভর করে, অণুর আকারের উপর নয় সেকারণে নির্দিষ্ট ওজন বিশিষ্ট ক্ষুদ্র আকারের অণু সম ওজন বিশিষ্ট বড় আকারের অণু অপেক্ষা বেশী প্রভাব বিস্তার করে।

ধরণ	মনোমার	পলিমার
পলিএস্টার	$HO—(CH_2)_x—C(=O)OH$	$—[O—(CH_2)_x—C(=O)—]_n$
পলিঅ্যামাইড	$NH_2—(CH_2)_x—C(=O)OH$	$—[NH—(CH_2)_x—C(=O)—]_n$

পলিমারের গঠন অনুযায়ী পলিমার বিভিন্নরূপ হতে পারে। যেমন—

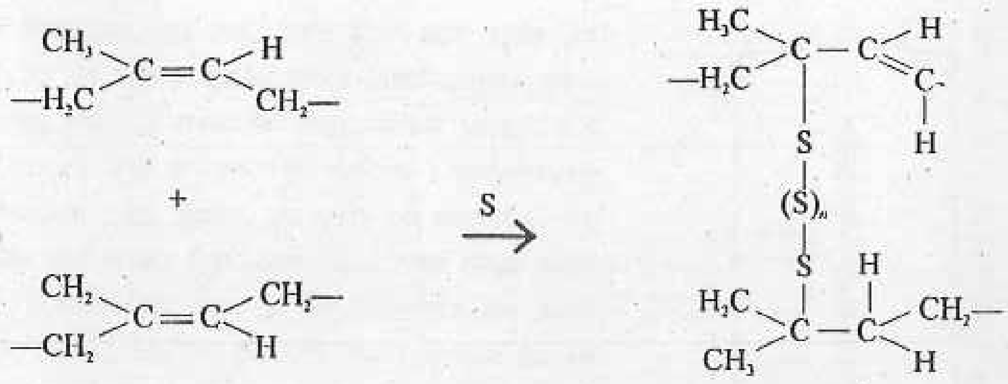
(ক) রৈখিক পলিমার (linear polymer) এখানে মনোমার দীর্ঘ শৃঙ্খল আকারে যুক্ত হয়। যেমন পলি ইথিলীন (কম তাপমাত্রায়), পলি এস্টার ইত্যাদি।

(খ) শাখাযুক্ত পলিমার (Branched polymer) ঃ এরূপ পলিমার মনোমার পার্শ্বশৃঙ্খল তৈরী করে। যেমন আইসোপ্রিনে (isoprene), দ্বিতীয় কার্বন পরমাণু থেকে শাখাশৃঙ্খল তৈরী হতে পারে।



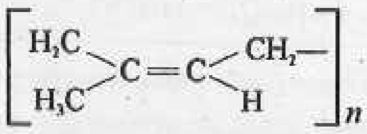
আইসোপ্রিন পলিআইসোপ্রিন

(গ) আড়াআড়ি শৃঙ্খলযুক্ত পলিমার (crosslinked polymer) —দুটি বা ততোধিক রৈখিক শৃঙ্খলের মধ্যে আড়াআড়ি ভাবে শৃঙ্খল তৈরী হলে এরূপ পলিমার তৈরী হয়। আড়াআড়ি শৃঙ্খল থাকলে পলিমার অদ্রাব্য হয়ে যায়। যেমন দুটি রৈখিক পলি আইসোপ্রীন শৃঙ্খলের মধ্যে সালফারের শৃঙ্খল আড়াআড়ি ভাবে থেকে দুটি রৈখিক শৃঙ্খলকে যুক্ত করলে এক বিশেষ ধরনের রবার পাওয়া যায়, যা সাধারণ রবার থেকে দৃঢ়। এরকম রবার কে বলা হয় 'ভালকানাইজ্ড্' রবার এবং এই পদ্ধতিকে বলে ভালকানাইজেশান (vulcanization)।

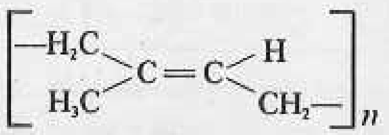


আইসোপ্রীন (Isoprene) ভালকানাইজড় রবার

প্রাকৃতিক রবারে H ও CH_3 গ্রুপ সিস্ (Cis) গঠনে থাকে এবং এক বিশেষ ধরণের রবারের গাছ থেকে প্রাপ্ত রস (Sap) বা রবার যাকে বলে গুটা-পার্চা (Gutta-percha), H- ও CH_3 গ্রুপদ্বয় ট্রান্স্ (trans) অবস্থায় থাকে।



প্রাকৃতিক রবার



গুটা-পার্চা

অসীম লঘুতায় এই সমীকরণ হয়,

$$\underset{T\to 0}{Lt}\left(\frac{\pi}{C}\right) = RT \quad \text{বা,} \quad \underset{T\to 0}{\text{সীমাস্থ}}\left(\frac{\pi}{C}\right) = RT$$

$$\text{বা সীমাস্থ}_{T\to 0}\ \frac{\pi}{C'} = \frac{RT}{M}$$

যেখানে C' = একক আয়তনে বর্তমান বৃহৎ অণুজাতীয় পদার্থের ওজন

M = বৃহৎ অণুর আণবিক ওজন

সমীকরণ (2) কে বলা হয় ভন্ট্ হফের চরম সূত্র (Limiting law of Vant Hoff equation)। বিভিন্ন গাঢ়ত্বে অভিসারক চাপ (π) মাপা হয় এবং $\frac{\pi}{C}$ কে C এর বিপরীত লেখ অঙ্কিত করা হয়। এই লেখ সরলরৈখিক হয় এবং প্রসারিত করে $C' = 0$ তে সীমাস্থ $\left(\frac{\pi}{C'}\right)$ এর মান বের করা হয়। সেই মান থেকে M এর মান বের করা হয়।

অভিসারক মাপা হয় যে যন্ত্রে তা দেখান হল।

সেলোফেনের (Cellophene membrane) পাৎলা চাদর অর্দ্ধপ্রবেশ্য ঝিল্লী হিসাবে ব্যবহার করা হয়। দীর্ঘ সরু নল (কৈশিক নল) যুক্ত উল্টোন ফানেলাকৃতির এক যন্ত্রের মুখে। ভিতরে বৃহৎ অণুর দ্রবণ নেওয়া

হয়, বাইরে থাকে বিশুদ্ধ দ্রাবক। জল ছাড়া অন্য দ্রাবক ব্যবহার করলে, সেলোফেনকে ঐ দ্রাবকে ভিজিয়ে ব্যবহার করা হয়। কৈশিক নলে দ্রাবকের উর্দ্ধগমন থেকে অভিসারক চাপ মাপা হয়। ওজন হিসাবে শতকরা 1 ভাগ বৃহৎ অণুর (এক লক্ষ আণবিক ওজন বিশিষ্ট) দ্রবণে অভিসারক চাপ পাওয়া যায় মোটামুটি 25.2 মিলি জলস্তম্ভের চাপের সমান। আদর্শ অবস্থা থেকে বিচ্যুত হওয়ার জন্য অভিসারক চাপের মান সাধারণতঃ বেশী হয় এবং এই পদ্ধতিতে পরিমাণ অনেকটা নির্ভুলভাবে করা যায়। এই পদ্ধতিতে যে আণবিক ওজন পাওয়া যায় তা হ'ল সংখ্যা গড় আণবিক ওজন।

9B.3.2 ডোনান সাম্য (The Donnan Equilibrium)

আহিত বৃহৎ অণুর আণবিক ওজন (যথা প্রোটিনের আণবিক ওজন) অভিসারক চাপ পদ্ধতিতে নির্ণয় করলে, সাধারণতঃ ঐ মান অন্য পদ্ধতির তুলনায় কম হয়। এর কারণ ডোনান সাম্য। যখন বৃহৎ অব্যাপন যোগ্য আয়ন (যেমন প্রোটীন আয়ন) অর্ধপ্রবেশ্য ঝিল্লীর দ্বারা ব্যাপনযোগ্য তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থ থেকে পৃথক রাখা হয় তখন ঝিল্লীর দুই পাশে তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের গাঢ়ত্বের প্রভেদ থাকে। তাকেই বলে ডোনান সাম্য।

ধরাযাক C_1 গাঢ়ত্বে NaCl অর্ধপ্রবেশ্য ঝিল্লীর দ্বারা C_2 গাঢ়ত্বে NaR, যেখানে R^- অব্যাপনযোগ্য আয়ন, হতে আলাদা রাখা হল। কিছু পরিমাণ ধরা যাক x' গাঢ়ত্বে NaCl ব্যাপিত হয়ে সাম্যাবস্থায় প্রাপ্ত হল। সুতরাং সাম্যাবস্থায় লেখা যেতে পারে,

প্রথম অবস্থায়

1		:	2		
Na^+	Cl^-	:	Na^+	R^-	
C_1	C_1	:	C_2	C_2	

সাম্যাবস্থায়

Na	Cl^-	:	Na^+	Cl^-	R^-
(C_1-x)	(C_1-x)	:	C_2+x	x	C_2

অর্ধপ্রবেশ্য ঝিল্লী

পর্দার দুই পার্শে সম পরিমাণ ধণাত্মক ও ঋণাত্মক আধান থাকবে কারণ উভয়দিক তাড়িৎ-নিষ্ক্রিয় হবে। সাম্যাবস্থায় NaCl এর রাসায়নিক বিভব (Chemical potential) উভয়দিকে একই হবে। সুতরাং লেখা যেতে পারে,

$\mu NaCl_1 = \mu NaCl_2$

অর্থাৎ $\mu^0 + RT \ln (a_{NaCl})_1$

$= \mu^0 + Rt \ln (a_{NaCl})_2$

অর্থাৎ, $(aNaCl)_1 = (aNaCl)_2$

অর্থাৎ, $(aNa^+)_1 \times (a_{a-})_1 = (a_{Na+})_2 \ (a_{a-})_2$

যেখানে, $\mu NaCl_1$ ও $\mu NaCl_2$ হল দুইদিকে (অর্থাৎ 1 ও 2) NaCl এর রাসায়নিক বিভব।

μ^0 = প্রমাণ অবস্থায় রাসায়নিক বিভব

$aNaCl_1$ বা $aNaCl_2$ হল দুইদিকে (অর্থাৎ 1 ও 2নং চিহ্নিত দিক NaCl এর অ্যাক্টিভিটি।

$(a_{Na+})_1$ ইত্যাদি বাম দিকে বা ডান দিকে আয়নের অ্যাকটিভিটি লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে অ্যাকটিভিটিকে আণব গাঢ়ত্বে (C) প্রকাশ করে আমরা পাই,

$(C_{Na+})_1 \ (e_{Cl-})_1 = (C_{M+})_2 \ (e_{Cl-})_2$

অর্থাৎ,

$(C_1 - x) \ (C_1 - x) = (C_2 + x)^x$

অর্থাৎ, $C_1^2 - 2C_1x + x^2 = C_2x + x^2$

অর্থাৎ, $\frac{x}{C_1} = \frac{C_1}{C_2 + 2C_1}$ ....(1)

সুতরাং (1) নং সমীকরণ থেকে দেখা যায়, R^- এর উপস্থিতিতে NaCl এর ব্যাপন প্রভাবিত হয়। x/C_1 নির্দেশ করে, NaCl এর কত অংশ ব্যাপিত হয়েছে। C_2 এর মান যত বাড়বে, x/C_1 বা NaCl এর ব্যাপন তত কম হবে। C_2 এর মান যত কম হবে, x/C_1 মান ½ এর দিকে অগ্রসর হবে এবং NaCl এর নিয়মিত ব্যাপন হবে। দ্রবণকে লঘু ধরে, অভিসারক চাপ নির্ণয় করা যায়,

$\pi = C'RT$

যেখানে π = অভিসারক চাপ (প্রোটিনের)

C' = অর্ধপ্রবেশ্য ঝিল্লীর দুদিকের গাঢ়ত্বের প্রভেদ

অর্থাৎ, $\pi = RT\,[(C_1 + x) + x + C_2 - 2(C_1 - x)]$

$= RT \ (2C_2 + 2x - 2C_1 + 2x) = 2RT \ (C_2 - C_1 + 2x)$ ....(2)

আদর্শ অবস্থায় অভিসারক চাপ বা

$\pi = 2RTC_2$

সুতরাং যদি তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের গাঢ়ত্ব কম থাকে (C_1-10), তবে $\pi = 2RT(C_2+2x)$, অর্থাৎ অভিসারক চাপের মান আদর্শ অবস্থার চাইতে বেশী। এখন তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের গাঢ়ত্ব খুব শেী হলে (1) নং সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়,

$\frac{x}{C_1} = \frac{C_1}{2C_1}$ অর্থাৎ, $C_1 = 2x$ ....(3)

(2) নং সমীকরণে $C_1 = 2x$ ব্যবহার করে পাওয়া যায়

$\pi = 2RT\ (C_2-2x+2x) = 2RTC_2$

অর্থাৎ আদর্শ অবস্থায় মান। এই কারণে প্রোটীন জাতীয় বৃহৎ অণুর আণবিক ওজন নির্ণয় করা হয় অত্যাধিক তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের উপস্থিতিতে যখন ($2x = C_1$ হওয়ায়) ঝিল্লীর উভয়দিকে তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের গাঢ়ত্ব সমান হয় এবং ডোনান সাম্যের প্রভাব কমে যায়।

9B.3.4 সান্দ্রতা পদ্ধতি (Viscosity method)

এইচ্ স্টাউডিন্জার (1930) প্রথম উল্লেখ করেন যে পলিমারের লঘু দ্রবণে দ্রবণের সান্দ্রতা পলিমারের আণবিক ওজনের উপর নির্ভর করে এবং রৈখিক পলিমারের অনুরূপ (homologous) শ্রেণীতে নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বে দ্রবণের সান্দ্রতা আণবিক ওজনের বৃদ্ধির সঙ্গে নিয়মিত ভাবে বৃদ্ধি পায়। যদিও স্টাউডিন্জার পলিমারের আণবিক ওজন ও সান্দ্রতাংকের মধ্যে একটি পরীক্ষামূলক সম্পর্ক স্থাপন করেন, এর জন্য তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা পাওয়া যায় (ডব্লিউ কুন, W. Khun, 1932, এম. এল্. হাজিন্স্, 1938)।

বৃহৎ অণু দ্রবণকে অসমসত্ত্ব করে ফলে দ্রাবকের গতি রোধপ্রাপ্ত হয় এই কারণে সান্দ্রতা বৃদ্ধি পায়। যদি η ও η_0 যথাক্রমে দ্রবণ ও দ্রবণের সান্দ্রতাংক হয়, তবে η/η_0 বলা হয় দ্রবণের আপাত সান্দ্রতা (relative viscosity) (η_r) এবং (η_r–1) বলা হয় আপেক্ষিক সান্দ্রতা (specific viscosity, η_{sp})।

অতএব, $$\frac{\eta-\eta_0}{\eta_0} = \frac{\eta}{\eta_0}-1 = \eta_r-1 = \eta_{sp}$$

$\eta_{sp/C}$ অর্থাৎ প্রতি পলিমারের প্রতি একক গাঢ়ত্বে দ্রবণের আপেক্ষিক সান্দ্রতা বৃদ্ধি (relative increase in viscosity), পলিমারের আণবিক ওজনের উপর নির্ভর করে। যেহেতু এই রাশিটি, $\eta_{sp/C}$, গাঢ়ত্বের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়, সেকারণে $\eta_{sp/C}$ এবং C-এর লেখচিত্র অসীম লঘুতায় প্রসারিত করা হয়। অসীম লঘুতায় $\eta_{sp/C}$ এর মান কে বলে স্বকীয় সান্দ্রতা (intrinsic viscosity), [η], অর্থাৎ

$$[\eta] = \underset{C\to 0}{\text{সীমাঙ্ক}} \left(\frac{\eta_{sp}}{C}\right)$$

যেহেতু η_{sp} একক বিহীন [η] এর একক নির্ভর করে C-এর এককের উপর। যেহেতু C কে প্রকাশ করা হয় সাধারণতঃ দ্রবণের 100 মিঃ লিঃ-এ যত গ্রাম থাকে, সেকারণে [η] এর এককপ্রতি গ্রামে ডেসিলিটার। স্বকীয় সান্দ্রতা ও আণবিক ওজনের (বৃহৎ অণু)) সম্পর্ক প্রকাশ করা হয় নিম্নলিখিত ভাবে —

$[\eta] = K\ M^{\alpha}$ ....(1)

যেখানে K হল পলিমার দ্রাবক তন্ত্রের ধ্রুবক
M হল পলিমারের আণবিক ওজন এবং
∝ একটি সংখ্যা যা অণুর আকৃতির উপর নির্ভর করে।

তাত্ত্বিক ভাবে বলা যায়, দীর্ঘ দৃঢ় গোলাকাকার অণুর ক্ষেত্রে ∝ এর মান 0, এলোমেলোভাবে কুণ্ডলীকৃত শৃঙ্খলাকার অণুর জন্য ∝ এর মান 0.5 থেকে 0.8 এবং দৃঢ় দণ্ডাকার অণুর জন্য ∝ এর মান 2·1 অ্যামাইলোজের ক্ষেত্রে ∝ এর মান নিরূপণ করা হয়েছে 1·5 এবং আলোক-বিক্ষেপণ পদ্ধতিতে দেখা গেছে অ্যামাইলোজের অণু দণ্ডাকার।

এই পদ্ধতিতে আণবিক ওজন বের করার জন্য K ও ∝ এর মান জানার দরকার। এর জন্য ভিন্ন পদ্ধতিতে যথা অভিসারক চাপ পদ্ধতি, থিতানো পদ্ধতি বা আলোক বিক্ষেপন পদ্ধতিতে একটি নির্দিষ্ট পলিমারের বিভিন্ন আকারের অণুর আণবিক ওজন নির্ণয় করা হয়। তার পর log[n] কে log M এর বিপরীতে লেখচিত্র অঙ্কন করা হয় এবং সরলরৈখিক লেখচিত্রের নতি থেকে ∝ মান (নতি = ∝) ও অন্তর্দৈর্ঘ্য (intercept) হতে 3C মান (অন্তর্দৈর্ঘ্য = logK) পাওয়া যায়। এইভাবে K ও ∝ মান নির্ণয় করে γ শ্রেণীর অজ্ঞাত আকারের অণুর আণবিক ওজন নির্ণয় করা যায়। এই ভাবে যে আণবিক ওজন পাওয়া যায় তা এক বিশেষ গড় আণবিক ওজন এবং একে বলা হয় সান্দ্রতা গড় আণবিক ওজন (Viscosity average molecular weight)। এই গড়, ওজন গড় আণবিক ওজন থেকে সামান্য পৃথক হয়। প্রসঙ্গতঃ বলা যায় এই পদ্ধতি নির্ভরশীল (secondary) পদ্ধতি কারণ অন্য পদ্ধতি অবলম্বন করে K ও ∝ মান নির্ণয় প্রথমে প্রয়োজন। তা সত্ত্বেও K ও ∝ মান জানার পর পলিমার তৈরীর সময় বিভিন্ন মুহূর্তে পলিমারের আণবিক ওজন এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা সম্ভব।

(৩) আলোক বিক্ষেপ পদ্ধতি (Light Scattering Method) ঃ

কোন তরলের একটি নির্দিষ্ট ক্ষুদ্র অংশে নিয়মিত তরল অণুর তাপীয় গতির জন্য অণুর সংখ্যা বিভিন্ন সময় বিভিন্ন রকম হয়। দীর্ঘ সময়ে যদিও অণুর গড় সংখ্যা এরূপ সমস্ত অংশে একই হবে, কিন্তু একটি নির্দিষ্ট মুহূর্তে অণুর সংখ্যা একরূপ হবে না। এর ফলে তরলের একটি নির্দিষ্ট অংশে ঘনত্ব অনবরত পরিবর্তিত হবে এবং যার জন্য γ অংশে তরলের প্রতিসরণাঙ্ক অনবরত পরিবর্তিত হবে। এই কারণে তরলে আলোক আপতিত হলে আলোকের বিক্ষেপ হবে। তরলে দ্রাব উপস্থিত থাকলে তার গাঢ়ত্বের পরিবর্তন হেতু বিক্ষেপ বৃদ্ধি পাবে। এই কারণে অনেক সময়ে অস্বচ্ছ দেখায়। তরলের একক দৈর্ঘের আলোক পথের জন্য আলোকের যত অংশ বিক্ষেপিত হয়, তাকে বলে টারবিডিটি (turbidity) (T) এবং দ্রাবের গাঢ়ত্ব পরিবর্তন হেতু যে টারবিডিটি তা হল সল এবং বিস্তার মাধ্যমের টারবিডিটির পার্থক্য। নীতিগতভাবে T মাপা হয়, তরলের মধ্য দিয়ে নিষ্ক্রান্ত আলোকে রশ্মির তীব্রতার হ্রাস মেপে বা 90^0 কোণে বিক্ষেপিত আলোকের তীব্রতা মেপে। দ্বিতীয় পদ্ধতিটি সুবিধাজনক কারণ প্রথম পদ্ধতিতে নিষ্ক্রান্ত আলোকের তীব্রতার হ্রাস কম হয়।

পি. ডিবাই (P. Debye, 1944) বৃহৎ অণুর আণবিক ওজনের সঙ্গে টারবিডিটির সম্পর্ক নিরূপণ করেন।

$$\text{সীমান্থ}_{C\to 0} \quad H\frac{C}{J} = \frac{1}{M} \quad ....(1)$$

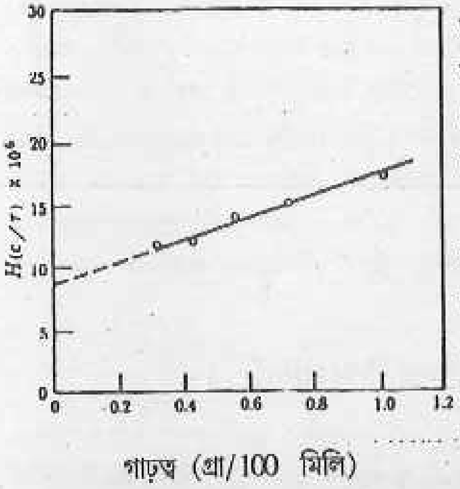
যেখানে C = বৃহৎ অণুর গাঢ়ত্ব

M = বৃহৎ অণুর আণবিক ওজন

এবং H হল একটি ধ্রুবক যা বিস্তৃত

দশা ও বিস্তার মাধ্যমের প্রকৃতির উপর, গাঢ়ত্বের পরিবর্তন হেতু প্রতিসরণাঙ্কের পরিবর্তনের উপর ও ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘের উপর নির্ভর করে। এই পদ্ধতিতে আণবিক ওজন নিরূপনের জন্য, টারবিডিটি ও বিভিন্ন গাঢ়ত্বে প্রতিসরণাঙ্ক জানা দরকার। তারপর $H\frac{C}{J}$ কে C এর বিপরীত লেখচিত্র অঙ্কন করা হয় এবং γ সরলরৈখিক লেখকে C = 0 তে প্রসারিত করা হয়। সেলুলোজ অ্যাসিটেটের ক্ষেত্রে পরীক্ষালব্ধ ফল নীচের চিত্রে দেখান হল।

এই পদ্ধতিতে নিরূপিত আণবিক ওজন ওজন গড় আণবিক ওজন $(\overline{M}_w)$।



দ্রবণের টারবিডিটি (বৃহৎ অণুর জন্য) নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বে আণবিক ওজনের সঙ্গে বৃদ্ধির পাই (সমীকরণ 1)। সুতরাং এই পদ্ধতির সঠিকতা আণবিক ওজনের বৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়। সাধারণত যখন অভিসারক চাপ পদ্ধতি ব্যবহার করা যায় না, অর্থাৎ অনেক ওজন খুব বেশী হলে (10 লক্ষের বেশী) এই পদ্ধতি খুবই উপকারী।

যখন বৃহৎ অণুর আকার খুব বড় হয় এবং প্রায় আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান হয়, তখন অণুর বিভিন্ন অংশের দ্বারা আলোকের বিক্ষেপ হওয়ায় বিধ্বংসী ব্যতিচার (destructure interference) দেখা যায়। এর ফলে বিক্ষেপিত আলোকের তীব্রতা হ্রাস পায় এবং বিক্ষেপের মাত্রা নির্ভর করে কোণের উপর। আবার বিভিন্ন কোণে বিক্ষেপের মাত্রা (angular variation of the scattered light) নির্ভর করে অণুর আকৃতির উপর। সুতরাং অণুর বিভিন্ন আকৃতির জন্য বিভিন্ন নির্দিষ্ট কোণে বিক্ষেপের মাত্রা নির্ধারিত হয়। এইভাবে একটি নির্দিষ্ট আকৃতির অণুর জন্য যে নির্দিষ্ট কোণে আলোকের বিক্ষেপ যথেষ্ট হয় তা গণনা করে বলা যায় এবং পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে তুলনা করা যায়। এইভাবে বিভিন্ন বৃহৎ অণুর আকৃতি নির্ণয় সম্ভব যেমন অ্যামাইলোস্ ও ফাইব্রিনোজেন (amylose & fibrinogen) দণ্ডাকার, জিলাটিন এবং পলিস্টাইরিন (gelatine & polystyrene) অনিয়মিত কুণ্ডলী আকারের এবং সিরাম অ্যালবুমিন (serum albumin) গোলকাকার। সুতরাং আলোক বিক্ষেপ পদ্ধতি, বৃহৎ অণুর আকৃতি জানার জন্য খুবই উপযোগী।

9B.3.5 পরা-অপকেন্দ্রক পদ্ধতি (Ultracentrifuge method)

অভিকর্ষজ বলের প্রভাবে কোলয়েডের বিস্তৃত দশার থেতানোর সাহায্যকারী খুবই নগণ্য, যা টি. সোভড্‌বার্জ (T. Svedberg, 1925) এবং তাঁর সাহায্যকারী বৈজ্ঞানিকদের দ্বারা উদ্ভাবিত একটি বিশেষ যন্ত্রের দ্বারা অনেক বেশী গুণ করা সম্ভব। টি. সেভেড্‌বার্জ এই যন্ত্রের আবিষ্কারের জন্য নোবেল পুরস্কার প্রাপ্ত হন। এই যন্ত্রের নাম পরা-অপকেন্দ্রক (Ultracentrifuge)।

অপকেন্দ্রিক বলের প্রভাবে কোন থেতানো কণার উপর প্রযুক্ত ত্বরণ, $\omega^2 x$ যেখানে ω = কণার কৌণিক বেগ ($2\pi \times$ প্রতি সেকেণ্ডে ঘূর্ণনের সংখ্যা) এবং x = ঘূর্ণন অক্ষ থেকে কণার দূরত্ব। সুতরাং প্রতি সেকেণ্ডে ঘূর্ণনের সংখ্যা বৃদ্ধি করে থেতানোর হার বহুগুণ বাড়ান যায়।

কোন কোন পরা-অপকেন্দ্রিক যন্ত্রে প্রতি সেকেণ্ডে ঘূর্ণনের সংখ্যা 1000 করা সম্ভব। যদি কোন কণা ঘূর্ণন অক্ষ থেকে 10 সেমি. দূরে থাকে, তবে অপকেন্দ্রিক (centrifugal) বলের প্রভাবে প্রযুক্ত ত্বরণের মান $W^2x = (2\pi \times 1000)^2 \times 10 = 3.94 \times 10^8$ প্রতি বর্গ সেকেণ্ড সেমি অর্থাৎ অভিকর্ষজ ত্বরণ (981 সেমি. প্রতি

বর্গ সেকেণ্ড) এর প্রায় 400,000 গুণ ত্বরণ সৃষ্টি সম্ভব। এর ফলে থেতানোর হার (rate of sedimentation) অভিকর্ষজ বলের প্রভাবে থেতানোর হারের প্রায় 400,000 গুণ হবে।

এই যন্ত্রে যখন বৃহৎ অণুর দ্রবণ অর্থাৎ কোলয়েডকে একটি প্রকোষ্ঠে (cell) নিয়ে প্রায় অপকেন্দ্রিয় বলের প্রভাবে ঘোরান হয় তখন কোলয়েডে উপস্থিত কণাগুলি তরঙ্গের আণবিক ওজন অনুযায়ী ঘূর্ণন অক্ষের সঙ্গে উলম্বভাবে স্তরীভূত হয়। সাম্যাবস্থায় বৃহত্তম কণা সবার প্রান্তে (periphery) থাকে। এখন γ প্রকোষ্ঠের উলম্বভাবে এবং ঘূর্ণন অক্ষের সমান্তরালভাবে আলোক রশ্মি কোলয়েডের মধ্যে আপতিত করে, কোলয়েডের বিভিন্ন অংশে প্রতিসরাঙ্ক তথা গাঢ়ত্ব নির্ণয় করা যায়। এভাবে কণা থেতাঙ্কের বেগ নির্ণয় সম্ভব। পরা অপকেন্দ্রক যন্ত্রে দু ভাবে কাজ করা হয়। (ক) থিতানো বেগ পদ্ধতি (Sedimentation velocity method) এবং (খ) থিতানো সাম্য পদ্ধতি (sedimatation equilibrum method)।

9B.3.6 পলল-গঠন বেগ পদ্ধতি (Sedimentation velocity method)

এই পদ্ধতিতে পরা-অপকেন্দ্রিক যন্ত্রের একটি বিশেষ আকারের প্রকোষ্ঠে (cell) বৃহৎ অণুর দ্রবণ নিয়ে প্রচণ্ড বেগে ঘোরান হয়। এভাবে দ্রবণে যে অপকেন্দ্রিক বল প্রযুক্ত হয় তা অভিকর্ষজ বলের এক নিযুত গুণ বেশী।

ঘূর্ণন অক্ষ থেকে x দূরত্বে ω কৌণিক বেগের প্রভাবে যে অপকেন্দ্রিক বল প্রযুক্ত হয় তা অভিকর্ষজ বলের ω^2x/g গুণ। যখন অপকেন্দ্রিক বল ও বিপরীতমুখী ঘর্ষণজনিত বল সমান হয় তখন সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হয়। এই অবস্থায় লেখা যেতে পারে,

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2w^2\alpha r^2(\rho-\rho')}{9\eta} \quad ....(1)$$

যেখানে কণার ব্যাসার্ধ = r

কণার গতিবেগ = dx/dt (ঘূর্ণন অক্ষ থেকে x দূরত্বে), কণার ঘনত্ব = ρ এবং বিস্তার মাধ্যমের ঘনত্ব = ρ'

অর্থাৎ অন্যভাবে (1) নং সমীকরণকে লেখা যায়,

$$\frac{dx}{x} = \frac{2w^2r^2(\rho-\rho')dt}{9\eta}$$

সমাকলন করে পাই,

$$Ln\frac{x_2}{x_1} = \frac{2w^2r^2(\rho-\rho')}{9\eta}(t_2-t_1)$$

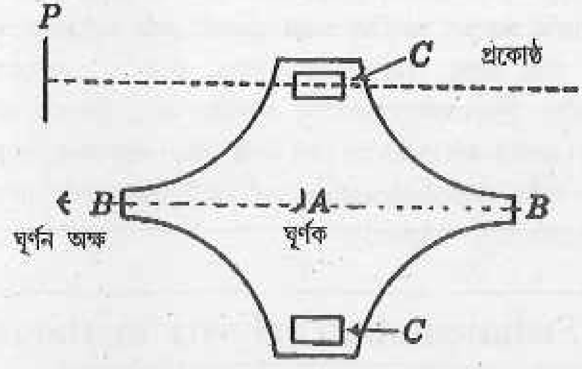
যেখানে t_1 সময়ে কণার অবস্থান ঘূর্ণন অক্ষাংশের x_1 এবং t_2 সময়ে x_2

বিশেষ পদার্থ ও বিশেষ মাধ্যমের জন্য $Lnx_2/x_1/w^2(t_2-t_1)$ ধ্রুবক। একে বলা হয় থেতান ধ্রুবক (sedimentation constant) (s)।

$$\text{সুতরাং } s = \frac{2r^2(\rho-\rho')}{9\eta} \quad ....(2)$$

পরা অপকেন্দ্র যন্ত্রে প্রকোষ্ঠে দ্রবণ নেওয়া হয়। প্রকোষ্ঠের দুদিক কোয়ার্জের হয় যাতে আলোক প্রবেশ করতে পারে। যন্ত্রটিকে নিম্নলিখিত ভাবে বোঝান যেতে পারে।

যখন রোটারটিকে দ্রুত বেগে ঘোরান হয়, তখন বৃহৎ অণু থেতাতে শুরু করে। ফলে মাধ্যম ও বৃহৎ অণুর মধ্যে একটি স্পষ্ট সীমারেখা তৈরী হয় যা স্থির বেগে প্রকোষ্ঠের নীচের দিকে ধাবিত হয়। যে বেগে সীমারেখা ধাবিত হয় তাকে থেতানো-বেগ (sedimentation velocity) বলে। আলোক সক্রিয় পাতের সাহায্যে ঘূর্ণন চলার ফলে সীমারেখার অবস্থান নির্ণয় করে থেতান বেগ নির্ণয় করা যায়। কয়েক ঘন্টা ধরে পরীক্ষা করে এই বেগ বা সীমারেখার অবস্থান নির্ণয় করা হয়। ব্যাপন প্রক্রিয়ার জন্য সীমারেখাটা খুব তীক্ষ্ণ সাধারণত হয় না। একাধিক বৃহৎ অণু থাকলে সীমারেখা তীক্ষ্ণ না হয়ে পরিব্যপ্ত হয় (spreaded out)। উচ্চ-আণবিক ওজন যুক্ত বৃহৎ অণু দ্রুত থেতায় ফলে প্রকোষ্ঠের নীচের দিকে তা দেখা যায় এবং অপেক্ষাকৃত কম আণবিক ওজন বিশিষ্ট বৃহৎ অণু প্রকোষ্ঠের উপরের দিকে থাকে। সুতরাং ঘূর্ণন চলাকালে বিভিন্ন সময়ে (t_1, t_2) সীমারেখার অবস্থান (x_1 ও x_2) আলোক সক্রিয় পাতে প্রকোষ্ঠের মধ্যে আলোকরশ্মি আপতিত করে নির্ণয় করা হয়। এভাবে থেতান ধ্রুবক নির্ণয় সম্ভব।



$$s = \frac{\ln x_2 / x_1}{\omega^2 (t_2 - t_1)}$$

থেতান ধ্রুবক নির্ণয় করে (2) নং সমীকরণের সাহায্যে কণার ব্যাসার্দ্ধ নির্ণয় সম্ভব। যদি একাধিক বৃহৎ অণু বর্তমান থাকে, তবে তাদের থেতান ধ্রুবক নির্ণয় করে, তাদের ব্যাসার্দ্ধ নির্ণয় সম্ভব।

গোলকাকার অণুর ক্ষেত্রে কণার ভর = $4/3\pi r^3 \rho$ এবং আণবিক ওজন = $4/3\pi r^3 \rho\ N_{av}$ যেখানে N_{av} = এ্যাভোগাড্রো সংখ্যা।

এই পদ্ধতিতে কেবলমাত্র গোলকাকার অণুর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। অণুর আকৃতির উপর নির্ভরতা দূর করা যায় যদি ব্যাপন সংক্রান্ত পরিমাপ করা হয়। যেহেতু ব্যাপন বা থেতানো প্রক্রিয়ায় ঘর্ষণজনিত বল সমানভাবে প্রভাবিত করে তাই অণুর আকৃতি ব্যাপন ও থেতানো প্রক্রিয়াকে এইভাবে প্রভাবিত করবে। ব্যাপন সংক্রান্ত পরীক্ষা করে, ব্যাপন ধ্রুবক (diffusion constant, D) নির্ণয় করা হয় এবং যাকে ব্যাখ্যা করা হয় এভাবে যে একক গাঢ়ত্বের ব্যবধান একক ক্ষেত্রফলে এক একক সময়ে পদার্থ যতটা ব্যাপিত হয়, তাকে ব্যাপন ধ্রুবক বলা হয় γ পদার্থের। যেহেতু s ও D গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে, তাই তাদের নির্ণয় করা হয় অসীম লঘুতায় প্রসারিত করে 1/s ও D কে যথাক্রমে গাঢ়ত্বের সঙ্গে লেখচিত্র অঙ্কন করে। আণবিক ওজন নিম্নলিখিত সমীকরণ ব্যবহার করে নির্ণয় করা হয়।

$$\overline{M}_N = \frac{RTs_0}{D_0(1 - \frac{d'}{d})}$$

$\overline{M}_N$ = সংখ্যা গড় আণবিক ওজন।

9B.3.7 পলল-গঠন সাম্য পদ্ধতি (Sedimentation Equilibrium method)

এই পদ্ধতিতে ঘূর্ণক বা রোটরকে অপেক্ষাকৃত কম বেগে ঘোরান হয় (প্রায় 10,000 প্রতি মিনিটে ঘূর্ণন)। থিতান বেগ পদ্ধতিতে এই বেগের মান অনেক বেশী (প্রায় 60,000 প্রতি মিনিটে ঘূর্ণন)।

এই পদ্ধতিতে ঘোরান হয় কয়েকদিন ধরে যখন থেতান ও ব্যাপনের মধ্যে একটি সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হয়। অর্থাৎ অপকেন্দ্রিক বলের মান সমান ও বিপরীতমুখী হয় ব্যাপনজনিত বলের সঙ্গে। এই অবস্থায় কণা স্থির অবস্থায় থাকে।

যদি কোনো কণার গাঢ়ত্ব হয় c (প্রতি একক আয়তনে মোল সংখ্যা) এবং কণা dt সময়ে dx দূরত্বে যায় অপকেন্দ্রিক বলের প্রভাবে, তবে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে dt সময়ে যে পরিমাণ কণা dw প্রবাহিত হয় তা $dw = cdx$ .... (1)

আবার একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে ব্যাপনের ফলে dt সময়ে বিপরীত দিকে যে পরিমাণ কণা প্রবাহিত হয় তা হল

$$dw' = -D\frac{dc}{dx}dt \text{ ....(2)}$$

যেখানে $-dc/dx$ = গাঢ়ত্বের নতি

সমীকরণ (2) আসলে ফিক্‌সের ব্যাপন সূত্রের আঙ্কিক রূপ।
সাম্যাবস্থায় এই দুই পরিমাণ সমান হবে কিন্তু বিপরীত চিহ্ন যুক্ত হবে। ফলে,

$$dw = -dw' \text{ ....(3)}$$

অর্থাৎ (1), (2) ও (3) হতে লেখা যায়,

$$cdx = D\frac{dc}{dx}dt$$

অর্থাৎ, $\frac{dc}{c} = \frac{1}{D}\cdot\frac{dx}{dt}dx$. ....(4)

যেখানে, η = সান্দ্রতাংক (মাধ্যমের)

আবার, $D = RT/6\pi\eta rN$ ....(5)

N = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, γ = কণার ব্যাসার্ধ

এবং $\frac{dx}{dt} = \frac{2\omega^2 xr^2(\rho-\rho')}{9\eta}$ ....(6)

যেখানে ω = কৌণিক বেগ,
x = ঘূর্ণন অক্ষ থেকে কণার দূরত্ব যথাক্রমে
ρ ও ρ' = কণা ও বিস্তার মাধ্যমের ঘনত্ব

সমীকরণ (4), (5) ও (6) হতে পাই

$$\frac{dc}{c} = \frac{4}{3}\pi r^3 N\,\frac{\omega^2(\rho-\rho')xdx}{RT}$$

$$= \frac{\overline{M}_w\omega^2(\rho-\rho')xdx}{RTP}$$

$\overline{M}_w$ = কণার আণবিক ওজন (ওজন গড় আণবিক ওজন)

সমাকলন করে পাওয়া যায়,

$$\ln\frac{c_2}{c_1} = \frac{\overline{M}_w\omega^2(\rho-\rho')(x_2^2-x_1^2)}{2RTP} \quad ....(7)$$

সাম্যাবস্থায় আলোক প্রবাহিত করে আলোক জনিত পাতের বিভিন্ন অবস্থানে অন্ধকারাচ্ছন্ন অংশের তীব্রতা রাখা হয়। যদি ধরে নেওয়া যায় কণার তার গাঢ়ত্ব অনুযায়ী আলোক শোষণ করবে তাহলে পাতের তীব্রতা মেপে বিভিন্ন অবস্থানের গাঢ়ত্ব জানা যায়। সুতরাং প্রকোষ্ঠের দুটি বিভিন্ন দূরত্বে x_1 ও x_2, c_1 ও c_2 থেকে $\ln C_1/C_2$ জানা যায়। অন্যথায় আলোকসক্রিয় পাতের বিভিন্ন অবস্থানের তীব্রতা যা lnc কে সমানুপাতিক x^2 এর বিপক্ষে লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। এই লেখচিত্রের নতি $M_w\omega^2(\rho-\rho')$ / 2RTP। সুতরাং নতি থেকে M_w জানা যায়। যদি দ্রবণে একাধিক আণবিক ওজন বিশিষ্ট বৃহৎ অণু থাকে, তখন একাধিক সরলরেখা পাওয়া যায় অর্থাৎ প্রতি রেখার নতি থেকে একটি বিশেষ ধরনের বৃহৎ অণুর আণবিক ওজন পাওয়া যায়।

এই পদ্ধতি পেরিন বর্ণিত পদ্ধতির অনুরূপ শুধুমাত্র পার্থক্য হচ্ছে পেরিন পদ্ধতিতে কণার বন্টন হয়। অভিকর্ষজ বলের প্রভাবে যা এখানে অপকেন্দ্রিক বলের প্রভাবে হয়।

পর-অপকেন্দ্রকের সাহায্যে বিভিন্ন প্রোটিনের আণবিক ওজন নির্ণয় করা সম্ভব হয়েছে (18000 থেকে 6,000,000 পর্যন্ত)।

প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. কোলয়েডের সংজ্ঞা নিরূপণ করুন।
2. কোলয়েড 'অসমসত্ত্ব তন্ত্র' ব্যাখ্যা করুন।
3. কোলয়েডের শ্রেণীবিভাগ করুন।
4. ইরোসল এবং অবদ্রব কী?
5. ধোওয়া, ফেটানো ডিম, রুবি কাঁচ, স্টার্চ দ্রবণ কোন ধরনের কোলয়েড?
6. কোলয়েডের প্রস্তুতি ও বিশুদ্ধিকরণ সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।
7. দ্রাবকাসক্ত এবং দ্রাবক বিকর্ষক কোলয়েড বলতে কী বোঝেন? উদাহরণ দিন।
8. কোলয়েডের গতীয় ধর্ম আলোচনা করুন।
9. অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা নিরূপনের পেরাঁর পদ্ধতি বর্ণনা করুন।
10. তঞ্চন বলতে কী বোঝেন? তঞ্চনের কৌশল ব্যাখ্যা করুন।
11. কোলয়েডের স্থায়িত্ব বৃদ্ধির ক্ষেত্রে দ্রাবকাসক্ত কোলয়েডের ভূমিকা বর্ণনা করুন।
12. টিকা লিখুন ঃ জেল, সংযোজিত কোলয়েড।
13. কোলয়েড রসায়নের কয়েকটি প্রয়োগ দেখান।
14. বৃহৎ অণুর সংজ্ঞা দিন।
15. বহুলায়ন বিক্রিয়া বলতে কী বোঝেন? এর কয়েকটি পদ্ধতি বর্ণনা করুন।
16. টিকা লিখুন ঃ ডোনান সাম্য, পলল গঠন।
17. কোলয়েডের আণবিক ওজন নির্ণয়ের পদ্ধতি সমূহ আলোচনা করুন।

উপরের প্রশ্নাবলির উত্তর পাঠ্যাংশের থেকে সহজে খুঁজে নিতে পারবেন।

একক 10 ☐ অধিশোষণ ও অনুঘটন

10A ■ অধিশোষণ (Adsorption)

গঠন

10A.1 প্রস্তাবনা, উদ্দেশ্য

10A.2 দুই প্রকারের অধিশোষণ

10A.2.1 ভৌত অধিশোষণের বৈশিষ্ট্য

10A.2.2. রাসায়নিক অধিশোষণের বৈশিষ্ট্য

10A.3 অধিশোষণের উপর চাপ ও গাঢ়ত্বের প্রভাব

10A.4. প্রশ্নাবলি

10B n অনুঘটন

10.B.1. প্রস্তাবনা, উদ্দেশ্য

10.B.2. অনুঘটকের শ্রেণিবিভাগ

10.B.2.1 দশা নির্ভর অনুঘটন

10.B.2.2 ক্রিয়ানির্ভর অনুঘটন

10.B.3. অনুঘটনের বৈশিষ্ট্য সমূহ

10.B.4. অনুঘটক উদ্দীপক ও অনুঘটক বিষ

10.B.5. উৎসেচক অনুঘটক

10.B.6. অনুঘটনের ক্রিয়াবিধি

10.B.7. অনুঘটক বিষের প্রভাব

10.B.8. শিল্পে অনুঘটকের ব্যবহার

10.B.9. প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

10.A. (ADSORPSION)

10.A.1 প্রস্তাবনা

একটি পদার্থের উপরিতল বা পৃষ্ঠতলে অপর একটি পদার্থের শোষণকে অধিশোষণ বলে। সাধারণত কঠিনের উপরে গ্যাসের বা কোন দ্রবণের দ্রাবের এবং তরলের উপরে গ্যাসের অধিশোষণ ঘটে। যে পদার্থটির উপরে অধিশোষণ ঘটে তাকে অধিশোষক এবং যেটি অধিশোষিত হয় তাকে অধিশোষিত পদার্থ বলে। আর অধিশোষকের যে তলে পদার্থটি শোধিত হয় তাকে আন্তঃতল বলে। অধিশোষণ একটি সম্পূর্ণ আন্তঃতলীয় ঘটনা।

উদ্দেশ্য : ভৌত রসায়নের এই শাখা পাঠ করলে আপনি অধিশোষণের বৈশিষ্ট্য ও সূত্রাবলী সম্পর্কে জানতে পারবেন।

10.A.2 দুই প্রকারের অধিশোষণ আছে :

ভৌতবল বা ভ্যান ডার ওয়াল বলের প্রভাবে অধিশোষণ এবং ল্যাংমুর বলের প্রভাবে অধিশোষণ। তাই প্রকৃতি অনুযায়ী অধিশোষণ দুইপ্রকার ভৌত অধিশোষণ ও রাসায়নিক অধিশোষণ।

(i) **ভৌত অধিশোষণ :** ভৌত বল বা ভ্যান ডার ওয়ালসের বলের প্রভাবে যে অধিশোষণ ঘটে তাকে ভৌত অধিশোষণ বলে। এই অধিশোষণে স্বল্প পরিমাণ সক্রিয়করণ শক্তির প্রয়োজন হয়। লোহাচুরের উপর নাইট্রোজেন গ্যাসের অধিশোষণ ভৌত অধিশোষণের উদাহরণ।

(ii) **রাসায়নিক অধিশোষণ :** রাসায়নিক যোজ্যতা বল বা ল্যাংমুর বলের প্রভাবে যে অধিশোষণ ঘটে তাকে রাসায়নিক অধিশোষণ বলে। এই অধিশোষণে অধিক পরিমাণ সক্রিয়করণ শক্তির প্রয়োজন হয়। ধাতুর উপর অক্সিজেন অধিশোষণ রাসায়নিক অধিশোষণের উদাহরণ।

10A.2.1. ভৌত অধিশোষণের বৈশিষ্ট্য :

ভৌত অধিশোষণে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি দেখা যায়।

(i) এটি ভ্যান ডার ওয়াল্‌স্ বলের প্রভাবে ঘটে। তাই এটি অধিশোষক বা অধিশোষিত পদার্থের প্রকৃতির উপর বিশেষ নির্ভর করে না।

(ii) নিম্ন উষ্ণতায় ও অধিক চাপে ভৌত অধিশোষণ অধিক কার্যকরী হয়।

(iii) সহজে তরলীভবনযোগ্য গ্যাসের ভৌত অধিশোষণ বেশী হয়। কারণ ভৌত অধিশোষণে প্রকৃতপক্ষে অধিশোষকের মধ্যেকার কৈশিকে নলে গ্যাস ঘনীভূত হয়ে থাকে।

(iv) রাসায়নিক ও ভৌত উভয়প্রকার অধিশোষণই তাপদায়ী হলেও ভৌত অধিশোষণে তাপের উদ্ভব হয় কম।

(v) ভৌত অধিশোষণ পরাবর্ত প্রকৃতির। অধিশোষিত গ্যাস পাম্পের সাহায্যে বার করা সম্ভব হয়।

(vi) ভৌত অধিশোষণে বহু আণবিক স্তর গঠিত হয়।

10A.2.2. রাসায়নিক অধিশোষণের বৈশিষ্ট্য ঃ

রাসায়নিক অধিশোষণের বৈশিষ্ট্যগুলি নিম্নরূপ ঃ

(i) রাসায়নিক অধিশোষণ রাসায়নিক যোজ্যতা বলের উপর নির্ভর করে। তাই রাসায়নিক অধিশোষণ অধিশোষক ও অধিশোষিত পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

(ii) রাসায়নিক অধিশোষণ তাপদায়ী হওয়া সত্ত্বেও সক্রিয় শক্তির প্রয়োজনে অধিক উষ্ণতায় ঘটে।

(iii) শিল্পে ব্যবহৃত অধিশোষণ বিক্রিয়াগুলির অধিকাংশ ক্ষেত্রেই অয়তন হ্রাস পায়। তাই লা স্যাতেলিয়ার নীতি অনুযায়ী অধিক চাপের প্রয়োজন হয়।

(iv) রাসায়নিক অধিশোষণে অধিক তাপের উদ্ভব ঘটে।

(v) রাসায়নিক অধিশোষণ সম্পূর্ণ পরাবর্ত নয়।

(vi) রাসায়নিক অধিশোষণে একটি মাত্র আণবিক স্তর গঠিত হয়।

10A.3. অধিশোষণের উপর চাপ ও গাঢ়ত্বের প্রভাব যে কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতার সাম্যাবস্থায় চাপ বা গাঢ়ত্ব এবং অধিশোষণের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্দেশক নিম্নলিখিত সমীকরণটি হল ফ্রয়েণ্ডলিশের অধিশোষণ সমোষ্ণিকা (Freundlich Adsorption Isotherm)।

সমীকরণটি হল $\frac{x}{m} = kp^{1/n}$ Or, $\frac{x}{m} = kc^{1/n}$.............(1) এখানে x জল mgm অধিশোষকে অধিশোষিত গ্যাসের বা দ্রাবের পরিমাণ, p চাপ c দ্রাবের গাঢ়ত্ব। n একটি সংখ্যা। k কোন গ্যাস বা দ্রাবের ক্ষেত্রে এটি একটি ধ্রুবক।

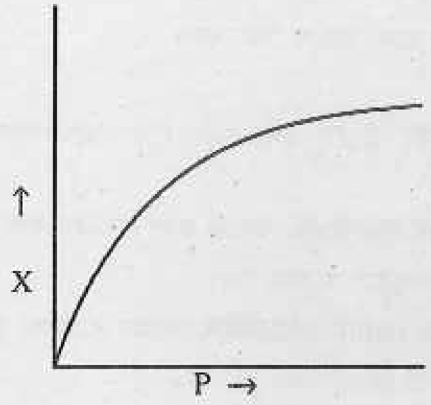
(1) সমীকরণে Logarithm নিলে;

$$\log\frac{x}{m} = \log K + \frac{\log C}{n} \quad ....(2)$$

সমীকরণটি একটি সরলরেখার সমীকরণ। log x/m বনাম log C লেখচিত্রটি সরলরেখা হবে এবং এর নীতি থেকে n এর মান পাওয়া যাবে। সক্রিয় চারকোলের উপর অ্যাসেটিক অ্যাসিডের অধিশোষণ উপরোক্ত সমীকরণের উদাহরণ। উপরোক্ত সমীকরণকে পরিবর্তন করে ল্যাংমুর (Langmuir) একটি সমোষ্ণলেখ আবিষ্কার করেন।

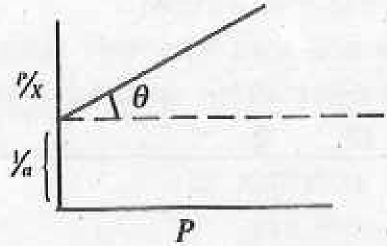
এটি হল $x = \frac{ap}{1+bp}$........(3)

$x = p$ চাপে প্রতি গ্রাম অধিশোষণে অধিশোষিত গ্যাস a, b ধ্রুবক।



(3) সমীকরণটি অন্যভাবে লিখলে;

$$\frac{p}{X} = \frac{1}{a} + \frac{bp}{a}$$



নতি $= \frac{b}{a} = \tan\theta$

কম চাপ ও কম উষ্ণতায় ল্যাংমূরের Isotherm কার্যকারী। P যদি খুব বেশী হয়, তাহলে সমীকরণ (3) থেকে পাই;

$$X = \frac{ap}{1+bp} = \frac{ap}{bp} = \frac{a}{b} = K(\text{ধ্রুবক}) = KP^0$$

আবার P যদি খুব কম হয় তাহলে

$$X = \frac{ap}{1+bp} \equiv ap \quad [a \text{ ধ্রুবক}] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

মাঝারি চাপে P এর ঘাত O ও 1 এর মধ্যবর্তী অর্থাৎ $1/n$

$\therefore X = ap^{1/n} \ (n=1)$

সুতরাং দেখা গেল ফ্রয়েণ্ডলিশ আইসোথার্ম ল্যাংমুর আইসোথার্মের একটি প্রয়োগ মাত্র।

10.A.4 প্রশ্নাবলি

অধিশোষণের প্রয়োগ বর্ণনা করুন।

উত্তর : শিল্পে অধিশোষণের বহুল প্রয়োগ দেখা যায়।

যেমন :

(1) পারমুটিট পদ্ধতিতে পারমুটিট $CaCl_2$ দ্রবণ থেকে Ca^{++} অধিশোষিত করে Na^+ বিমুক্ত করায় খর জল মৃদু হয়।

(2) চারকোল বিশেষত : সক্রিয় চারকোলের সাহায্যে দ্রবণ বিরঞ্জিত করা হয় ও গ্যাস মুখোশ তৈরী হয়।

(3) সিলিকা জেল আর্দ্রতা অপসারণে ব্যবহৃত হয়।

(4) ফুলার মৃত্তিকা (Fuller's earth) পেট্রোলিয়াম শোধনে প্রয়োজন হয়।

10.B.1 প্রস্তাবনা

যে সব পদার্থের উপস্থিতিতে রাসায়নিক বিক্রিয়ার বেগ বৃদ্ধি বা হ্রাস পায় অথচ বিক্রিয়া শেষে ঐ পদার্থ অপরিবর্তিত থাকে তাদের অনুঘটক (Catalyst) বলে। অনুঘটকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া হারের বৃদ্ধি বা হ্রাসের ঘটনাকে অনুঘটন (Catalysis) বলে।

মনে রাখতে হবে অনুঘটক বিক্রিয়া ঘটায় না; বিক্রিয়ার বেগ বৃদ্ধি বা হ্রাস করে মাত্র।

উদ্দেশ্য : ভৌত রসায়নের এই শাখা পাঠ করলে অনুঘটকের শ্রেণীবিভাগ, উপকারিতা বৈশিষ্ট্য এবং ক্রিয়াবিধি সম্পর্কে জানতে পারা যায়।

10B.2. অনুঘটকের শ্রেণীবিভাগ :

10B.2.1. দশা নির্ভর অনুঘটন :

(1) **সমসত্ব অনুঘটন (Homogeneous Catalysis) :** যে সমস্ত অনুঘটনে সমস্ত বিক্রিয়ক পদার্থগুলি, অনুঘটক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ একই দশায় থাকে তাকে সমসত্ব অনুঘটন বলে। যেমন, সুক্রোজের আর্দ্র বিশ্লেষণে লঘু HCl এর অনুঘটন দ্রবণ .... সমসত্ব অনুঘটনের উদাহরণ।

(2) **অসমসত্ব অনুঘটন (Heterogeneous Catalysis) :** অসমসত্ব অনুঘটনে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি ও অনুঘটক ভিন্ন ভিন্ন দশায় থাকে। Pt ধাতুর উপস্থিতিতে H_2O_2 র বিভাজন অসমসত্ব অনুঘটনের উদাহরণ। এক্ষেত্রে বিক্রিয়াটি তরল দশায় অনুঘটকটি কঠিন দশায় এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ (O_2) গ্যাসীয় দশায় থাকে।

10B.2.2. ক্রিয়ানির্ভর অনুঘটন :

1. **ধনাত্মক অনুঘটন :** অনুঘটকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়াবেগ বৃদ্ধি পেলে একে ধনাত্মক অনুঘটন বলে। যেমন $KClO_3$ থেকে O_2 প্রস্তুতিতে M_nO_2 ধনাত্মক অনুঘটক।

2. **ঋণাত্মক অনুঘটন :** অনুঘটকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ার হার হ্রাস পেলে ঘটনাটিকে ঋনাত্মক অনুঘটন বলা হয়। যেমন H_2O_2-এর বিভাজনে লঘু H_2SO_4 ঋণাত্মক অনুঘটনের কাজ করে।

3. **স্বয়ংক্রিয় অনুঘটন :** বিক্রিয়ায় সৃষ্ট একটি পদার্থ যদি অনুঘটকের কাজ করে তা হলে ঘটনাটিকে স্বয়ংক্রিয় অনুঘটন বলে। যেমন H_2SO_4 দ্রবণে অক্সালিক আসিড দ্বারা $KMnO_4$ এর বিরঞ্জন প্রথমে খুব ধীরে ধীরে অগ্রসর হয়। কিন্তু $MnSO_4$ তৈরী হবার পর এই বিরঞ্জন হার অনেক বৃদ্ধি পায়। কারণ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন Mn^{++} আয়ন অনুঘটকের কাজ করে।

4. **আবিষ্ট অনুঘটন :** যদি একটি বিক্রিয়কের বিক্রিয়া অন্য বিক্রিয়কের বিক্রিয়া ঘটাতে সাহায্য করে তাহলে ঘটনাটিকে আবিষ্ট অনুখটন বলে। যেমন Na_2SO_3 বায়ুতে জারিত হয়ে Na_2SO_4 এ

পরিণত হয়। Na_2AsO_3 ঐভাবে জারিত হয় না। কিন্তু Na_2SO_3 ও Na_2AsO_3-এর মিশ্রণের একটি দ্রবণে O_2 চালনা করলে উভয়েই জারিত হয়। এখানে Na_2AsO_3-র জারণ Na_2SO_3-র জারণ দ্বারা আবিষ্ট হয়।

10B.3. অনুঘটনের বৈশিষ্ট্য সমূহ :

(1) বিক্রিয়াশেষে অনুঘটকের পরিমাণ ও রাসায়নিক প্রকৃতি অবিকৃত থাকে।

(2) সাধারণতঃ সামান্য পরিমাণ অনুঘটকই বিক্রিয়া সমাপ্ত করতে পারে।

(3) অনুঘটক কোন উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বদলাতে পারে না।

(4) অনুঘটক বিক্রিয়া শুরু করতে পারে না।

(5) অনুঘটকের কার্য্যকারিতা কিছুটা সার্বিক হলেও সুনির্দিষ্ট।

10B.4 অনুঘটক উদ্দীপক ও অনুঘটক বিষ :

যেসব পদার্থের উপস্থিতিতে অনুঘটকের কার্য্যকারিতা বৃদ্ধি পায় সেগুলিকে অনুঘটক উদ্দীপক বলে। শিল্পে NH_3 প্রস্তুতিতে Fe অনুঘটকের সঙ্গে K_2O এবং Al_2O_3-এর মিশ্রণ অনুঘটক উদ্দীপকের কাজ করে।

যে সব পদার্থ অশুদ্ধিরূপে থেকে অনুঘটকের কার্যকারিতা অস্বাভাবিকভাবে হ্রাস করে তাদের অনুঘটক বিষ বলে। সংস্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4 তৈরীর সময় AS_2O_3 অশুদ্ধিরূপে থেকে Pt অনুঘটকের ক্ষমতা হ্রাস করে। এটি অনুঘটক বিষ।

10B.5. উৎসেচক অনুঘটক (enzyme catalyst) :

জীবিত প্রাণী বা উদ্ভিদদেহে যে প্রাণ রাসায়নিক বিক্রিয়া চলে তাতে অনেকসময় কিছু অনুঘটক সহযোগিতা করে। এই সব অনুঘটককে উৎসেচক বলে। যেমন জাইমেজ নামের উৎসেচক গ্লুকোজকে ইথাইল অ্যালকোহলে রূপান্তরিত করতে সাহায্য করে। উৎসেচকের কয়েকটি উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য আছে। সেগুলি হল :

(1) উৎসেচকের কার্যকারিতা সুনির্দিষ্ট।

(2) উৎসেচক প্রধানতঃ $15^0C - 25^0C$ এর মধ্যে কার্যকরী থাকে।

(3) উৎসেচক একটি বিশেষ pH পর্যন্ত কার্যকরী থাকে।

(4) সহ-উৎসেচকের উপস্থিতিতে উৎসেচকের কার্যকারিতা বৃদ্ধি পায়।

10B.6. অনুঘটনের ক্রিয়াবিধি :

অনুঘটনের ফলে কোন বিক্রিয়া ত্বরান্বিত বা মন্দীভূত হয়। সুতরাং মনে করা যেতে পারে যে, অনুঘটক

সক্রিয়করণ শক্তি হ্রাস (ধনাত্মক অনুঘটনের ক্ষেত্রে) বা বৃদ্ধি (ঋণাত্মক অনুঘটনের ক্ষেত্রে) করে অন্য পথের মাধ্যমে বিক্রিয়া ঘটায়। এই ধারণার ভিত্তিতে দুটি তত্ত্বের উদ্ভব ঘটেছে যথা ঃ

(i) অন্তর্বর্তী যৌগ তত্ত্ব।

(ii) অধিশোষণ তত্ত্ব।

(i) **অন্তর্বর্তী যৌগ তত্ত্ব ঃ** এই তত্ত্ব অনুযায়ী অনুঘটকটি একটি বিক্রিয়কের সঙ্গে একটি যুত যৌগ গঠন করে। এই যুত যৌগটির পরিমাণ খুব স্বল্প এবং এটি খুব সক্রিয় ও অস্থায়ী। এই যৌগটি আবার অপর একটি বিক্রিয়কের সঙ্গে বিক্রিয়া করে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে ও অনুঘটকটি মুক্ত হয়।

$A + D \rightarrow AD$ (যুত যোগ)

$AD + C \rightarrow P + D$ (অনুঘটক)

Product

(ii) **অধিশোষণ তত্ত্ব ঃ** এই তত্ত্ব অনুযায়ী পাঁচটি পর্যায়ে নিম্নলিখিত ভাবে বিক্রিয়া সম্পন্ন হয়।

1. বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির অনুঘটকের পৃষ্ঠতলের দিকে ব্যাপন।
2. অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির অধিশোষণ।
3. পৃষ্ঠতলে বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির বিক্রিয়া।
4. বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি অনুঘটকের পৃষ্ঠতল ত্যাগ।
5. পৃষ্ঠতলের বিপরীত দিকে বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির ব্যাপন।

10B. 7. অনুঘটক বিষের প্রভাব ঃ

এর প্রভাবে বিক্রিয়া মন্দীভূত হয়ে যায়। যেমন অ্যাসিট্যাসিলাইডের উপস্থিতিতে H_2O_2 এর বিভাজন মন্থর হয়। অনুরূপভাবে স্পর্শ পদ্ধতিতে Pt-এর উপর AS_2O_3-এর বিষক্রিয়ার বিক্রিয়া মন্দীভূত হয়। এই ভাবে যদি বিক্রিয়াজাত পদার্থটি দ্রুত অনুঘটকের পৃষ্ঠতল ত্যাগ না করে অধিক ক্ষণ অধিশোষিত হয়ে থাকে তাহলেও বিক্রিয়া কেন্দ্রের অপ্রতুলতার জন্য বিক্রিয়া স্থিমিত হয়ে পরে। এই ভাবে বিক্রিয়া হার হ্রাসের ঘটনাকে বলা হয় স্বয়ংক্রিয় অনুঘটন বিষক্রিয়া। এই জন্যই Pt পৃষ্ঠতলে NH_3র বিভাজনে বিক্রিয়াজাত হাইড্রোজেন অধিশোষণের ফলে বিক্রিয়া শুরু হবার কিছুক্ষণ পরেই বিক্রিয়া মন্দীভূত হয়ে পরে।

10B.8 শিল্পে অনুঘটকের ব্যবহার ঃ

শিল্প	অনুঘটক
1. হাবারের পদ্ধতিতে N_2 ও H_2 থেকে NH_3 প্রস্তুতি।	1. লোহাচুর অনুঘটক ও Al_2O_3 ও K_2O অনুঘটক উদ্দীপক।
2. কোহল সন্ধান।	2. জাইমেজ।
3. অস্টওয়াল্ড পদ্ধতিতে NH_3 থেকে HNO_3 প্রস্তুতি।	3. Pt গ্যাজ।
4. স্পর্শ পদ্ধতিতে SO_2 থেকে H_2SO_4 উৎপন্ন।	4. Pt, V_2O_5।

10.B.9 প্রান্তিক প্রশ্নাবলি

1. অনুঘটন কাকে বলে? অনুঘটকের শ্রেণী বিভাগ করুন।
2. উৎসেচক কী? একটি উৎসেচক-সহায়ক বিক্রিয়ার উদাহরণ দিন।
3. অনুঘটক কি সাম্যাবস্থার পরিবর্তন ঘটাতে পারে? আপনার উত্তরের সপক্ষে যুক্তি দিন।
4. অনুঘটনের বৈশিষ্ট্যসমূহ লিখুন।

Notes

Notes

মানুষের জ্ঞান ও ভাবকে বইয়ের মধ্যে সঞ্চিত করিবার যে একটা প্রচুর সুবিধা আছে, সে কথা কেহই অস্বীকার করিতে পারে না। কিন্তু সেই সুবিধার দ্বারা মনের স্বাভাবিক শক্তিকে একেবারে আচ্ছন্ন করিয়া ফেলিলে বুদ্ধিকে বাবু করিয়া তোলা হয়।

— রবীন্দ্রনাথ ঠাকুর

ভারতের একটা mission আছে, একটা গৌরবময় ভবিষ্যৎ আছে, সেই ভবিষ্যৎ ভারতের উত্তরাধিকারী আমরাই। নূতন ভারতের মুক্তির ইতিহাস আমরাই রচনা করছি এবং করব। এই বিশ্বাস আছে বলেই আমরা সব দুঃখ কষ্ট সহ্য করতে পারি, অন্ধকারময় বর্তমানকে অগ্রাহ্য করতে পারি, বাস্তবের নিষ্ঠুর সত্যগুলি আদর্শের কঠিন আঘাতে ধূলিসাৎ করতে পারি।

— সুভাষচন্দ্র বসু

Any system of education which ignores Indian conditions, requirements, history and sociology is too unscientific to commend itself to any rational support.

— Subhas Chandra Bose

Price : ₹. 150.00

(NSOU-র ছাত্রছাত্রীদের কাছে বিক্রয়ের জন্য নয়)

Published by : Netaji Subhas Open University, DD-26, Sector-I, Salt Lake, Kolkata-700 064 &
Printed at : The Saraswati Printing Works, 2, Guru Prosad Chowdhury Lane, Kolkata 700 006