2A.5 পৃষ্ঠটান (Surface Tension) :

পর্বেই আলোচনা হয়েছে তরলের অভ্যন্তরে অবস্থিত অণুর চতুর্দিকে অন্যান্য অণুর আন্তঃআণবিক্ক বলের লব্ধি মান শূন্য। এবং তরল পৃষ্ঠে অবস্থিত কোন অণুর ভিতর দিকের তরলের ঘনত্ব অণুটির উপরিভাগের বাষ্পের ঘনত্বের থেকে বেশী। ফলে অণুটির উপর তরলের দিকের অণুগুলির জন্য আন্তঃআণবিক বল অনেক বেশী হবে। এইভাবে তরল পৃষ্ঠের অণুগুলি তরলের ভিতর দিকে একটা টান (Tension) অনুভব করবে ; এবং তরলের পৃষ্ঠতল একটি টান টান পর্দার মত সংকুচিত হতে চেষ্টা করবে। এই অবস্থানটি তুলনা করা যায় একটি বীকারের মুখ রবারের পাতলা চাদরে টান টান করে বেঁধে রাখলে যে অবস্থা দাঁড়ায় তার সংগে। এক্ষেত্রে ব্লেড দিয়ে পর্দার উপর একটি চিড় টানলে দেখা যাবে চিড় বরাবর একই তলে লম্বভাবে উভয় দিকে পর্দাটি ফাঁক হয়ে যাচ্ছে। কারণ ছেদের দুদিকে দুটি বিপরীতমুখী বল লম্বভাবে কাজ করছে। একইভাবে তরলপৃষ্ঠের টানটান পর্দার উপর একটি সরলরেখা বরাবর (কাল্পনিক) ছেদ টানলে পৃষ্ঠতল দুপাশে সরে যেতে চেষ্টা করবে। কিন্তু পৃষ্ঠতলের দুটি অংশকে এক রাখার জন্য যে বলের প্রয়োজন তাকে পৃষ্ঠটান বলা হয়। এই টান রেখার উপর লম্বভাবে একই তলে কাজ করে। অর্থাৎ "কোনও তরল পৃষ্ঠে অবস্থিত একক (1সে.মি/মিটার) দীর্ঘ একটি (কল্পিত) সরলরেখা বরাবর লম্বভাবে এবং একই তলে যে বল ক্রিয়া করে তাকে ঐ তরলের পৃষ্ঠটান (γ) বলে।"

C.G.S. পদ্ধতিতে পৃষ্ঠটানকে ডাইন প্রতি সেন্টিমিটারে প্রকাশ করা হয়, এবং S.I. এককে নিউটন প্রতি মিটার এককে প্রকাশ করা হয়।

পৃষ্ঠটানের কিছু উদাহরণ ঃ

(ক) পৃষ্ঠটানের জন্য তরল পদার্থ গোলাকৃতি ধারণ করতে চায়। যেমন বৃষ্টির ফোঁটা, পারদের কণা, শিশির বিন্দু ইত্যাদি তরলের কণা গোলাকার হবার কারণ হল একই আয়তনের হলে গোলাকার বস্তুর ক্ষেত্রফল সবচেয়ে কম। এবং পৃষ্ঠটানের ফলে তরল সবচেয়ে কম ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট আকার ধারণ করতে চায়।

(খ) পৃষ্ঠটানের জন্য জলের উপর সূচ ভাসানো যায়।

(গ) পৃষ্ঠটানের জন্য কর্পূর জাতীয় পদার্থ জলে এক প্রান্ত থেকে অপর প্রান্তে ছুটে বেড়ায়।

(ঘ) পৃষ্ঠটানের জন্য প্রদীপের তেল সলতে বেয়ে উপরে ওঠে।

(ঙ) ব্লটিং পেপার কালি শুষে নেয়।

(চ) মাটীর নীচের জল উপরে উঠে আসায় মাটীর উপরিভাগ সরস থাকে।

(ছ) ভাঙ্গা কাঁচের শেষ প্রান্ত উত্তাপে মসৃণ হয়ে গোলাকার হয়।

(জ) সাবান-জলের সংস্পর্শে এসে জলের পৃষ্ঠটান কমে এবং সহজে ছড়িয়ে পরে।

2A.6 পৃষ্ঠশক্তি (Surface energy) :

তরলের পৃষ্ঠটান কমাতে হলে তরলের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বাড়ানো প্রয়োজন। এরজন্য তরলের অভ্যন্তর থেকে অণুকে তরলপৃষ্ঠে আনতে হলে পৃষ্ঠতলের টানের বিরুদ্ধে কার্য করতে হবে। তরলপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল 1 বর্গ সে.মি. বৃদ্ধি করার জন্য যে 'কার্য করা হয় তাকে 'মুক্ত পৃষ্ঠশক্তি' বলে।

পৃষ্ঠটান ও পৃষ্ঠশক্তির সম্পর্ক ঃ

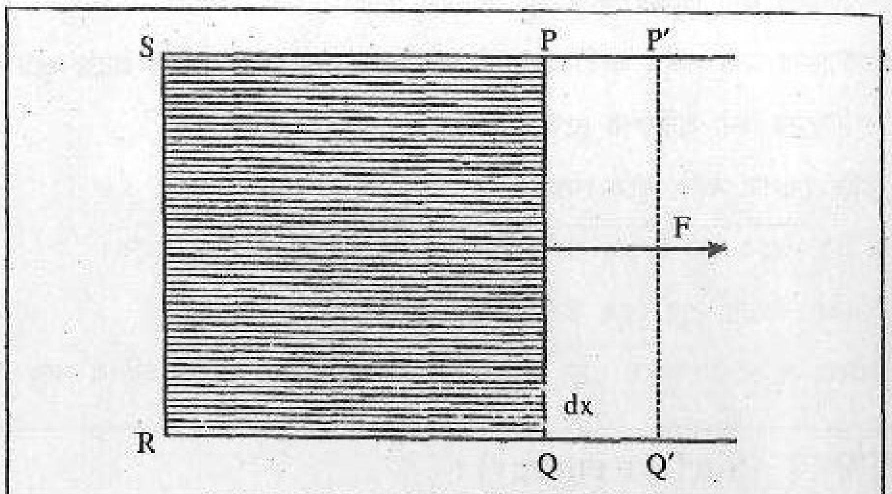
ধরা যাক তারের তৈরী একটি আয়তাকার কাঠামো PQRS এ একটি তরলের পাতলা পর্দা অনুভূমিক অবস্থায় আছে (চিত্র 4) এক্ষেত্রে PQ দিকটি বিনা আয়াসে সরানো যায়। পর্দাটি যাতে পৃষ্ঠটানের জন্য সংকুচিত না হতে পারে এবং PQ সরে না যায় PQ এর উপর বাইরের দিকে অভিলম্বে প্রযুক্ত বল দেওয়া আছে $F = \gamma \cdot 2l$. যেখানে PQ এর দৈর্ঘ্য l, প্রতি একক দৈর্ঘ্যে পৃষ্ঠটান γ এবং পর্দার দুটি পিঠ আছে।

এখন পর্দাটিকে টানের বিরুদ্ধে dx দূরত্বে (P′Q′) সরাতে হলে কার্যের পরিমাণ হবে $W = F \times dx = \gamma \cdot 2l \cdot dx = \gamma \cdot \Delta A$. (2A.7)

ΔA = পর্দার দুই দিকের জন্য বর্ধিত ক্ষেত্রফল।

$\therefore \gamma = \frac{W}{\Delta A}$, এখানে γ প্রতি একক ক্ষেত্রফলে স্থিতি শক্তির সমান। সুতরাং পৃষ্ঠশক্তি ও পৃষ্ঠটানের একক আলাদা হলেও মান (γ) সমান।

$$\text{পৃষ্ঠশক্তি} = \frac{\text{কার্য}}{\text{ক্ষেত্রফল}} \;;\; \text{পৃষ্ঠটান} = \frac{\text{বল}}{\text{দূরত্ব}}$$



চিত্র – 4 : পৃষ্ঠটানও পৃষ্ঠশক্তির সম্পর্ক

পৃষ্ঠটানের একক ও মাত্রা (Unit and dimension) :

$$\text{পৃষ্ঠশক্তি} = \frac{\text{কৃত কার্য}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{\text{বল} \times \text{দূরত্ব}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{\text{ডাইন} \times \text{সে.মি.}}{(\text{সেমি})^2} = \frac{\text{ডাইন}}{\text{সে.মি}} = \text{পৃষ্ঠটান}$$

$$\text{পৃষ্ঠটান} = \frac{\text{ডাইন}}{\text{সে.মি}} = \frac{\text{ভর} \times \text{ত্বরণ}}{\text{সে.মি.}} = \frac{\text{ভর} \times \text{সে.মি/সেকেন্ড}^2}{\text{সে.মি.}}$$

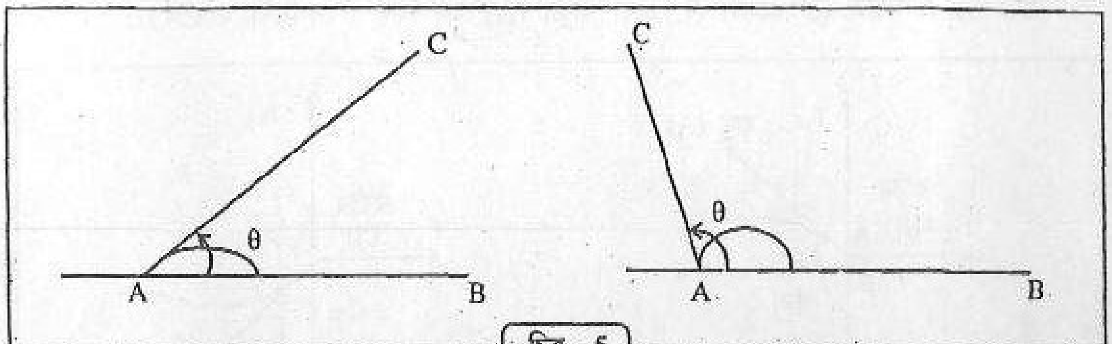
$$= \frac{[M][L][T^{-2}]}{[L]} = [M][T^{-2}]$$

2A.7 স্পর্শকোণ (Contact angle) :

তরল ও কঠিন একে অপরের সংস্পর্শে এলে দুটি উপরিতলের মধ্যে একটি কোণ সৃষ্টি হয়।

"কঠিনতলের সীমারেখা এবং তরলপৃষ্ঠের স্পর্শকের মধ্যে উভয়ের স্পর্শ বিন্দুতে তরলের ভিতর দিকে স্পর্শ রেখার লম্বতলে (Vertical plane) যে কোন উৎপন্ন হয় তাকে স্পর্শ কোণ বলে।"

(চিত্র নং 5) এ কঠিন তলের সংস্পর্শে তরল পৃষ্ঠের স্পর্শকের দ্বারা স্পর্শবিন্দুতে স্পর্শকোণ θ দেখানো হয়েছে।



চিত্র – 5

এখানে AB = কঠিন তলের সীমারেখা

AC = তরল পৃষ্ঠতলের স্পর্শবিন্দুতে একটি স্পর্শক

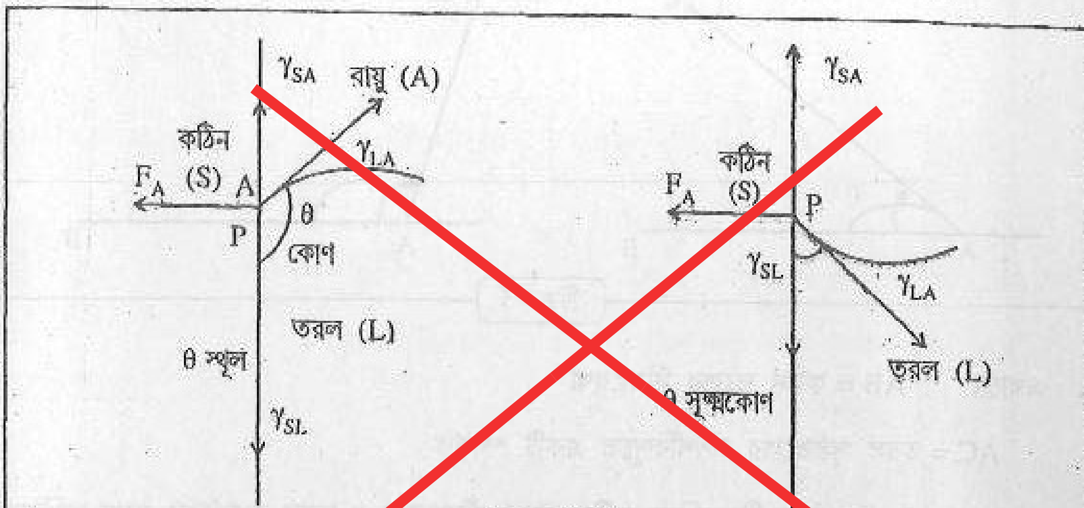
∠CAB = θ ; তরলের ভিতরদিকে কঠিন তলের সীমারেখা ও তরল স্পর্শকের মধ্যে অঙ্কিত স্পর্শ কোন θ এর মান প্রধানত, কঠিন ও তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। θ সূক্ষ্মকোণ বা স্থূলকোণ হতে পারে। কাচের পরিষ্কার পাত্রের উপর এক ফোঁটা জল, কোহল বা বেনজিন ফেললে কাচের উপর ছড়িয়ে যায়। এক্ষেত্রে স্পর্শকোণ খুব কম (0° থেকে 90° এর নীচে)। কাচের উপর পারদ (θ = 140°) প্যারাফিন (θ = 126°) এবং তার্পিন (θ = 117°) ছড়ায় না এবং কাচের উপর গুটিয়ে থাকে। এদের স্পর্শকোণ স্থূলকোণ অর্থাৎ 90° থেকে 180° এর মধ্যে।

প্রয়োজনীয়তা : জল প্যারাফিনের উপর গুটিয়ে থাকে, মেশে না কারণ এদের স্পর্শ কোণ 107° অর্থাৎ স্থূল। কিন্তু সাবান বা ডিটারজেন্টের সংস্পর্শে জল ও প্যারাফিনের স্পর্শকোণ স্থূল থেকে সূক্ষ্ম

হয় এবং জলের সংগে প্যারাফিন অবশেষে মিশে যায়। পরিহিত বস্ত্রে, ধোঁয়া, ধূলা ইত্যাদি প্যারাফিন জাতীয় তৈলাক্ত বস্তুর সংগে আটকে থাকে। ডিটারজেন্ট মেশানো জল প্যারাফিন জাতীয় পদার্থ অপসারণের সংগে জামা কাপড়কে ময়লামুক্ত করে। অন্যদিকে ওয়াটার প্রুফ বা জল-অভেদ্যক বস্তুর উপর জলের ফোঁটা পড়লে গুটিয়ে থাকে এবং ঝরে পড়ে কারণ এখানে অভেদ্যকের সংগে জলের স্পর্শকোণ স্থূল বা 90° এর বেশি হয়।

2A.8 স্পর্শকোণের সংগে সংশ্লিষ্ট পৃষ্ঠটানের সম্পর্ক :

(চিত্র 6) এ কঠিন (S), তরল (L) এবং বায়ুর (A) ছেদ বিন্দু P দেখানো হয়েছে।



চিত্র – 6

ধরা যাক কঠিন-তরলের স্পর্শতলে পৃষ্ঠটান $= \gamma_{SL}$, তরল-বায়ুর স্পর্শতলের পৃষ্ঠটান γ_{LA} এবং কঠিন-বায়ুর স্পর্শতলের পৃষ্ঠটান $= \gamma_{SA}$। এখানে কঠিনের পৃষ্ঠটানের অস্তিত্বকে স্বীকার করা হয়েছে যদিও তা প্রকৃতপক্ষে সুপ্ত থাকে। γ_{LA} আসলে P বিন্দুতে তরল পৃষ্ঠের স্পর্শক বরাবর ক্রিয়াশীল যেখানে স্পর্শকটি কঠিন পৃষ্ঠের সংগে তরলের ভিতর দিয়ে স্পর্শকোণ θ রচনা করেছে।

আবার γ_{LA} বলের উপাংশ আসঞ্জন বল (adhesive force) F_p, কঠিনের অভিলম্বে থাকায় নিষ্ক্রিয়। কিন্তু তরল অংশে কঠিনের সমান্তরালে (বা γ_{SL} বলের সমান্তরাল) γ_{LA} এর উপাংশ $\gamma_{LA}\cos\theta$ কার্যকরী। সুতরাং P বিন্দুতে সাম্যাবস্থার শর্ত হল।

$$\gamma_{SA} = \gamma_{SL} + \gamma_{LA} \cos\theta$$

অথবা, $$\cos\theta = \frac{\gamma_{SA} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LA}} \qquad (2A.8)$$

এই সমীকরণ থেকে θ এর মান পাওয়া যায় যেমন—

(i) $\gamma_{SA} > \gamma_{SL}$ হলে $\cos\theta$ ধনাত্মক, অর্থাৎ θ সূক্ষ্মকোণ হবে।

(ii) $\gamma_{SA} < \gamma_{SL}$ হলে $\cos\theta$ ঋনাত্মক, অর্থাৎ θ স্থূলকোণ হবে।

(iii) $\gamma_{SA} - \gamma_{SL} > \gamma_{LA}$ হলে $\cos\theta > 1$ হবে। কিন্তু এক্ষেত্রে P বিন্দুতে সাম্য থাকা সম্ভব নয়। সেক্ষেত্রে তরল কঠিনের উপর প্রসারিত হবে।

একই ভাবে কোন তরলের উপর এক ফোঁটা অন্য তরল রাখলে সাম্যের যুক্তি একই হবে।

2A.9 পৃষ্ঠটান নির্ণয় প্রণালী (Methods for Determination of Surface Tension) :

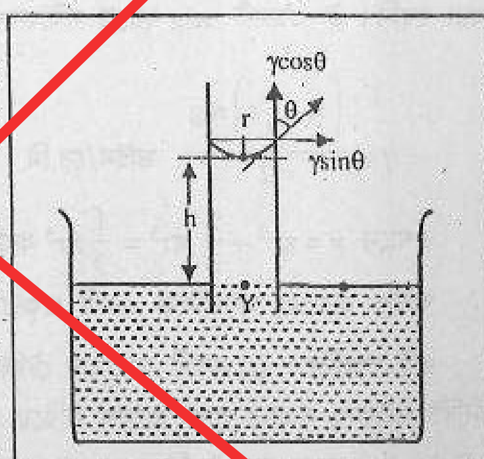
পৃষ্ঠটান নির্ণয়ের বিভিন্ন প্রণালীর মধ্যে দুটি পদ্ধতি নিয়ে এখানে আলোচনা করা হল।

(i) কৈশিক উত্থান প্রণালী (Capillary rise method) :

যে সব তরল কাচনল ভেজাতে সমর্থ হয়, কৈশিক নলে যাদের তরলের উপরিতল অবতল এবং কাচনলের সংগে স্পর্শকোণ θ সূক্ষ্মকোণ হয় তাদের ক্ষেত্রে এই প্রণালী বিশেষ কার্যকরী।

একটি কাচের কৈশিক নল (খুব সরু কাচের তৈরী নল) সম্পূর্ণ পরিষ্কার ও শুষ্ক অবস্থায় লম্বভাবে জল বা কোন তরলে আংশিক ডোবালে দেখা যায় তরল কৈশিক নলের মধ্যে দিয়ে একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় ওঠে।

এই উচ্চতা কৈশিক নলের প্রস্থচ্ছেদ, তরলের ঘনত্ব এবং পৃষ্ঠটানের উপর নির্ভর করে।



চিত্র 7 ঃ কৈশিক উন্নয়ন পদ্ধতি

ধরা যাক পাত্রের তরল পৃষ্ঠ থেকে নলের তরলের অবতল পৃষ্ঠতলের কেন্দ্র পর্য্যন্ত উচ্চতা h সে.মি., তরলের ঘনত্ব d গ্রাম/(সে.মি.)^3, কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ r সে.মি. এবং পৃষ্ঠটান γ ডাইন/সে.মি. (চিত্র-7)।

কৈশিক নলে তরল পৃষ্ঠের সংগে কাচের কোণ θ হওয়ায় স্পর্শ বিন্দুতে পৃষ্ঠটানের উর্ধ্বমুখী উপাংশ $\gamma\cos\theta$। আবার নলের স্পর্শরেখার দৈর্ঘ্য $2\pi r$। সুতরাং পৃষ্ঠটান জনিত মোট উর্ধ্বমুখী বল $2\pi r\gamma\cos\theta$ ডাইন। বিপরীতে তরলের মোট নিম্নমুখী বল = তরল স্তম্ভের ওজন $= \pi r^2 hdg$;

অভিকর্ষজ ত্বরণ = g সে.মি./সেকেন্ড^2

সুতরাং তরল স্তম্ভের সাম্যাবস্থায়

$$2\pi r\gamma\cos\theta = \pi r^2 hdg$$

অথবা $\gamma = \dfrac{rhdg}{2\cos\theta}$ ডাইন/সে.মি. (2A.9)

কাচ ও জলীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে দেখা যায় θ = শূন্য অর্থাৎ $\cos\theta = 1$ সুতরাং

$\gamma = \dfrac{rhdg}{2}$ ডাইন/সে.মি. (2A.10)

এই গণনায় অবতল পৃষ্ঠের কেন্দ্র বিন্দুর উর্ধ্বে চারিপাশের তরলের ওজন (চিত্রে ঘন দাগের অংশ) ধরা হয়নি। ঐ ওজনটি νdg ধরলে সমীকরণটি হবে

$\gamma = \dfrac{\left(h + \frac{1}{3}r\right)rdg}{2}$ ডাইন/সে.মি. (2A.11)

এখানে $\nu = \pi r^3 - \frac{2}{3}\pi r^3 = \frac{1}{3}\pi r^3$ ধরা হয়েছে

অর্থাৎ অবতল অংশটিকে একটি প্রকৃত অর্দ্ধবৃত্ত ধরা হয়েছে।

এই পদ্ধতিতে (i) একটি ভ্রাম্যমান টেলিস্কোপের সাহায্যে h পরিমাপ করা হয়। (i) কৈশিক নলে নির্দিষ্ট ওজনের সামান্য পারদ প্রবেশ করিয়ে পারদের দৈর্ঘ্য মাপা হয় এবং নলটিকে সম্পূর্ণ বেলনাকার (Cylinder) মনে করে কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয়। (iii) তরলের ঘনত্ব নির্ণয়ের জন্য আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল বা পিকনোমিটার ব্যবহার করা হয়।

প্রত্যক্ষ প্রণালীগুলির মধ্যে কৈশিক উত্থান প্রণালীই সর্বাধিক প্রচলিত।

অন্যভাবে বলা যায় কৈশিক নল তরলে ডোবালে এবং $\theta < 90^{\circ}$ হলে তরলের মুক্ত তল অবতল (Concave) হয় এবং অবতল অংশের চাপ বা বায়ুর দিকে চাপ $P_{বা}$, অপর পৃষ্ঠ বা তরল পৃষ্ঠের চাপ $P_{ত}$ থেকে $\frac{2\gamma}{r}$ বেশী হয় যেখানে $\gamma =$ পৃষ্ঠটান এবং $r =$ কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ। সেক্ষেত্রে $P_{বা} - P_{ত} = \frac{2\gamma}{r}$। এখন এই চাপ দূর করার জন্য তরল (জল) কৈশিক নলে h উচ্চতা পর্যন্ত ওঠে যখন তরলের (জলের) চাপ hdg হয় এবং $\frac{2\gamma}{r} = hdg$, অর্থাৎ $P_{বা} - P_{ত} = \frac{2\gamma}{r} = hdg$ হয়। তখন Y বিন্দুতে নলের ভিতর ও বাহিরে চাপ সমান ($P_{বা}$) হয়, (চিত্র-7)।

অন্যদিকে তরল (পারদ) কাঁচের নলকে সিক্ত না করলে মুক্ততল (চন্দ্রক menisum) উপরের দিকে উত্তল (Convex) হয় অর্থাৎ $\theta > 90^{\circ}$ হয়। সেক্ষেত্রে তরল তলের অবনমন ঘটে অর্থাৎ তরল উপরের দিকে না উঠে নলের মধ্যে নীচের দিকে প্রয়োজনীয় গভীরতায় নামে।

(ii) বিন্দু ওজন প্রণালী (Drop weight method) :

এটি একটি পরোক্ষ প্রণালীর উদাহরণ। এখানে আপেক্ষিক পদ্ধতিতে পৃষ্ঠটান মাপা হয়।

একটি কৈশিক নলের নিম্ন প্রান্ত থেকে যখন কোন তরলের বিন্দু ধীরগতিতে সম্পূর্ণ হয়ে পড়ে তখন বিচ্ছিন্ন হওয়ার মুহূর্তে বিন্দুটির উপর ক্রিয়াশীল পৃষ্ঠটান জনিত উর্দ্ধমুখী বল এবং বিন্দুটির ওজন সমান হবে।

এখানে পৃষ্ঠটান জনিত উর্দ্ধমুখী বল $2\pi r\gamma$

[$\gamma =$ পৃষ্ঠটান এবং $r =$ কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ]

এবং একটি বিন্দুর ওজন $= mg$ [$m =$ একটি বিন্দুর ভর $= \nu d$ যেখানে $\nu =$ তরলের একটি বিন্দুর আয়তন এবং $d =$ ঘনত্ব]

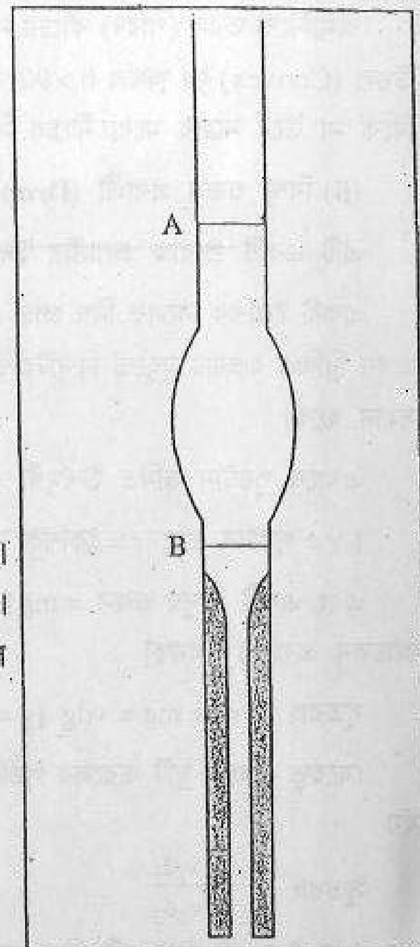
সুতরাং $2\pi r\gamma = mg = \nu dg$ [$g =$ অভিকর্ষজ ত্বরণ] (2A.12)

যেহেতু এখানে দুটি তরলের পৃষ্ঠটানের মধ্যে তুলনা করা হয় এবং একই উপকরণ ব্যবহার করা হয়

সুতরাং $\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\nu_1 d_1}{\nu_2 d_2}$ (2A.13)

1 ও 2 সংখ্যা দ্বারা দুটি ভিন্ন তরলকে চিহ্নিত করা হয়েছে।

পৃষ্ঠটান মাপার জন্য এখানে স্ট্যালাগমোমিটার (Stalagmometer) ব্যবহার করা হয়। এটি মূলত একটি বাল্‌বযুক্ত কাচের নল যার শেষ দিকে কিছুটা অংশে কৈশিক নল আছে। বাল্বের উভয় পাশে আয়তন নির্ণয়ের জন্য যথাক্রমে A ও B দাগ কাটা আছে। (চিত্র ৪) তরলটিকে একটি রবার নলের সাহায্যে। মুখ দিয়ে টেনে A দাগের উপরে তোলা হয় এবং যন্ত্রটিকে খাড়া অবস্থায় রেখে A ও B দাগের মধ্যস্থ 'V' আয়তনের তরল কৈশিক নলের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার সময় বিন্দু সংখ্যা গণনা করা হয়। দেখা হয় প্রতিটি বিন্দু যাতে পূর্ণাঙ্গ আকারে তৈরী হয়। ধরা যাক 1 নং তরলের ক্ষেত্রে V আয়তনের জন্য বিন্দুর সংখ্যা n_1 এবং 2 নং তরলের ক্ষেত্রে একই আয়তনের জন্য বিন্দুর সংখ্যা n_2। এখন 1 নং তরলের একটি বিন্দুর আয়তন হবে $\nu_1 = V/n_1$। এবং 2 নং তরলের জন্য একটি বিন্দুর আয়তন $\nu_2 = V/n_2$।



চিত্র–৪ ঃ স্ট্যালাগমোমিটার

সুতরাং $$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{\frac{V}{n_1}}{\frac{V}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (2A.14)$$

অতএব সমীকরণ (2A.13) এ বসিয়ে পাওয়া যায়

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{n_2 d_1}{n_1 d_2} \qquad (2A.15)$$

অথবা, $$\gamma_1 = \frac{n_2\, d_1}{n_1\, d_2} \times \gamma_2 \qquad (2A.16)$$

স্ট্যালাগমোমিটারের সাহায্যে n_1 ও n_2 গণনা করা হয়। আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে d_1 ও d_2 বার করা হয়। একটি নির্দেশক তরল (যেমন জল) এর পৃষ্ঠটান γ_2 জানা থাকলে প্রার্থিত তরলের পৃষ্ঠটান γ_1 গণনা করা যায়।

2A.10 পৃষ্ঠটানের উপর উষ্ণতার প্রভাব (Influence of temperature on Surface tension) :

উষ্ণতা বৃদ্ধির সংগে সংগে তরলের অণুগুলির আন্তঃআণবিক আকর্ষণ কমে এবং গতীয় শক্তি বৃদ্ধি পায়। ফলে তরলের পৃষ্ঠটানও কমতে থাকে। ক্রান্তীয় উষ্ণতায় তরল ও বাষ্পের বিভেদ তলটি বিলুপ্ত হয়। ফলে ঐ উষ্ণতায় পৃষ্ঠটানও বিলুপ্ত হবে।

ধরা যাক কোন তরলের মোলার আয়তন MV; যেখানে V = আপেক্ষিক আয়তন বা এক গ্রামের আয়তন এবং M = আণবিক ওজন। এক মোলার তরল যদি গোলকের আকারে থাকে এবং তার ব্যাসার্ধ যদি R হয় তবে

এক মোলার তরলের মোট আয়তন $MV = \frac{4}{3}\pi R^3$

এবং উহার পৃষ্ঠদেশের ক্ষেত্রফল $S = 4\pi R^2$

$$\therefore\ S = 4\pi \times \left(\frac{MV}{4/3\pi}\right)^{2/3} = k_1 (MV)^{2/3} \qquad (2A.17)$$

এবং ক্ষেত্রফল × পৃষ্ঠটান = পৃষ্ঠশক্তি = $k_1\gamma(MV)^{2/3}$ উষ্ণতা বৃদ্ধির সংগে পৃষ্ঠটান কমতে থাকে। ইয়োটভস (Eötvos) প্রস্তাব দেন মোলার পৃষ্ঠশক্তি এবং উষ্ণতার মধ্যে একটি সরলরৈখিক সম্পর্ক বর্তমান যার নতি দেখা যায় ঋণাত্মক। ইয়োটভসের সমীকরণটি হল

$$k_1\gamma(MV)^{2/3} = -k_2 t + C_1 \text{ (ধ্রুবক)}$$

অথবা $\gamma(MV)^{2/3} = -kt + C$ (ধ্রুবক) (2A.18)

ক্রান্তীক উষ্ণতায় $\gamma = 0$, $\therefore C = +kt_C$ যেখানে t_C = ক্রান্তীক উষ্ণতা

সুতরাং $\gamma(MV)^{2/3} = k(t_C - t)$; k = ইয়োটভস ধ্রুবক

পরবর্তী কালে র‍্যামজে এবং শীল্ডের (Ramsay and Shield) পরীক্ষালব্ধ ফল অনুযায়ী সমীকরণটি লেখা যায়।

$$\gamma(MV)^{2/3} = k(T_C - t - 6) \qquad (2A.19)$$

অর্থাৎ ক্রান্তীক উষ্ণতায় পৌঁছাবার ছয় ডিগ্রী পূর্বেই পৃষ্ঠটানের বিলোপ ঘটে। বাস্তবিক ক্রান্তীক উষ্ণতার কয়েক ডিগ্রী নীচেই তরলের বিভেদতল অদৃশ্য হয়।

k এর মান সাধারণ তরলের ক্ষেত্রে 2·1 পাওয়া যায়। তরলের অণুগুলি সংযোজিত (associated) হলে k এর মান 2·1 এর থেকে ভিন্ন হয়।

বিভিন্ন তরলের পৃষ্টটান (ডাইন/সে.মি.) 20°C উষ্ণতায়—

তরল	γ	তরল	γ
জল	72·8	মিথাইল অ্যালকোহল	22·6
বেনজিন	28·9	ইথাইল অ্যালকোহল	22·6
টলুইন	28·4	গ্লিসারল	65·2
অ্যাসেটিক অ্যাসিড	27·6	ইথাইল অ্যাসিটেট	23·9

4.10 সান্দ্রতা (Viscosity)

প্রবাহমান তরল বা গ্যাসের দুই পাশাপাশি স্তরে প্রবাহ বেগের তফাৎ থাকলে, কৃন্তন বলের ক্রিয়ায় এদের আপেক্ষিক বেগ কমে যেতে চায়, অর্থাৎ, দ্রুততর স্তর মন্থর স্তরকে দ্রুত করতে চায় ও মন্থর স্তর অন্যটির বেগ কমাতে চায়।

তরল বা গ্যাসের যে ধর্মের জন্য তারা পাশাপাশি স্তরের আপেক্ষিক বেগ কমাতে চায়, তাকে 'প্রবাহীর' সান্দ্রতা বলে। DEFINITION

সান্দ্রতার ব্যাখ্যা গ্যাস ও তরলের ক্ষেত্রে এক নয়। তরলের সান্দ্রতা তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কমে যায়, গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সান্দ্রতা বেড়ে যায়। তরলের সান্দ্রতা তরলের ঘনত্ব-নির্ভর, গ্যাসের সান্দ্রতা গ্যাসের চাপ-নির্ভর না।

2A.11 সান্দ্রতা (Viscosity) :

ইতিপূর্বে "পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থা'র (1A) এককে (1A–20) পরিচ্ছদে সান্দ্রতা সম্পর্কে আলোচনা করা হয়েছে। এখানে প্রধান অংশসমূহ উল্লেখ করা হল।

সান্দ্রতা প্রবাহী পদার্থ অর্থাৎ তরল ও গ্যাসের বিশেষ ধর্ম যেখানে কৃন্তন বলের ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়। প্রবহমান তরল বা গ্যাস অনেকগুলি স্তরে প্রবাহিত হয়। যে বস্তুর উপর দিয়ে প্রবাহিত হয় তার সংশ্লিষ্ট স্তরের গতিবেগ সবচেয়ে কম। কঠিন তলের থেকে দূরত্ব বৃদ্ধির সংগে গতিবেগ বর্ধিত হতে থাকে যতক্ষণ না সর্বোচ্চ বেগে পৌঁছায়। ফলে গতিবেগের একটি ক্রমমাত্রা বা নতি $\frac{dv}{dz}$ তৈরী হয়।

স্তরগুলি পাশাপাশি থাকে এবং দুটি স্তরের মধ্যে মন্থর স্তর এবং দ্রুততর স্তরের মধ্যে ঘর্ষণজনিত কৃন্তন বলের প্রভাবে তাদের আপেক্ষিক বেগ কমে যায়। এই বলের প্রকৃতি স্পার্শক (Tangential)।

স্পার্শিক বল দুটি স্তরের স্পর্শ তলে ক্রিয়া করে। দ্রুততর স্তরে এর ক্রিয়া গতির বিপরীতে এবং মন্থর তলে গতি অভিমুখে হয়।

স্পার্শিক বলের (Tangential force) মান

(i) স্পর্শতলের ক্ষেত্রফল (A) এবং (ii) বেগের নতি বা স্তরের দূরত্বের সংগে বেগের পরিবর্তনের হারের $\left(\frac{dv}{dz}\right)$ উপর নির্ভর করে। সান্দ্রতা স্পার্শিক বলের উপর নির্ভর করে।

তরলের ক্ষেত্রে স্পার্শিক বল অথবা সান্দ্রতা তরলের সংসক্তি (cohesive) ও আসঞ্জন (adhesive) বলের থেকে সৃষ্টি হয়। অন্যদিকে গ্যাসের ক্ষেত্রে সান্দ্রতার কারণ উভয় স্তরের অণুগুলির ভর বেগের বিনিময়ের হারের উপর নির্ভর করে।

ফলে তরলের সান্দ্রতা তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কমে যায় এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে গ্যাসের সান্দ্রতা বৃদ্ধি পায়।

তরলের সান্দ্রতা নলের প্রবেশপথ এবং নির্গমণ পথের চাপের পার্থক্যের উপর নির্ভর করে। গ্যাসের সান্দ্রতা ঘনত্বের উপর নির্ভর করে।

সান্দ্রতা নির্ণয়ের জন্য তরলের প্রবাহ শান্ত বা ধারাবাহিক হওয়া প্রয়োজন যাতে বিভিন্ন স্তরের মধ্যে সর্বদা একই অবস্থা বজায় থাকে।

সান্দ্রতা গুণাঙ্ক ঃ নিউটনের সূত্র

ধারাবাহিক ও ত্বরিত প্রবাহের ক্ষেত্রে পাশাপাশি অবস্থিত দুটি তরল স্তরের মধ্যে ক্রিয়াশীল স্পার্শিক বল (Tangential force) F, স্পর্শতলের ক্ষেত্রফল A এবং বেগের নতি $\left(\frac{dv}{dz}\right)$ এর সমানুপাতিক হয়। একে নিউটনের সান্দ্রতা সূত্র বলে। অর্থাৎ

$$F \alpha A \cdot \frac{dv}{dz} \text{ বা } F = \eta A \cdot \frac{dv}{dz} \qquad (2A.20)$$

η কে সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বলে। যখন $A = 1, \frac{dv}{dz} = 1$

$$\text{এক্ষেত্রে } F = \eta \qquad (2A.21)$$

স্পার্শিক বল এখানে কৃন্তন বল হওয়ায় গতির বিপরীতে কাজ করে এবং অনেকক্ষেত্রে ঋণাত্মক চিহ্ন দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

"বেগের একক নতিমাত্রায় বর্তমান তরলের দুটি স্তরের একক বর্গক্ষেত্রের মধ্যে ক্রিয়াশীল স্পার্শক বলকে তরলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বা সংক্ষেপে সান্দ্রতা বলে।

η এর ঘাত ঃ

$$\text{সান্দ্রতা গুণাঙ্ক } \eta = \frac{\text{স্পার্শক বল}}{\text{ক্ষেত্রফল} \times \text{বেগের নতি}}$$

$$\text{অথবা } \eta = \frac{[F]}{[A][dv/dz]} = \frac{MLT^{-2}}{L^2 \cdot \frac{LT^{-1}}{L}} = ML^{-1}T^{-1}$$

সি.জি.এস. পদ্ধতিতে η এর একক গ্রাম সেমি$^{-1}$ সেকেন্ড$^{-1}$

অথবা ডাইন-সেকেন্ড/বর্গসেমি বা পয়েজ (Poise) এককে প্রকাশ করা হয়।

S.I. পদ্ধতিতে η এর একক $N.S/m^2$।

নিউটনীয় এবং অ-নিউটনীয় তরল ঃ

সে সব তরল সান্দ্রতা সম্পর্কিত নিউটনের সূত্রটি মেনে চলে তাকে নিউটনীয় তরল বলে। অন্যথা হলে তরলকে অ-নিউটনীয় তরল বলে যেমন অসমসত্ত্ব দ্রবণ, কলয়ডিয় দ্রবণ, রক্ত, রং ইত্যাদি অ-নিউটনীয় দ্রবণ।

2A.12 তরলের সান্দ্রতা নির্ণয় (Determination of Viscosity of liquids) :

(1) পয়েজ্যুলের সমীকরণের সাহায্যে—অস্টওয়াল্ড প্রণালী ঃ—

এই প্রণালীতে দুটি তরলের সান্দ্রতা গুণাংকের মধ্যে তুলনা করা হয়। একটি তরলের সান্দ্রতা জানা থাকলে অপরটির সান্দ্রতা নির্ণয় সম্ভব হয়। এটি একটি আপেক্ষিক পদ্ধতি।

পয়েজ্যুলের (Poiseuille) সমীকরণটি হল

$$v = \frac{\pi r^4 (P_1 - P_2)}{8\eta l} \qquad (2A.22)$$

v = নল থেকে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহিত তরলের আয়তন। ধরা যাক নলের দুই দিকে প্রবাহিত তরলের চাপের পার্থক্য $(P_1 - P_2) = P$ এবং t সেকেন্ড সময়ে প্রবাহিত তরলের আয়তন

$$V = \nu \times t = \frac{\pi r^4 Pt}{8\eta l} \qquad (2A.23)$$

যেখানে নলের দৈর্ঘ্য $= l$ এবং ব্যাসার্ধ $= r$

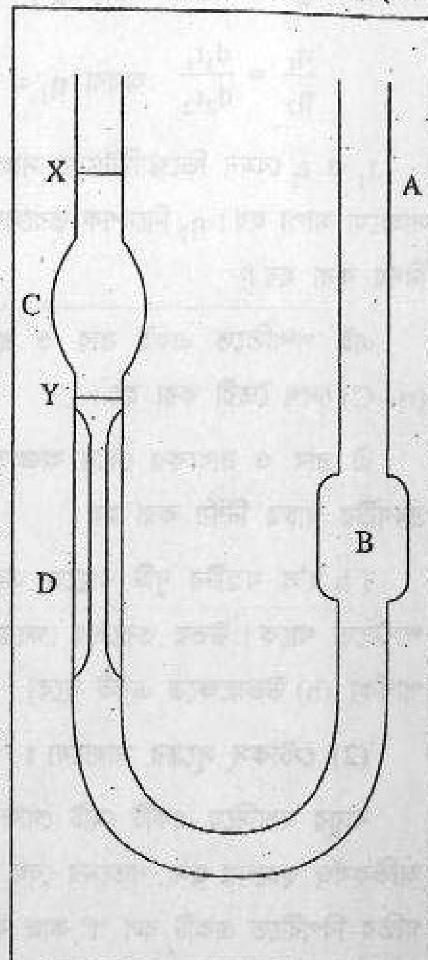
যেহেতু r এর মান নির্ণয় করা কষ্ট সাধ্য আপেক্ষিক পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়।

এখন তরল পূর্ণ নলটি খাড়া অবস্থায় রাখলে (অষ্টওয়াল্ড ভিস্‌কোমিটারের কৈশিক নলের ক্ষেত্রে) P হবে উদস্থিতি চাপের সমান। এবং $P = hdg$ যেখানে $d =$ তরলের ঘনত্ব এবং $h =$ দুটি তরলপৃষ্ঠের পার্থক্য। $g =$ অভিকর্ষজ ত্বরন।

সুতরাং (2A.23) সমীকরণটিকে লেখা যায়

$$\eta = \frac{\pi r^4 t h d g}{8Vl} \qquad (2A.24)$$

তরলের সান্দ্রতামাপক যন্ত্র হিসাবে অষ্টওয়াল্ড ভিস্‌কোমিটার ব্যবহার করা হয় (চিত্র নং 9)। এটি কাচ নির্মিত U আকৃতির নল। চিত্রানুযায়ী ডানদিকের নলটি (A) অপেক্ষাকৃত প্রশস্ত যার নীচের দিকে একটি কুণ্ড B আছে। এবং বামদিকের নলের উপরের দিকে একটি অপেক্ষাকৃত ছোট কুণ্ড C থাকে। কুণ্ডের উপরে ও নীচে দুটি দাগ X ও Y থাকে এবং Y দাগের নীচে নলে কিছুটা অংশ (D) কৈশিক থাকে। ভিস্কোমিটারটিকে ভালভাবে পরিষ্কার করে ডানদিকের প্রশস্ত বাহুতে নির্দিষ্ট আয়তনের (15–20cc) প্রথম তরলটি নেওয়া হয়। বাঁদিকের নলে রবার নল যুক্ত করে মুখ দিয়ে টেনে তরলটি X চিহ্নের উপর পর্য্যন্ত তুলে ছেড়ে দেওয়া হয়। ভিস্কোমিটারটি খাড়া অবস্থায় রেখে $X \rightarrow Y$ দাগ পর্য্যন্ত (V আয়তন) প্রবাহিত হতে তরলের যে সময় (t_1) লাগে একটি বিরাম ঘড়ির (Stop watch) সাহায্যে তা দেখা হয়। দ্বিতীয় তরলের ক্ষেত্রেও একই আয়তনের (15–20cc) তরল একই ভাবে $X \rightarrow Y$ দাগ (V আয়তন) অতিক্রম করতে কত সময় (t_2) নেয় দেখা হয়।



চিত্র–9

একই ভিস্কোমিটারে উভয় তরলের সান্দ্রতা নির্ণয় করার জন্য r, l, V অপরিবর্তিত থাকে। এবং প্রতিবার একই আয়তনের তরল নিয়ে কাজ করলে h এক থাকবে।

প্রথম ও দ্বিতীয় তরলের সান্দ্রতা গুণাংক যথাক্রমে

$$\eta_1 = \frac{\pi r^4 t_1 h d_1 g}{8Vl} \quad \text{এবং} \quad \eta_2 = \frac{\pi r^4 t_2 h d_2 g}{8Vl}$$

∴ দুটি তরলের সান্দ্রতা গুণাংকের অনুপাত

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{d_1 t_1}{d_2 t_2} \quad \text{অথবা} \quad \eta_1 = \frac{d_1 t_1}{d_2 t_2} \times \eta_2 \qquad (2A.25)$$

t_1 ও t_2 যেমন ভিস্কোমিটারের সাহায্যে মাপা হয়। তেমনি d_1 ও d_2 আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে মাপা হয়। η_2 নির্দেশক তরলের (নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় জলের সান্দ্রতা) মান বসিয়ে η_1 এর মান নির্ণয় করা হয়।

এই পদ্ধতিতে একই দ্রাব ও দ্রাবকের কয়েকটি জ্ঞাত দ্রবণের সান্দ্রতা নির্ণয় করে প্রমাণ $(\eta - C)$ লেখ তৈরী করা হয়।

ঐ দ্রাব ও দ্রাবকের কোন অজ্ঞাতমাত্রার দ্রবণের সান্দ্রতা নির্ণয় করে ঐ লেখতে মান বসিয়ে দ্রবণটির গাঢ়ত্ব নির্ণয় করা হয়।

[h হ'ল যন্ত্রটির দুটি বাহুতে তরলের উপরিতলের পার্থক্য। পরীক্ষা চলাকালীন এই উচ্চতা পাল্টাতে থাকে। উভয় তরলের ক্ষেত্রে আয়তন একই নেওয়ার ফলে প্রাথমিক ও অন্তিম উচ্চতার পার্থক্য (h) উভয়ক্ষেত্রে একই হবে]

(2) স্টোকস্ সূত্রের সাহায্যে ঃ

বায়ুর মধ্যদিয়ে একটি ছোট গোলক উপর থেকে ছেড়ে দিলে নীচের দিকে পড়তে থাকে এবং অভিকর্ষজ ত্বরনের জন্য পতনের বেগ ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু তরলের ক্ষেত্রে সান্দ্রতার কারণে বস্তুর গতির বিপরীতে একটি বল 'f' কাজ করে। বস্তুর বেগ বাড়ার সঙ্গে বাধা 'f' ও বাড়ে। বস্তুর ওজন mg এবং বিপরীত বাধা 'f' একসময় সমতাপ্রাপ্ত হয় অর্থাৎ mg = f হয়। তখন বস্তুটি একটি নির্দিষ্ট গতিতে পড়তে থাকে। এই বেগকে সীমান্ত বেগ (u) বলে।

স্টোকস্ প্রমাণ করেন যে স্থির তরলে নীচের দিকে পতনশীল গোলকটির উপর মন্দন সৃষ্টিকারী বিপরীত বল 'f' তরলের সান্দ্রতা η, গোলকের ব্যাসার্ধ r, এবং সীমান্ত বেগ বা গতির হার u এর উপর নির্ভর করে।

সুতরাং $f = 6\pi r\eta u$

অন্য দিকে গোলকের ওজন $w = mg = V(d - d_l)g$

$$= \frac{4}{3}\pi r^3 (d - d_l)\, g$$

d = গোলকের ঘনত্ব, d_l = তরলের ঘনত্ব, V = গোলকের আয়তন

$$\therefore\ 6\pi r\eta u = \frac{4}{3}\pi r^3(d - d_l)g$$

$$\text{অথবা}\ \eta = \frac{2r^2(d-d_1)g}{9u} \qquad (2A.26)$$

খুব ছোট ছোট লোহার বল তরলের মধ্য দিয়ে নীচে পড়ার সময় প্রতিক্ষেত্রে গতিবেগ u মাপা হয়। এই সমীকরণে বিভিন্ন মান বসিয়ে η নির্ণয় করা হয়।

2A.13 সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব :

ইতিপূর্বে আমরা দেখেছি উষ্ণতা বৃদ্ধির সংগে গ্যাসের সান্দ্রতা বৃদ্ধি পায়। এবং গ্যাসের সান্দ্রতা উষ্ণতার বর্গমূলের সংগে সমানুপাতিক। কিন্তু তরলের সান্দ্রতা উষ্ণতা বৃদ্ধির সংগে কমে। দেখা গেছে যে তরলের ক্ষেত্রে প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য সান্দ্রতার মান 2% কমে। এর কারণ হিসাবে বলা হয় তাপমাত্রা বাড়লে তরলের অণুর সংসক্তি ও আসঞ্জন বল কমে যায়।

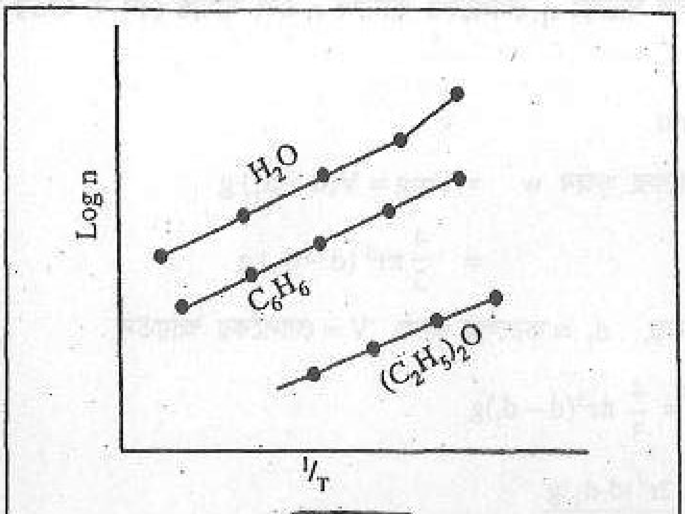
আরহেনিয়াস ও গুজম্যান (S. Arrhenius and J. de. Guzman) তরলের সান্দ্রতা গুণাংকের সংগে তাপমাত্রার সম্পর্কটি স্থির করেন

$$\eta = A\, e^{E/RT} \qquad (2A.27)$$

$$\text{অথবা}\ \log \eta = \frac{B}{T} + C \qquad (2A.28)$$

যেখানে A ও E অথবা B ও C তরল বিশেষের ধ্রুবক

$\log \eta$ কে $\frac{1}{T}$ এর সাপেক্ষে অঙ্কন করলে একটি সরল রেখা পাওয়া যায়। (চিত্র 10)



চিত্র 10

প্রবাহিতা (Fluidity) (θ) : সান্দ্রতা গুণাংকের অন্যোন্যককে (reciprocal) প্রবাহিতা বা প্রবাহমানতা বলে অর্থাৎ $\theta = \frac{1}{\eta}$

2A.14 প্রতিসরণাঙ্ক (Refractive index) :

আলোক রশ্মি যখন এক মাধ্যম থেকে অন্যমাধ্যমে প্রবেশ করে তখন তার দিক পরিবর্তন ঘটে। এই দিক পরিবর্তনকে 'প্রতিসরণ' (refraction) বলে। যদি কোন রশ্মি বায়ু বা শূন্য মাধ্যম থেকে অপেক্ষাকৃত ঘন মাধ্যমে (তরল বা কঠিন) প্রবেশ করে এবং i ও r যথাক্রমে আপতন কোণ (angle of incidence) এবং প্রতিসরণ কোণ (angle of refraction) হয় তবে ঐ মাধ্যমে সূচক বা প্রতিসরণাঙ্ক (refractive index) n হবে নিম্নলিখিত অনুপাত।

$$n = \frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} \qquad (2A.29)$$

n এর মান আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘের উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন আলোর প্রতিসরণাঙ্ক বিভিন্ন। তুলনামূলক আলোচনার ক্ষেত্রে সাধারণতঃ সোডিয়াম ডি রেখা (Na-D line) আলোক রশ্মি রূপে ব্যবহার করা হয়।