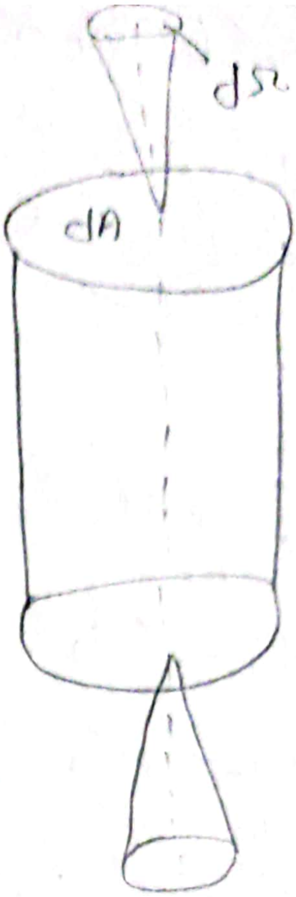
প্র: বিকিরণবহন স্থানান্তর এর সমীকরণ:



ds দৈর্ঘ্য এবং dA প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি সূক্ষ্ম বেলন বিবেচনা করি। যার দুই মুখ খোলা। যদি I_λ তীব্রতা বিশিষ্ট বিকিরণের একটি নির্দিষ্ট বেলনের অক্ষ dl বরাবর ১ম মুখ দিয়ে প্রবেশ করে এবং বেলন মধ্যস্থ পদার্থের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয়ে দ্বিতীয় মুখ দিয়ে বের হয়ে যায়।

$d\Omega$ ঘন কোণের মধ্য দিয়ে dt সময়ে $\lambda+d\lambda$ ও λ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ব্যবধানের প্রবেশকৃত মোট বিকিরণের পরিমাণ

$$E_{enter} = I_\lambda \, d\Omega \, dt \, dA \, d\lambda \quad \text{—— (1)}$$

২য় মুখের মধ্য দিয়ে নির্গত মোট বিকিরণ,

$$E_{exit} = (I_\lambda + dI_\lambda) \, d\Omega \, dt \, dA \, d\lambda \quad \text{—— (2)}$$

নি:সরিত বিকিরণের পরিমাণ,

$$\Delta E_{emm} = j_\lambda \rho \, dA \, d\Omega \, dt \, ds \, d\lambda \quad \text{—— (3)}$$

শোষিত বিকিরণের পরিমাণ,

$$\Delta E_a = -I_\lambda K_\lambda \rho \, ds \, d\Omega \, dt \, dA \, d\lambda \quad \text{—— (4)}$$

বিক্ষেপিত বিকিরণের পরিমাণ,

$$\Delta E_s = -I_\lambda \sigma_\lambda \rho \, ds \, d\Omega \, dt \, dA \, d\lambda \quad \text{—— (5)}$$

সমগ্র প্রবাহ বিবেচনা করে,

$$E_{exit} - E_i = \Delta E_{emission} + \Delta E_a + \Delta E_s$$

$$\Rightarrow (I_\lambda + dI_\lambda)\, d\Omega\, dt\, dA\, d\lambda - I_\lambda\, d\Omega\, dt\, dA\, d\lambda = j_\lambda \rho\, dA\, d\Omega\, dt\, ds\, d\lambda - I_\lambda \kappa_\lambda \rho\, ds\, d\Omega\, dt\, dA\, d\lambda - I_\lambda \sigma_\lambda \rho\, ds\, d\Omega\, dt\, dA\, d\lambda$$

$$\Rightarrow dI_\lambda\, d\Omega\, dt\, dA\, d\lambda = (j_\lambda - I_\lambda \kappa_\lambda - I_\lambda \sigma_\lambda)\, \rho\, ds\, d\Omega\, dt\, dA\, d\lambda$$

$$\Rightarrow dI_\lambda = (j_\lambda - I_\lambda \kappa_\lambda - I_\lambda \sigma_\lambda)\, \rho\, ds$$

$$\Rightarrow \frac{dI_\lambda}{ds} = (j_\lambda - I_\lambda \kappa_\lambda - I_\lambda \sigma_\lambda)\, \rho$$

$$\Rightarrow \frac{dI_\lambda}{ds} = - I_\lambda \rho (\kappa_\lambda + \sigma_\lambda) + j_\lambda \rho \quad \text{——— (6)}$$

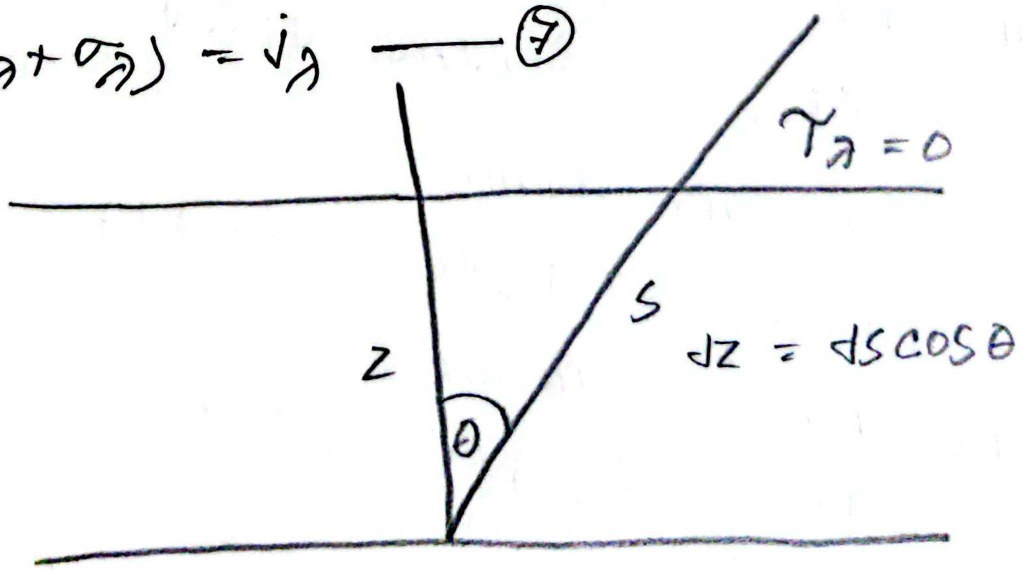
যদি দূরত্বের সাথে তীব্রতার পরিবর্তন না হয়,

$$\frac{dI_\lambda}{ds} = 0$$

$$\Rightarrow 0 = - I_\lambda \rho (\kappa_\lambda + \sigma_\lambda) + j_\lambda \rho$$

$$\Rightarrow I_\lambda \rho (\kappa_\lambda + \sigma_\lambda) = j_\lambda \rho$$

$$\Rightarrow I_\lambda \cancel{\rho} (\kappa_\lambda + \sigma_\lambda) = j_\lambda \quad \text{——— (7)}$$



এখানে,

$$dz = -ds\cos\theta$$

$$\Rightarrow ds = -dz/\cos\theta \quad \text{—— (8a)}$$

(6) নং হতে,

$$\frac{dI_\lambda}{-dz/\cos\theta} = -I_\lambda \rho\,(K_\lambda + \sigma_\lambda) + j_\lambda \rho$$

$$\Rightarrow \frac{dI_\lambda}{-dz/\cos\theta} = -I_\lambda(\theta)\,\rho\,(K_\lambda + \sigma_\lambda) + j_\lambda \rho$$

$$\Rightarrow \cos\theta\,\frac{dI_\lambda(\theta)}{dz} = (K_\lambda + \sigma_\lambda)\,I_\lambda(\theta)\,\rho - j_\lambda \rho \quad \text{—— (8b)}$$

$$\sigma_\lambda = 0, \quad j_\lambda = K_\lambda B_\lambda(T)$$

$$\Rightarrow \cos\theta\,\frac{dI_\lambda(\theta)}{dz} = K_\lambda I_\lambda(\theta)\,\rho - K_\lambda B_\lambda(T)\,\rho \quad \text{—— (9)}$$

আবার, অপটিক্যাল গভীরতা,

$$\tau_\lambda = \int_{-\infty}^{z} (K_\lambda + \sigma_\lambda)\,\rho\,dz$$

$$= \int K_\lambda \rho\,dz \quad \text{—— (10)} \quad [\sigma_\lambda = 0]$$

আবার,

$$d\tau_\lambda = (K_\lambda + \sigma_\lambda)\,\rho\,dz$$

$$\Rightarrow dz = d\tau_\lambda / (K_\lambda + \sigma_\lambda)\,\rho$$

(8b) হতে,

$$\Rightarrow \cos\theta\,\frac{dI_\lambda(\theta)}{d\tau_\lambda / (K_\lambda + \sigma_\lambda)\,\rho} = (K_\lambda + \sigma_\lambda)\,I_\lambda(\theta)\,\rho - j_\lambda \rho$$

$$\Rightarrow (\kappa_\lambda + \sigma_\lambda)\rho \cos\theta \frac{dI_\lambda(\theta)}{d\tau_\lambda} = (\kappa_\lambda + \sigma_\lambda) I_\lambda(\theta)\rho - j_\lambda \rho$$

$$\Rightarrow \cos\theta \frac{dI_\lambda(\theta)}{d\tau_\lambda} = I_\lambda(\theta) - \underbrace{j_\lambda/(\kappa_\lambda + \sigma_\lambda)}_{S_\lambda}$$

$$\Rightarrow \cos\theta \frac{dI_\lambda(\theta)}{d\tau_\lambda} = I_\lambda(\theta) - S_\lambda$$

$$\Rightarrow \cos\theta \frac{dI_\lambda(\theta)}{d\tau_\lambda} = I_\lambda(\theta) - B_\lambda(T) \qquad [S_\lambda = B_\lambda(T)]$$

$$\Rightarrow \frac{dI_\lambda}{d\tau_\lambda} = I_\lambda - S_\lambda \qquad [\theta = 0^\circ]$$

$$\Rightarrow \cos\theta \frac{dI}{d\tau_\nu} = I - S \quad \text{—— (11)}$$ [বিকিরণ স্থানান্তর সমীকরণ]

(11) নং সমীকরণের ঘন কোণের জন্য সমাকলন করে প্রথম সম্পর্ক,

$$\frac{d}{d\tau_\nu}\int I\cos\theta \, d\Omega = \int I \, d\Omega - S\int d\Omega \quad \text{—— (12)}$$

আবার বিকিরণকারী ফ্লাক্স,

$$F_{rad} = \int I\cos\theta \, d\Omega$$

গড় তীব্রতা, $\langle I_\lambda \rangle = \frac{1}{4\pi}\int I_\lambda \, d\Omega$, $\int d\Omega = 4\pi$

সমীকরণ (12) হতে,

$$\frac{dF_{rad}}{d\tau_\nu} = 4\pi\langle I\rangle - S$$

(11) নং সমীকরণে cosθ দ্বারা গুণ করে সমাকলন করে দ্বিতীয় ভ্রামক হতে,

$$\frac{d}{d\tau_v}\int I\cos^2\theta\, d\Omega = \int I\cos\theta\, d\Omega - \underbrace{S\int \cos\theta\, d\Omega}_{0}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{d\tau_v}\int I\cos^2\theta\, d\Omega = c\cdot\frac{dP_{rad}}{d\tau_v} \quad \left[\int I\cos\theta\, d\Omega = F_{rad}\right]$$

$$\Rightarrow c\cdot\frac{dP_{rad}}{d\tau_v} = F_{rad}$$

$$\Rightarrow \frac{dP_{rad}}{d\tau_v} = \frac{F_{rad}}{c}$$

$$\Rightarrow dP_{rad} = \frac{F_{rad}}{c}\, d\tau_v$$

সমাকলন করে পাই,

$$\Rightarrow P_{rad} = \frac{F_{rad}}{c}\tau_v + C$$

এটি হলো বিকিরণ চাপ, বিকিরণ ফ্লাক্স ও আলোকীয় গভীরতার সম্পর্ক।

প্রঃ আপেক্ষিক শক্তি ঘনত্বের পরিমাণ বের কর। বিকিরণ চাপের জন্য চাপের পরিমাণ বের কর।

→ আমরা জানি, চাপ সমীকরণটি হলো,

$$P = \frac{1}{3}\int_0^\infty n_p P v \, dP \quad \text{---} ①$$

এখানে বিকিরণ চাপের জন্য ∴ $n_p dP = n_\nu d\nu$; $P = \frac{h\nu}{c}$

ব্যবহার করে ① হতে

$$P_{rad} = \frac{1}{3}\int_0^\infty \frac{h\nu}{c} \times c \times n_\nu d\nu \quad [\because v = c]$$

$$= \frac{1}{3}\int_0^\infty h\nu \, n_\nu d\nu$$

কম্পাঙ্ক পাল্লায় ν এবং $\nu + d\nu$ এর মধ্যে শক্তি ঘনত্ব $u_\nu d\nu$

$$= \frac{1}{3}\int_0^\infty u_\nu d\nu \quad \text{---} ②$$

প্লাঙ্কের বিকিরণ সূত্র হতে,

$$u_\nu d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/KT} - 1} \cdot d\nu$$

① হতে,

$$P_{rad} = \frac{1}{3}\int_0^\infty \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/KT} - 1} \cdot d\nu$$

$$= \frac{1}{3} \frac{8\pi h}{c^3}\int_0^\infty \frac{\nu^3 d\nu}{e^{h\nu/KT} - 1}$$

ধরি, $x = \frac{h\nu}{KT}$, $d\nu = \frac{KT}{h} dx$

$$= \frac{1}{3} \frac{8\pi h}{c^3} \int_0^\infty \frac{KT}{h} \cdot \frac{dx}{e^x - 1} \left(\frac{xKT}{h}\right)^3$$

$$= \frac{1}{3} \frac{8\pi h}{c^3} \times \frac{KT}{h} \times \frac{K^3T^3}{h^3} \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx$$

$$= \frac{1}{3} \frac{8\pi K^4 T^4}{h^3 c^3} \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx$$

$$= \frac{1}{3} \frac{8\pi K^4 T^4}{h^3 c^3} \times \frac{\pi^4}{15}$$

$$= \frac{1}{3} \frac{8}{15} \frac{\pi^3 K^4 T^4}{c^3 h^3}$$

$$\therefore P_{rad} = \frac{1}{3} aT^4$$

ইহা হলো বিকিরণ চাপের রাশিমালা।

আবার,

$$P_{rad} = \frac{1}{3} aT^4$$

$$= \frac{1}{3} U \qquad [U = aT^4]$$

$$= \frac{U}{3}$$

$\therefore$ আপেক্ষিক শক্তি ঘনত্ব $U = aT^4$ ।

□ নাক্ষত্রিক অস্বচ্ছতা আলোচনা কর।

→ কোনো গ্যাসের মধ্য দিয়ে λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক সঞ্চালনের সময় তীব্রতার পরিবর্তন (dI_λ) আপতিত রশ্মির তীব্রতা I_λ, অতিক্রান্ত দূরত্ব ds এবং গ্যাসের ঘনত্ব ρ এর সমানুপাতিক। অর্থাৎ, $dI_\lambda = -K_\lambda \rho I_\lambda ds$। এখানে K_λ কে মোলার শোষণাঙ্ক বা অস্বচ্ছতা বলে।

$$\therefore dI_\lambda = -K_\lambda \rho I_\lambda ds$$

$$\Rightarrow \frac{dI_\lambda}{I_\lambda} = -K_\lambda \rho ds$$

$$\Rightarrow \int_{I_{\lambda 0}}^{I_\lambda} \frac{dI_\lambda}{I_\lambda} = -\int_0^s K_\lambda \rho ds$$

$$\Rightarrow \ln \frac{I_\lambda}{I_{\lambda 0}} = -K_\lambda \rho s$$

$$\Rightarrow I_\lambda = I_{\lambda 0} e^{-K_\lambda \rho s}$$

□ আলোকীয় গভীরতা আলোচনা কর।

→ বিক্ষেপিত ফোটনের ক্রমিক সংঘর্ষের মধ্যে দৈর্ঘ্য l হলো ফোটন এর গড় মুক্ত পথ।

$$\therefore \text{গড় মুক্তপথ } l = \frac{1}{K_\lambda \rho} = \frac{1}{n\sigma_\lambda}$$

এখানে $K_\lambda \rho$ এবং $n\sigma_\lambda$ কে প্রতি একক দৈর্ঘ্য দূরত্ব অতিক্রম করার পর বিক্ষেপিত ফোটনের ভগ্নাংশ বিবেচনা করা যায়।

আলোকীয় গভীরতা হলো তারার মূল অবস্থান থেকে আলোক রশ্মির পথের দিকে ঐ মুক্ত পথের সংখ্যা। তীব্রতা I_λ ও I_{λ_0} এর মধ্যবর্তী সম্পর্ক হলো,

$$I_\lambda = I_{\lambda_0} e^{-\tau_\lambda}$$

$$\Rightarrow I_\lambda = I_{\lambda_0} e^{-1} \quad [\because \tau_\lambda = 1]$$

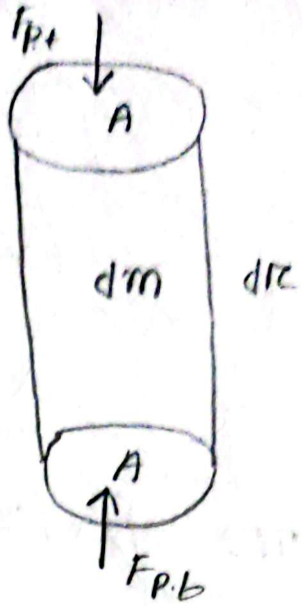
যদি আলোক রশ্মি কোন গ্যাসের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার সময় $\tau_\lambda \gg 1$ হয় তাহলে গ্যাসটি আলোকীয়ভাবে পুরু এবং যদি $\tau_\lambda \ll 1$ হয় তাহলে হবে পাতলা।

একটি নক্ষত্রের জন্য হাইড্রোস্ট্যাটিক সাম্যাবস্থার সমীকরণ বের কর এবং কেন্দ্রীয় চাপের রাশিমালা বের কর।

→ আমরা জানি মহাকর্ষীয় বল হলো সর্বদা আকর্ষণধর্মী অর্থাৎ একটি নক্ষত্রকে ধ্বংস থেকে রক্ষা করতে হয় তবে একটি বিপরীতমুখী বল ক্রিয়া করবে। এই বল থেকে চাপ উদ্ভূত হবে। এই চাপ নক্ষত্রের গভীরতার সাথে কিভাবে পরিবর্তিত হবে তা বের করার জন্য dm ভরের একটি কোন বিবেচনা করি। কোনটির উপরের ও নিচের তলের ক্ষেত্রফল A এবং কোনটির উচ্চতা dr।

নিউটনের সূত্র হতে,

$$dm \cdot \frac{d^2r}{dt^2} = F_g + F_{P,t} + F_{P,b} \quad \text{— (1)}$$



এখানে F_g মহাকর্ষীয় বল এবং $F_{P,t}$, $F_{P,b}$ হলো বেলনটির উপরে ও নীচে ক্রিয়াশীল বল।

এখন dF_P ব্যবহার করে $F_{P,t}$ কে $F_{P,b}$ এর মাধ্যমে লিখতে পারি,

$$F_{P,t} = -(F_{P,b} + dF_P)$$

(1) নং হতে, $$dm \cdot \frac{d^2r}{dt^2} = F_g - dF_P \quad \text{— (2)}$$

dm এর জন্য মহাকর্ষীয় বল, $$F_g = -G\frac{M_r \cdot dm}{r^2} \quad \text{— (3)}$$

আবার বলের পার্থক্য $$dF_P = A \cdot dP \quad \text{— (4)}$$

(2) নং হতে

$$dm \cdot \frac{d^2r}{dt^2} = -G\frac{M_r \cdot dm}{r^2} - A \cdot dP \quad \text{— (5)}$$

বেলনের গ্যাসের ঘনত্ব ρ হলে,

$$dm = \rho A \cdot dr$$

(5) হতে,

$$\rho A dr \cdot \frac{d^2r}{dt^2} = -G\frac{M_r \rho A dr}{r^2} - A\,dP$$

$$\Rightarrow \rho \frac{d^2r}{dt^2} = -G\frac{M_r \rho}{r^2} - \frac{dP}{dr}$$ [A dr দ্বারা ভাগ করে]

যদি নক্ষত্রটি স্থির এবং সুষম মনে হয় তবে,

$$0 = -G\frac{M_r \cdot \rho}{r^2} - \frac{dP}{dr}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dr} = -G\frac{M_r \cdot \rho}{r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dr} = -\rho g \qquad \left[g = \frac{GM_r}{r^2}\right]$$

বাহিরে হাইড্রোস্ট্যাটিক সাম্যাবস্থার সমীকরণ।

<u>কেন্দ্রীয় চাপের রাশিমালা</u> :

$$\frac{dP}{dr} = -G\frac{M_r \cdot \rho}{r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dr} = -G\frac{\rho(4/3\,\pi r^3)\rho}{r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dr} = -G\frac{4\pi\rho^2 r^3}{3r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dr} = -G\frac{4\pi\rho^2 r}{3}$$

$$\Rightarrow dP = -G\frac{4\pi\rho^2 r}{3}dr$$

$$\Rightarrow \int_{P_c}^{0} dP = -G\frac{4\pi\rho^2}{3}\int_0^R r\,dr$$

$$\Rightarrow P_c = -G\frac{4\pi\rho^2}{3}\frac{R^2}{2}$$

$$\therefore P_c = -\frac{2\pi G\rho^2 R^2}{3}$$

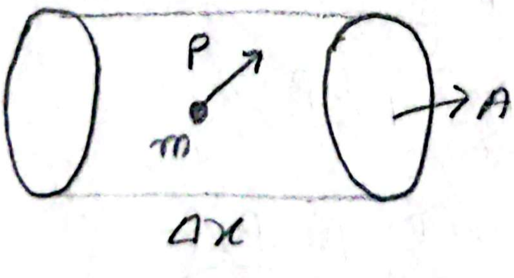
প্রঃ কোন পাত্রের অভ্যন্তরে চাপ সমীকরণ বা অবস্থার চাপ সমীকরণ বের কর।

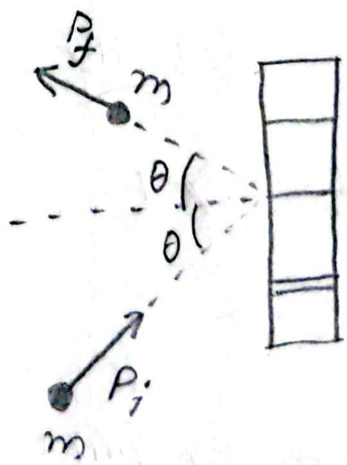
→ Δx দৈর্ঘ্য এবং A প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট একটি গ্যাস সিলিন্ডার বিবেচনা করি। যেখানে অবস্থিত m ভরের কণা আদর্শ গ্যাসের মতো স্থিতিস্থাপক বিক্ষেপণের মাধ্যমে দেয়ালের সাথে মিথস্ক্রিয়া করছে। সুতরাং দেয়ালের আপতিত কণার বল আপতিত কোণ এবং প্রতিফলন কোণ একই। নিউটনের সূত্র হতে দেখানো যে ঘাত বল $f\Delta t$ প্রযুক্ত হয় তার ভরবেগের পরিবর্তনের ঋণাত্মক মানের সমান।

$$f\Delta t = -\Delta P = 2P_x \hat{i}$$

P_x হলো x- অক্ষের দিকে কণার আদি ভরবেগের উপাংশ। কণা কতৃক দুইবার সংঘর্ষের মধ্যবর্তী সময় হবে,

$$\Delta t = 2 \cdot \frac{\Delta x}{v_x} \qquad \text{—— (1)}$$





অতএব এই সময়ের মধ্যে একটি কণা দ্বারা বেলনের দেয়ালের উপর প্রযুক্ত গড় বল,

$$f = \frac{2P_x}{\Delta t} = \frac{P_x v_x}{\Delta x} \quad \text{—— (২)}$$

যেহেতু $P_x \propto v_x$ সুতরাং দেয়ালের উপর অবশ্যই একটি v_x^2 এর সমানুপাতিক

কিন্তু $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$

এখানে, $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2 = \frac{v^2}{3}$

(২) নং এ $P_x v_x$ এর পরিবর্তে $\frac{1}{3} pv$ ব্যবহার করে,

$$f(p) = \frac{1}{3} \frac{pv}{\Delta x}$$

যদি ভরবেগ p এবং $p+dp$ এর মধ্যবর্তী কণার সংখ্যা $N_p dp$ হয় তাহলে মোট কণার সংখ্যা

$$N = \int_0^\infty N_p \, dp$$

সকল কণা দ্বারা প্রযুক্ত মোট বল,

$$dF(p) = f(p) N_p \, dp$$

$$\Rightarrow F = \frac{1}{3} \frac{N_p}{\Delta x} \cdot pv \, dp$$

$$= \frac{1}{3} \int_0^\infty \frac{N_p}{\Delta x} pv \, dp \quad \text{—— (৩)}$$

একক আয়তনে কণার ভরবেগ,

$$n_p dp = \frac{N_p}{\Delta v} dp$$

এখানে $P = F/A$, $\Delta V = A\Delta x$

$$n_p dP = \frac{N_p}{A\Delta x} dP$$

$$\Rightarrow n_p = \frac{N_p}{A\Delta x}$$

③ হতে,
$$P = \frac{1}{3}\int_0^{\infty} \frac{N_p}{A\Delta x} dP\, PV$$

$$= \frac{1}{3}\int_0^{\infty} n_p PV dP$$

ইহাই চাপ সমবণ্টন সমীকরণ।

☐ একটি নক্ষত্রের মহাকর্ষীয় বিভবশক্তির রাশিমালা বের কর এবং মোট তাপীয় শক্তির রাশিমালা বের কর।

→ নিউটনের মতবাদে বর্তুলাকার প্রতিসম M_r বস্তুটির নক্ষত্রের বাইরে কেন্দ্র থেকে r দূরত্বে dm_i ভরের মধ্যকার মহাকর্ষীয় বল,

$$dF_{g,i} = G\frac{M_r dm_i}{r^2} \quad \text{—— ①}$$

বিন্দু এর dm_i এর মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তি হবে,

$$dU_{g,i} = -G\frac{M_r dm_i}{r} \quad \text{—— ②}$$

এখানে $dm_i = 4\pi r^2 \rho dr$

② হতে,
$$dU_g = -G\frac{M_r \times 4\pi r^2 \rho dr}{r} dr$$

$$\Rightarrow U_g = -4\pi G \int_0^R m_r \cdot \rho\, r\, dr \quad \text{—— ③}$$

[সমাকলনের কাজে]

নক্ষত্র এর ঘনত্বের জন্য আমরা মান বিবেচনা করি,

$$\rho \sim \bar{\rho} = \frac{M}{4/3\,\pi R^3}$$

আবার,

$$m_r \approx 4/3\,\pi r^3 \bar{\rho}$$

③ হতে,

$$U_g = -4\pi G \int_0^R \frac{4}{3}\pi r^3 \rho \times r\, dr\, \rho$$

$$= -\frac{16\pi G \rho^2}{3} \int_0^R r^4\, dr$$

$$= -\frac{16\pi G \rho^2}{3} \left[\frac{r^5}{5} \right]_0^R$$

$$= -\frac{16\pi G \rho^2 R^5}{15}$$

$$= -\frac{16\pi G \rho^2 R^5}{15}$$

$$= -\frac{16\pi G}{15} \times R^5 \times \frac{9M^2}{16\pi^2 R^6}$$

$$= -\frac{3}{5}\frac{GM^2}{R}$$

$$\left[\rho = \frac{M}{4/3\,\pi R^3} = \frac{3M}{4\pi R^3} \right.$$

এটি হলো মহাকর্ষীয় বিভবশক্তির রাশিমালা। সুতরাং নক্ষত্রের ভিরিয়াল (থিওরেম) অনুসারে কোনো স্থিত ব্যবস্থার মোট শক্তি বিভবশক্তির অর্ধেক।

সুতরাং নক্ষত্রের মোট মহাকর্ষ শক্তি,

$$E = \frac{1}{2} U_g$$

$$= -\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}$$

$$= -\frac{3}{10} \frac{GM^2}{R}$$

যা নক্ষত্রের মোট মহাকর্ষ শক্তির রাশিমালা।

☐ নক্ষত্রের CNO চক্রটি আলোচনা কর।

→ নক্ষত্রে CNO চক্রে কার্বন, নাইট্রোজেন এবং অক্সিজেন অনুঘটক হিসাবে কাজ করে। এখানেও হাইড্রোজেন ব্যবহৃত হয় আবার উৎপাদিত হয়। নিচে CNO চক্রটি দেয়া হলো:

$${}^{1}_{1}H + {}^{12}_{6}C \longrightarrow {}^{13}_{7}N$$

$${}^{13}_{7}N \longrightarrow {}^{13}_{6}C + e^{+} + \nu$$

$${}^{1}_{1}H + {}^{13}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + \nu$$

$${}^{1}_{1}H + {}^{14}_{7}N \longrightarrow {}^{15}_{8}O + \gamma$$

$${}^{15}_{8}O \longrightarrow {}^{15}_{7}N + e^{+} + \nu$$

$${}^{1}_{1}H + {}^{15}_{7}N \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He$$

$${}^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{13}_{7}N + \gamma$$

$${}^{13}_{7}N \longrightarrow {}^{13}_{6}C + e^{+} + \nu_e$$

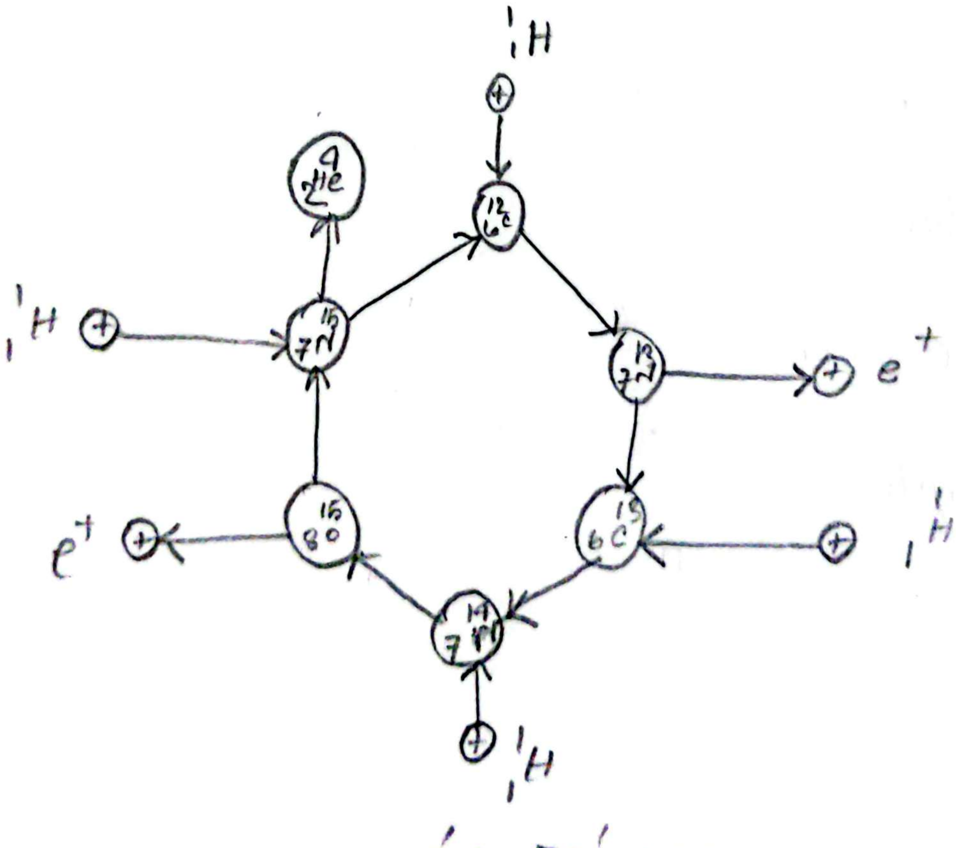
$$^{13}_{6}C + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{14}_{7}N + \gamma$$

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{15}_{8}O + \gamma$$

$$^{15}_{8}O \rightarrow ^{15}_{7}O + e^{+} + \nu$$

$$^{15}_{7}N + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He$$

বিক্রিয়াটি নিট ফল হলো 24.7 MeV শক্তি উৎপাদনের মাধ্যমে চারটি প্রোটন থেকে একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস সৃষ্টি হওয়া। এক্ষেত্রে আবার $^{12}_{6}C$ প্রভাবক ~~হিসেবে~~ হিসাবে কাজ করে। CNO চক্র উচ্চ তাপমাত্রাতে বেশি কার্যকরী অন্যদিকে প্রোটন-প্রোটন চক্র নিম্ন তাপমাত্রার জন্য বেশি কার্যকরী। সূর্যের শক্তির ৯৮.৫% আসে প্রোটন-প্রোটন বিক্রিয়া হতে এবং অবশিষ্ট ১.৫% আসে CNO চক্র হতে।



কার্বন-কার্বন চক্র

ঘ) উপবৃত্তাকার কক্ষপথের শক্তি বের কর।

→ আমরা জানি, $E = K.E + P.E$

$$= \frac{1}{2} m v^2 - \frac{GMm}{r} \quad \text{—(1)}$$

আবার কৌণিক ভরবেগ $L = mrv$

পেরিহেলিয়ন অবস্থানে $\theta = 0$

এখানে, $$r_p = \frac{L^2/m^2}{GM(1+e)}$$

$$= \frac{(m r_p v_p)^2/m^2}{GM(1+e)}$$

$$= \frac{r_p^2 v_p^2}{GM(1+e)}$$

$$= \frac{GM(1+e)}{v_p^2} \quad \text{—(2)}$$

অ্যাপহেলিয়ন অবস্থানে $\theta = \pi$

$$r_a = \frac{L^2/m^2}{GM(1-e)}$$

$$= \frac{(m r_a v_a)^2/m^2}{GM(1-e)}$$

$$= \frac{GM(1-e)}{v_a^2} \quad \text{—— (3)}$$

আবার আমরা জানি,

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\theta}$$

$$= \frac{a(1-e)(1+e)}{1+e\cos\theta}$$

যেহেতু $\theta = 0$,

$$r_p = \frac{a(1-e)(1+e)}{1+e\cos 0}$$

$$= a(1-e) \quad \text{—— (4)}$$

অ্যাপহেলিয়ন অবস্থানে $\theta = \pi$,

$$r_a = \frac{a(1-e)(1+e)}{1+e\cos\theta}$$

$$= \frac{a(1-e)(1+e)}{1+e\cos 180}$$

$$= a(1+e) \quad \text{—— (5)}$$

সমীকরণ ~~১ ও ৩ হতে,~~ ৭ ও ৮ হতে,

$$a(1-e) = \frac{GM(1+e)}{v_p^2}$$

$$\Rightarrow v_p^2 = \frac{GM(1+e)}{a(1-e)}$$

$$\Rightarrow v_p = \sqrt{\frac{GM(1+e)}{a(1-e)}}$$

অনুরূপভাবে,

$$v_a = \sqrt{\frac{GM(1-e)}{a(1+e)}}$$

মোট শক্তি $E = \frac{1}{2} m v_p^2 - \frac{GMm}{r_p}$

$$= \frac{1}{2} m \cdot \frac{GM(1+e)}{a(1-e)} - \frac{GMm}{a(1-e)}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{GMm}{a(1-e)} (1+e-2)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{GMm}{a(1-e)} (e-1)$$

$$= -\frac{1}{2} \frac{GMm}{a(1-e)} (1-e)$$

$$= -\frac{GMm}{2a}$$

$$= -\frac{G(m_1+m_2)m_1 m_2}{2a(m_1+m_2)}$$

$$= -\frac{Gm_1m_2}{2a}$$

$$E = \frac{1}{2}\langle U \rangle$$

অনুরূপভাবে,

$$E = \frac{1}{2}m \cdot \frac{GM(1-e)}{a(1+e)} - \frac{GMm}{a(1+e)}$$

$$= \frac{1}{2}\frac{GMm}{a(1+e)}(1-e-2)$$

$$= -\frac{1}{2}\frac{GMm}{a(1+e)}(1+e)$$

$$= -\frac{GMm}{2a}$$

$$= -\frac{Gm_1m_2}{2a}$$

$$E = \frac{1}{2}\langle U \rangle$$

সুতরাং বহিঃস্থ বস্তুর মোট যান্ত্রিক এবং শক্তি মুহূর্তেও যেকোন- সে দূর সময়ের উপর নির্ভর এবং এটি অবস্থানের স্থিতি শক্তির সময় গড়ের অর্ধেকের সমান।

আবার, $E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r}$

$$\Rightarrow -\frac{GMm}{2a} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} \mu v^2 = -\frac{GM\mu}{2a} + \frac{GM\mu}{r}$$

$$\Rightarrow v^2 = -\frac{2GM}{2a} + \frac{2GM}{r}$$

$$\Rightarrow v^2 = GM \left(2/r - 1/a \right)$$

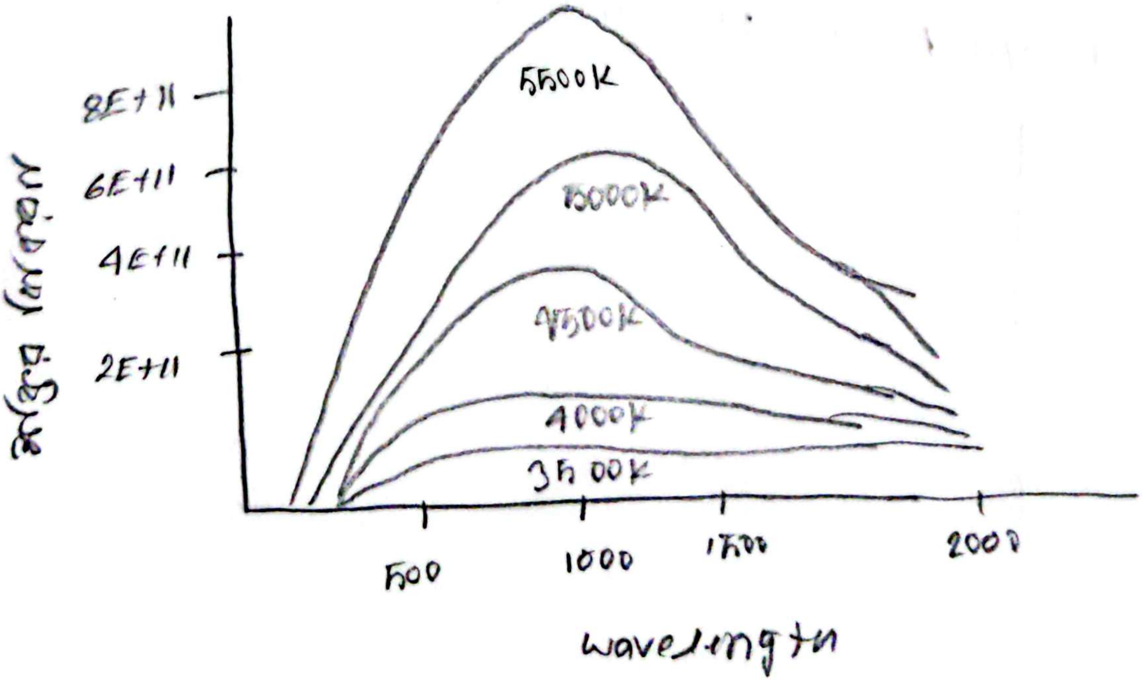
$$\Rightarrow v^2 = G(m_1 + m_2) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

$$\Rightarrow v = G^{1/2} (m_1 + m_2)^{1/2} \left(\frac{2}{r} - \right.$$

CamScanner

প্র) কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ এবং তাদের বৈশিষ্ট্যগুলো ব্যাখ্যা কর।

→ যে সকল পৃষ্ঠবিশিষ্ট বস্তু যা ঐ পৃষ্ঠের উপর আপতিত সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাপীয় বিকিরণ শোষণ করে তাকে কৃষ্ণবস্তু বলে। একে কৃষ্ণবস্তু বলা হয় কারণ এটি কোনো আলো প্রতিফলন করে না। সকল বিকিরিত আলোকে শুষে নেয়। উদাহরণ: এমন একটি তারকার অভ্যন্তরভাগের কল্পনা করি, এটি অস্বচ্ছ থাকবে যদি এটি অন্য তারকা হতে এর উপর আপতিত রশ্মিকে প্রতিফলিত করতে না পারে। যদি তারকাটি অভ্যন্তরের কারণে আবার উত্তপ্ত হয় তবে এর পৃষ্ঠ তাপ বিকিরণ করবে এবং তারকার অভ্যন্তরভাগ দৃশ্যমান হবে। সুতরাং কোনো কৃষ্ণবস্তু হতে নির্গত তাপীয় বিকিরণ সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্য ধারণ করে। একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণে আকাঙ্ক্ষিত মানের তরঙ্গদৈর্ঘ্য পাওয়া যায় কিন্তু সকল মানের তরঙ্গদৈর্ঘ্য শক্তি সুষমভাবে বণ্টিত থাকে না। তাপের তাপমাত্রার পরিবর্তনে এর পরিবর্তন হয়।



☐ কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যায় প্ল্যাংকের কোয়ান্টাম তত্ত্ব বর্ণনা কর।

→ কৃষ্ণবস্তুর দেয়ালগুলোর অনুনাদকসমূহ প্রতিটি মুক্ত বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় স্পন্দকের মতো আচরণ করে এবং তারা বিকিরণ ক্ষেত্র হতে বোলৎসম্যান বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় শক্তি শোষণ করে এবং বিকিরণ ক্ষেত্রে বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় শক্তি নিঃসরণ করে। প্রতিটি পারমানবিক স্পন্দক বিচ্ছিন্নভাবে শক্তি শোষণ ও নিঃসরণ করে ও শক্তির পরিমাণ $E = nh\nu = n\epsilon$

যেখানে, $h\nu = \epsilon$

ϵ কে শক্তির কোয়ান্টাম বলে।

আবার স্পন্দকের সংখ্যা N এবং তাদের মোট শক্তি E_t হলে প্রতিটি স্পন্দকের শক্তি, $\bar{\epsilon} = \frac{E_t}{N}$

যদি $0, \epsilon, 2\epsilon, 3\epsilon, \ldots n\epsilon$ শক্তিসম্পন্ন স্পন্দকের সংখ্যা $N_0, N_1, N_2, N_3 \ldots N_n$ হয়,

$$N = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 + \ldots N_n + \ldots$$

$$E_t = 0 + N_1\epsilon + 2N_2\epsilon + 3N_3\epsilon + \ldots N_n n\epsilon + \ldots$$

আমরা জানি,

$$N_n = N_0 e^{-n\epsilon/KT}$$

মোট স্পন্দক $N = N_0 + N_0 e^{-\epsilon/KT} + N_0 e^{-2\epsilon/KT} + N_0 e^{-3\epsilon/KT} + \ldots + N_0 e^{-n\epsilon/KT}$

$$= N_0 \left(1 + e^{-\epsilon/KT} + e^{-2\epsilon/KT} + e^{-3\epsilon/KT} + \cdots e^{-n\epsilon/KT} + \cdots\right)$$

$$= \frac{N_0}{1 - e^{-\epsilon/KT}} \qquad \left[\because\ 1 + x + x^2 + x^3 = \frac{1}{1-x}\right]$$

~~অনুরূপভাবে মোট শক্তি~~ $\cancel{E_t = \frac{\epsilon N_0 e^{-\epsilon/KT}}{(1-e^{-\epsilon/KT})^2}}$

স্পন্দকের মোট শক্তি $E_t = 0 + N_0 e^{-\epsilon/KT}\epsilon + 2N_0 e^{-2\epsilon/KT}\epsilon + 3N_0 e^{-3\epsilon/KT}\epsilon + \cdots N_0 e^{-n\epsilon/KT} n\epsilon + \cdots$

$$= N_0 \epsilon e^{-\epsilon/KT}\left(1 + 2e^{-\epsilon/KT} + 3e^{-2\epsilon/KT} + \cdots + \cancel{e^{5nR}}\, e^{-(n-1)\epsilon/KT} n + \cdots\right)$$

$$= \cancel{E_0 N}\ \frac{\epsilon N_0 e^{-\epsilon/KT}}{(1 - e^{-\epsilon/KT})^2}$$

$$\left[\because\ 1 + 2x + 3x^2 + \cdots = \frac{1}{(1-x)^2}\right]$$

$\therefore$ স্পন্দকের গড় শক্তি $\bar{\epsilon} = \dfrac{E_t}{N}$

$$= \frac{\dfrac{\epsilon N_0 e^{-\epsilon/KT}}{(1-e^{-\epsilon/KT})^2}}{\dfrac{N_0}{1-e^{-\epsilon/KT}}}$$

$$= \frac{\epsilon e^{-\epsilon/KT}}{1 - e^{-\epsilon/KT}}$$

$$= \frac{\varepsilon e^{-\varepsilon/kT}}{e^{-\varepsilon/kT}\left(e^{\varepsilon/kT}-1\right)}$$

$$= \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT}-1}$$

$$= \frac{h\nu}{\left(e^{h\nu/kT}-1\right)}$$

আমরা জানি, একক আয়তনে ν ও $\nu + d\nu$ কম্পাঙ্কের মধ্যবর্তী মধ্যে স্পন্দকের সংখ্যা, $n = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} d\nu$

সুতরাং শক্তি ঘনত্ব $E_\nu d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} d\nu \times \frac{h\nu}{\left(e^{h\nu/kT}-1\right)}$

$$= \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{\left(e^{h\nu/kT}-1\right)} d\nu$$

এখানে,

$\nu = c/\lambda$

$d\nu = -c\lambda^{-2} d\lambda$

$$= \frac{8\pi h}{c^3}\left(\frac{c^3}{\lambda^3}\right)\frac{1}{\left(e^{hc/\lambda kT}-1\right)}\left(\frac{c}{\lambda^2}\right)d\lambda$$

$$= \frac{8\pi ch}{\lambda^5} \frac{1}{\left(e^{hc/\lambda kT}-1\right)} d\lambda$$

প্রঃ দূরত্ব মানাংক: কোন তারকার আপাত মান ও পরম মানের পার্থক্যকে (m-M) দূরত্ব ~~মানাংক বা~~ মানাংক বলে।

প্রঃ Stellar Parallax: নাক্ষত্রিক লম্বন দ্যুতি হলো পর্যবেক্ষকের অবস্থানের পরিবর্তনের কারণে দূরবর্তী তারকার সাপেক্ষে নিকটবর্তী তারকার আপাত অবস্থার পরিবর্তন। যদি আমরা পৃথিবীর দুটি অবস্থান থেকে কোনো তারকাকে পর্যবেক্ষণ করি তবে নিকটবর্তী তারকাটির অবস্থানের যে আপাত পরিবর্তন পর্যবেক্ষণ করা যায় সেটি নাক্ষত্রিক লম্বন দ্যুতি।

প্যারালাক্স দুই ধরনের। (i) দৈনিক বা ভূকেন্দ্রিক (ii) বার্ষিক বা সৌর কেন্দ্রিক।

(i) যদি কোনো পৃথিবীর পৃষ্ঠ ও কেন্দ্র হতে নিকটবর্তী বস্তু যেমন: সূর্য, চন্দ্র গ্রহগুলোকে পর্যবেক্ষণ করা যায় তখন তাকে দৈনিক প্যারালাক্স বলে।

(ii) যদি অপেক্ষাকৃত দূরবর্তী তারকার ক্ষেত্রে পৃথিবীর কক্ষপথের দুই বিপরীত বিন্দু হতে নিকটবর্তী তারকাকে পর্যবেক্ষণ করা যায় তখন তাকে বার্ষিক প্যারালাক্স বলে।

☐ আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি ব্যাখ্যা কর।

→ শব্দ মাধ্যমের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয় না। নিউটন দেখান কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে শব্দের বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্কের বর্গমূলের সমানুপাতিক কিন্তু মাধ্যমের ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে শব্দের বেগ,

$$v = \sqrt{\frac{\text{elastic modulus}}{\rho}}$$

। স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক

আবার ল্যাপলাস -এর মতে, $V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$, P = বায়ুর বেগ, ρ = ঘনত্ব।

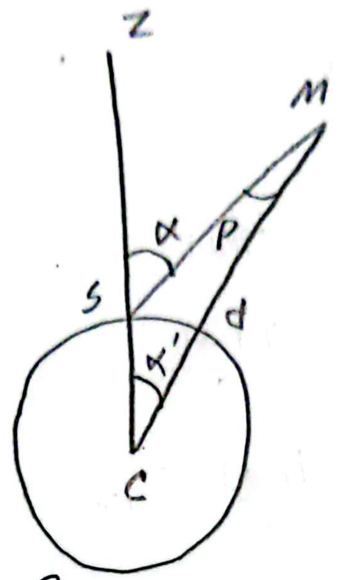
আলোক সঞ্চালনের দুটি তত্ত্বের উদ্ভব হয়।

<u>কণা তত্ত্ব:</u> কণা তত্ত্বের উদ্ভাবক নিউটন। নিউটনের মতে আলো হলো সূক্ষ্ম কণার প্রবাহ বিশেষ। এ কণাগুলো বলবিদ্যার নিয়মসমূহ মানে এবং চোখে আঘাত করলে দর্শনানুভূতির সৃষ্টি করে।

<u>তরঙ্গ তত্ত্ব:</u> প্রথমে রবার্ট হুক এ তত্ত্বের উন্নয়ন করে এবং পরবর্তীতে হাইগেনস কর্তৃক প্রকাশ হয়ে যায়। হাইগেনসের মতে আলো তরঙ্গাকারে সঞ্চালিত হয় এবং তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু পৃথক আলোক উৎস হিসেবে বা গৌণ আলোক উৎস হিসেবে ক্রিয়া করে। এ তত্ত্বমতে আলো কোনো স্থানের মধ্য দিয়ে তরঙ্গাকারে চলে এবং আলোকের সঞ্চালনের সময় কিছু আন্দোলিত হয়।

পৃথিবী হতে কোনো জ্যোতিষ্কের দূরত্ব, লম্বাংশ ও পৃথিবীর ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিপাদন কর।

→



ধরি, M একটি নিকটবর্তী আকাশস্থিত বস্তু। C পৃথিবীর কেন্দ্র, S পর্যবেক্ষক। এখানে, $P = \angle SMC = M$। ধরি CZ রেখা SM ও CM এর সাথে α ও α' কোণ উৎপন্ন করে। $\alpha = \angle ZSM$ = আপাত দূরত্ব এবং $\alpha' = \angle SCM$ = প্রকৃত দূরত্ব।

যেহেতু α, ΔSCM এর বহিঃস্থ কোণ,

$$\alpha = \alpha' + P$$

আবার, ΔSCM থেকে,

$$\frac{\sin P}{R} = \frac{\sin(180^\circ - \alpha)}{d}$$

$$\Rightarrow \frac{\sin P}{R} = \frac{\sin \alpha}{d}$$

$$\Rightarrow \frac{P}{R} = \frac{\sin\alpha}{d}$$

$$\Rightarrow P = \frac{R}{d}\sin\alpha \qquad \text{——} \ (1)$$

আবার, $$d = \frac{R}{P}\sin\alpha \qquad \text{——} \ (2)$$

পৃথিবী পৃষ্ঠ হতে দূরত্ব, $$D = d - R = \frac{R}{P}\sin\alpha \cdot R \qquad \text{——} \ (3)$$

যদি বস্তু M দিগন্তের স্থানে অবস্থান করে তবে $\alpha = 90°$

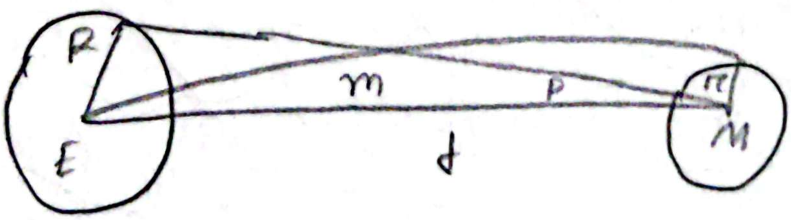
$$\therefore P = \frac{R}{d}\sin 90$$

$$\Rightarrow P = \frac{R}{d}$$

$$\Rightarrow d = \frac{R}{P}$$ [P = প্যারালাক্স]

যদি প্যারালাক্স P কে আর্ক সেকেন্ডে লেখা হয়,

$$d = R \times \frac{206265''}{P''}$$ [1 rad = 206265'']



পৃথিবী হতে পর্যবেক্ষণের কোণ, $\frac{R}{d} = P$ ——④

চাঁদ হতে " " $\frac{r}{d} = m$ ——⑤

④ ও ⑤ হতে সমাধান পাই,

$$\frac{r}{R} = \frac{m}{P}$$

$$\Rightarrow r = \frac{m}{P} \times R$$

আমরা জানি,

$$I = \frac{L}{4\pi d^2}$$

যদি প্যারালাক্সের কোণ P এবং পরিমাপকৃত দূরত্ব D হয়,

$$\tan P = \frac{1\ AU}{D}$$

এখানে, $D = \frac{1}{P}$

ইহাই হলো পৃথিবী হতে পরিমাপকৃত দূরবর্তী তারকার দূরত্ব, প্যারালাক্স ও পৃথিবীর কক্ষপথের মাঝে সম্পর্ক।

□ বিপরীত বর্গীয় সূত্র ব্যাখ্যা কর।

→ ধরি দীপ্তি L বিশিষ্ট একটি তারকা r ব্যাসার্ধের একটি গোলক দ্বারা আবদ্ধ। তারকাটি সাম্যাবস্থায় থাকলে আলোকে শোষিত হয় না। এই অবস্থায় বিকীর্ণ ফ্লাক্স F কে r দূরত্বে দীপ্তি L এর সাথে নিম্নরূপে লিখা যায়,

$$F = \frac{L}{4\pi r^2}$$

$4\pi r^2$ হলো গোলকের ক্ষেত্রফল। যেহেতু L, r এর উপর নির্ভর করে না যেহেতু F হলো তারকাটি থেকে পর্যবেক্ষণ বিন্দু বিপরীত বর্গের সমানুপাতিক। ইহাকে বিপরীত বর্গীয় সূত্র বলে।

□ বলোমিটার: একটি বস্তু বিকীর্ণ ফ্লাক্স গ্রহণ করার পর তাপমাত্রার বৃদ্ধিকে যে যন্ত্রের সাহায্যে পরিমাপ করা যায় তাকে বলোমিটার বলে।

□ বর্ণ সূচক এবং বলোমেট্রিক সংশোধনী: আমরা জানি একটি নক্ষত্রের দূরত্ব মান, $m - M = 5\log_{10} d - 5 = 5\log_{10}\left(\frac{d}{10pc}\right)$।
এখানে m ও M নক্ষত্রের আপাত ও পরম মান। এর সাহায্যে নক্ষত্রের রং মান M_U, M_B, M_V বের করা যায় যদি দূরত্ব জানা থাকে। একটি নক্ষত্রের U−B রং সূচক হলো অতিবেগুনী এবং নীল মানের পার্থক্য এবং

B-V হলো রং সূচক এবং নীল নীল এবং দৃশ্যমান মানের পার্থক্য,

$$U-B = m_u - m_B$$

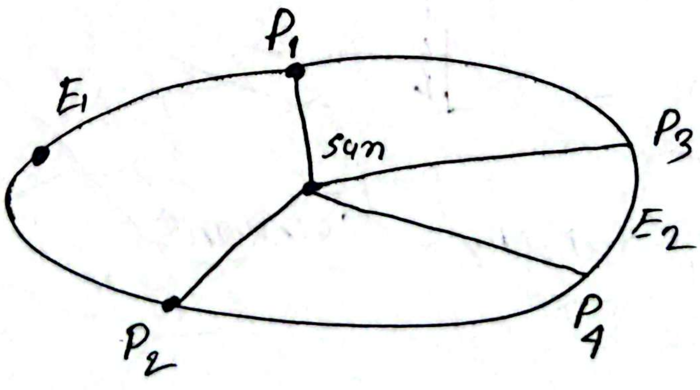
$$B-V = m_B - m_V$$

আবার নক্ষত্রের বোলোমেট্রিক মান এবং তার দৃশ্যমান মানকে বলোমেট্রিক সংশোধনী (BC) বলে।

$$BC = m_{bol} - m_V$$

কেপলারের ১ম সূত্র: সূর্যকে কেন্দ্র করে প্রতিটি গ্রহের কক্ষপথ একটি উপবৃত্তাকার। সূর্য সেগুলো কক্ষপথের একটি ফোকাসে স্থির অবস্থায় থাকে। গ্রহগুলো সূর্যকে কেন্দ্র করে কক্ষপথের চারপাশে যাওয়ার সাথে সাথে গ্রহ থেকে সূর্যের দূরত্ব ক্রমাগত পরিবর্তিত হচ্ছে।

কেপলারের ২য় সূত্র: কেপলারের ২য় সূত্রটি উপবৃত্তাকার পথে একটি গ্রহের বেগকে চিহ্নিত করে। কেপলারের ২য় সূত্র মতে সূর্য থেকে গ্রহের দিকে চলমান একটি রেখা সমান সময়ে উপবৃত্তের সমান অঞ্চলগুলিকে সরিয়ে দেয়। গ্রহটি সূর্যের কাছে আসার সাথে সাথে গতি বাড়ে এবং এটি থেকে প্রস্থান করার সাথে সাথে ধীর হয়ে যায়।

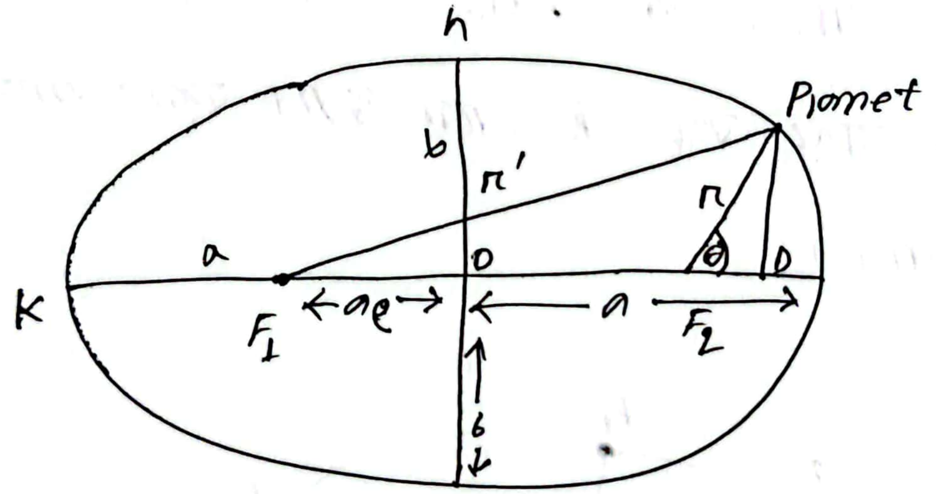


E_1 ও E_2 যথাক্রমে সূর্য হতে দূরত্ব বুঝায়। E_1 ও সূর্য এর দূরত্ব কম হয়ে থাকে যা Perihelion position. প্রতি বছরের 3rd January Perihelion হয়। যা উপবৃত্তাকার পথে সূর্য ও পৃথিবীর সব নিম্ন দূরত্ব বুঝায়।

Aphelion: সূর্য হতে E_2 এর সর্বোচ্চ দূরত্বকে Aphelion বুঝায়। Apehelion হলো farthest point.

The Geometry of Elliptical motion / উপবৃত্তীয় গতির জ্যামিতি

∴ দেখাও যে $r = \dfrac{a(1-e^2)}{e\cos\theta + 1}$



উপবৃত্তের ক্ষেত্রে $r_1' + r_2' = r_1 + r_2 = \text{constant}$

এখানে, F_1, F_2 = উপবৃত্তের ফোকাসদ্বয়

Planet হতে F_1, F_2 এর দূরত্ব r', r। F_2 ও Planet এর মধ্যবর্তী কোণ θ। a = মেজর অক্ষ, b = মাইনর অক্ষ, O = কেন্দ্র

$F_2O = ae$, $KO = a$, $hO = b$

$\angle PF_2D = \theta$ এবং e = উৎকেন্দ্রিকতা = বৃত্তের তুলনায় দূরত্ব

$e = 0$ হলে বৃত্ত হবে।

চিত্র হতে, $r' + r = 2a$ — (i)

$PD = r\sin\theta$ — (ii)

$F_2D = r\cos\theta$ — (iii)

∴ $\triangle F_1PD$ এ পিথাগোরাসের সূত্র প্রয়োগ করে,

$$(r')^2 = (2ae + r\cos\theta)^2 + (r\sin\theta)^2$$

$$\Rightarrow (r')^2 = 4a^2e^2 + r^2\cos^2\theta + 4aer\cos\theta + r^2\sin^2\theta$$

$$\Rightarrow r'^2 = r^2 + 4ae(ae + r\cos\theta) \quad \text{— (iv)}$$

(i) হতে r' এর মান বের করে (iv) নং এ বসিয়ে

$$(2a - r)^2 = r^2 + 4ae(ae + r\cos\theta)$$

$$\Rightarrow 4a^2 - 4ar + r^2 = r^2 + 4ae(ae + r\cos\theta)$$

$$\Rightarrow 4a(a - r) = 4a \cdot e(ae + r\cos\theta)$$

$\Rightarrow a - r = e(ae + r\cos\theta)$

$\Rightarrow a - r = ae^2 + re\cos\theta \Rightarrow a - ae^2 = (re\cos\theta + r) = a - ae^2$

$\Rightarrow r(1 + e\cos\theta) = a(1 - e^2)$

$$\Rightarrow r = \frac{a(1-e^2)}{1 + e\cos\theta}$$

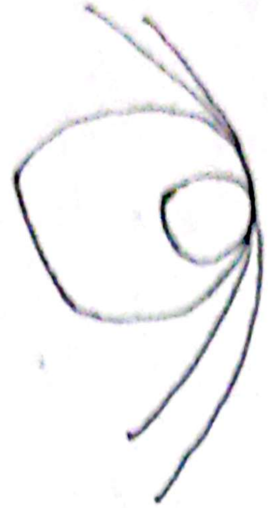
(Proved)

এখানে $e = 0$ হলে $r = a$ হবে অর্থাৎ উপবৃত্তের ফোকাস হতে উপবৃত্তের পরিধির সকল বিন্দুর দূরত্ব $r = a$ সমান অর্থাৎ এটি বৃত্ত নির্দেশ করে।

বাইনারি অবস্থায় তারকাদ্বয়ের ভরকেন্দ্র উপবৃত্তের যে কোনো একটি বিন্দুতে অবস্থান করে। উপবৃত্তের যে বিন্দু ফোকাস হতে সবচেয়ে কম দূরত্বে অবস্থান করে তাকে parihelion বলে।

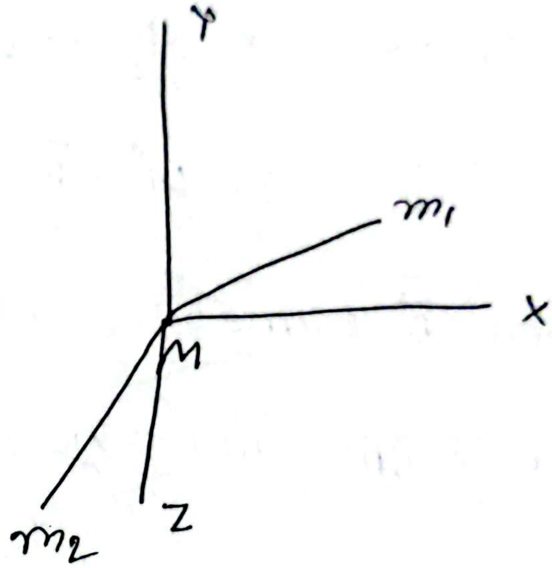
Perihelion distance $= a - ae = a(1 - e)$। মুখ্য ফোকাস হতে সবচেয়ে দূরে যে বিন্দু অবস্থান করে তাকে Aphelion বলে। যার দূরত্ব $= a + ae = a(1 + e)$

মূলত উপবৃত্ত হলো কনিক সেকশনের একটি শ্রেণি। বৃত্ত হলো $e = 0$ বিশিষ্ট একটি কনিক সেকশন। $e = 1$ বিশিষ্ট কোনো বক্ররেখাই হলো প্যারাবোলা এবং $e > 1$ হলে তাকে হাইপারবোলা বলে।



বিভিন্ন কক্ষপথ

প্রঃ কেপলারের ২য় সূত্র প্রতিপাদন:



ভরকেন্দ্র ব্যবস্থায় মোট কৌণিক ভরবেগ,

$$L = \mu \vec{r} \times \vec{v}$$

$$= \mu r \hat{r} \times \frac{d}{dt}(r\hat{r})$$

$$= \mu r \hat{r} \times \left(\frac{dr}{dt}\hat{r} + r\frac{d}{dt}\hat{r}\right)$$

$$= \mu r \frac{dr}{dt}\hat{r} \times \hat{r} + \mu r^2 \hat{r} \times \frac{d}{dt}\hat{r}$$

$$= 0 + \mu r^2 \hat{r} \times \frac{d}{dt}\hat{r}$$

$$= \mu r^2 \hat{r} \times \frac{d}{dt}\hat{r}$$

এখানে, $\hat{r}$ = একক ভেক্টর

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{p} = \mu \vec{v}$$

$$a = -\frac{\vec{F}}{\mu} = -\frac{\frac{GM\mu}{r^2}\hat{r}}{\mu}$$

$$= -\frac{GM}{r^2}\hat{r}$$

ত্বরণ ও কৌণিক ভরবেগের ক্রসগুণন করে,

$$\vec{a}\times\vec{L} = -\frac{GM}{r^2}\hat{r}\times\left(m r^2 \hat{r}\times\frac{d}{dt}\hat{r}\right) = -GMm\,\hat{r}\times\left[\hat{r}\times\frac{d}{dt}\hat{r}\right]$$

$$\left[\because \vec{A}\times(\vec{B}\times\vec{C}) = (\vec{A}\cdot\vec{C})\vec{B} - (\vec{A}\cdot\vec{B})\vec{C}\right]$$

$$\Rightarrow \vec{a}\times\vec{L} = -GMm\left(\hat{r}\cdot\frac{d}{dt}\hat{r}\right)\hat{r} + GMm(\hat{r}\cdot\hat{r})\frac{d}{dt}\hat{r}$$

$$\Rightarrow \vec{a}\times\vec{L} = \cancel{-GMm\,\hat{r}\,\frac{d}{dt}(1) + GMm\frac{d}{dt}\hat{r}} \quad -GMm\left[r.r\,\frac{d}{dt}(r.r) - \frac{d}{dt}(\hat{r})\right]$$

$$\Rightarrow \vec{a}\times\vec{L} = GMm\frac{d}{dt}\hat{r}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt}(\vec{v}\times\vec{L}) = \frac{d}{dt}(GMm\,\hat{r})$$

$$\Rightarrow \vec{v}\times\vec{L} = GMm\,\hat{r} + \vec{D}$$

যেখানে $\vec{D}$ হলো ধ্রুব ভেক্টর। যেহেতু $\vec{v}\times\vec{L}$ এবং $\hat{r}$ উভয়ই কক্ষ তলে অবস্থান করে সুতরাং $\vec{D}$ তাদের সাথে একই তলে অবস্থান করে।

$$\vec{r}\cdot(\vec{v}\times\vec{L}) = GMm\,\vec{r}\cdot\hat{r} + \vec{r}\cdot\vec{D}$$

$$\left[\because \vec{A}\cdot(\vec{B}\times\vec{C}) = (\vec{A}\times\vec{B})\cdot\vec{C}\right]$$

$$\Rightarrow \vec{r}(\vec{v}\times\vec{L}) = GMm\,\vec{r}\cdot\hat{r} + \vec{r}\cdot\vec{D} \qquad \left[\vec{r} = r.\hat{r}\right]$$

$$= GMm\,r\,\hat{r}\cdot\hat{r} + \vec{r}\cdot\vec{D}$$

$$= GMm\,r + rD\cos\theta$$

আমরা জানি angular momentum

$$\vec{L} = \mu(\vec{r}\times\vec{v})$$

$$\Rightarrow \frac{\vec{L}}{\mu} = (\vec{r}\times\vec{v})$$

$$\Rightarrow \frac{\vec{L}\cdot\vec{L}}{\mu} = GM\mu r + rD\cos\theta$$

$$\Rightarrow \frac{L^2}{\mu} = GM\mu r + rD\cos\theta$$

$$= GM\mu r\left(1 + \frac{rD\cos\theta}{GM\mu r}\right)$$

যদি,

$$e = \frac{D\cos\theta}{GM\mu}$$

$$\Rightarrow \frac{L^2}{\mu} = GM\mu r(1 + e\cos\theta)$$

$$\Rightarrow \cancel{r = \frac{L^2}{GM\mu^2(1+e\cos\theta)}}$$

$$\Rightarrow L^2/\mu^2 = GMr(1+e\cos\theta)$$

$$\Rightarrow r = \frac{L^2/\mu^2}{GM(1+e\cos\theta)}$$

$$= GM\mu r(1+e\cos\theta) = \frac{LL}{\mu^2}$$

আমরা জানি,

$$r = \frac{a(1-e^2)}{(1+e\cos\theta)}$$

$$\therefore r = \frac{L^2/\mu^2}{GM(1+e\cos\theta)}$$

$$= \frac{L^2}{\mu^2 GM(1+e\cos\theta)}$$

$$\Rightarrow \cancel{L^2 = \mu^2 GM\cdot a(1-e^2)}$$

$$\Rightarrow a(1-e^2) = \frac{L^2/\mu^2}{GM(1+e\cos\theta)}$$

$$\Rightarrow \cancel{L = \mu\sqrt{GMa(1-e^2)}}$$

$$\Rightarrow L^2/\mu^2 = GMa(1-e^2)$$

$$\Rightarrow L^2 = \mu^2\cdot GMa(1-e^2)$$

$$\Rightarrow L = \sqrt{\mu^2\cdot GMa(1-e^2)}$$

$$\therefore L = \mu\sqrt{GMa(1-e^2)}$$

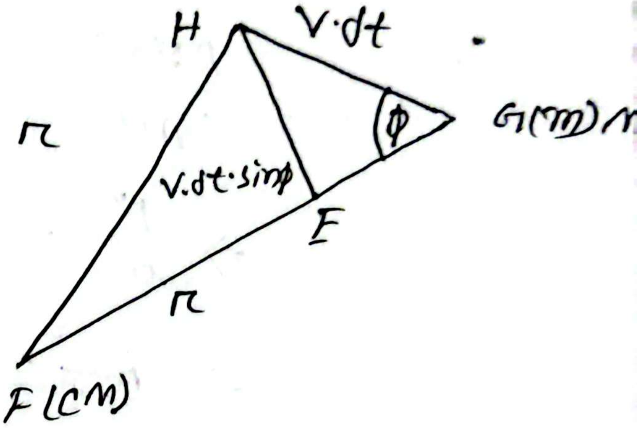
$$r = \frac{L^2}{m^2 GM(1+e\cos\theta)}$$

∴ উপবৃত্তাকার পথের জন্য মোট কৌণিক ভরবেগ হবে:

$$L = m\sqrt{GMa(1-e^2)}$$

প্রঃ কেপলারের ২য় সূত্র প্রতিপাদন: সূর্যকে কেন্দ্র করে উপবৃত্তাকার পথে সমান সময়ে সমান ক্ষেত্র অতিক্রম করে।

মনে করি উপবৃত্তাকার পথে m ভরের একটি বস্তু যার ব্যাসার্ধ ভেক্টরের মান r ও আপেক্ষিক বেগ v হয় তাহলে কৌণিক ভরবেগ



$$L = mvr\sin\phi$$
$$= rp\sin\phi$$
$$\vec{L} = \vec{r}\times\vec{r}$$
$$\vec{p} = m\vec{v}$$

ক্ষুদ্র অংশকে ত্রিভুজ বিবেচনা করলে $\vec{p} = m\vec{v}$

ΔFGH এর ক্ষেত্রফল

$$dA = \frac{1}{2} \times \text{ভূমি} \times \text{উচ্চতা}$$
$$= \frac{1}{2} \times r \times (v\cdot dt\cdot \sin\phi)$$

সময়ের সাপেক্ষে ক্ষেত্রফল পরিবর্তনের হার

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} \times rv\sin\theta$$

$$= \frac{1}{2}\frac{L}{m}$$

m এর পরিবর্তে সংকুচিত ভর μ হলে

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}\frac{L}{\mu}$$

যেহেতু কৌণিক ভরবেগ ও ভর ধ্রুব থাকে সুতরাং ক্ষেত্রফলের হার ধ্রুব থাকে।

(গ) <u>কেপলারের ৩য় সূত্র প্রতিপাদন</u>: কেপলারের ২য় সূত্রমতে মোট ক্ষেত্রফলের হার,

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}\cdot\frac{L}{\mu}$$

পূর্ণ কাক্ষিক পর্যায়কাল T এর সীমাকরণে সমাকলন করে,

$$dA = \frac{1}{2}\frac{L}{\mu}dt$$

$$\Rightarrow \int_0^A dA = \frac{1}{2}\frac{L}{\mu}\int_0^T dt$$

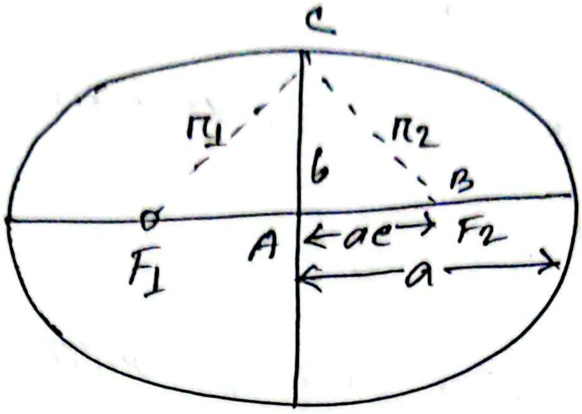
$$\Rightarrow A = \frac{1}{2}\frac{L}{\mu}T$$

$$\Rightarrow A^2 = \frac{1}{4}\frac{L^2}{\mu^2}T^2 \quad \text{[বর্গ করে]}$$

$$\Rightarrow T^2 = \frac{4A^2\mu^2}{L^2}$$

যেহেতু উপবৃত্তের ক্ষেত্রফল $A = \pi ab$

সুতরাং $T^2 = \dfrac{4\pi^2 a^2 b^2 m^2}{L^2}$ —(i)



উৎকেন্দ্রিকতা $e = 0$ হলে উপবৃত্ত বৃত্ত হয়। বৃত্তের জন্য ($r_1 = r_2 \simeq a$) হয়

$\triangle ABC$ তে পিথাগোরাসের সূত্র হতে

$$r^2 = b^2 + (ae)^2$$

$$\Rightarrow b^2 = r^2 - (ae)^2 \quad \text{—(ii)}$$

$$= a^2 - (ae)^2$$

আমরা জানি,

উপবৃত্তাকার পথের জন্য মোট কৌণিক ভরবেগ

$$L = m\sqrt{GMa(1-e^2)} \quad \text{—(iii)}$$

(ii) ও (iii) এর মান (i) নং এ বসিয়ে,

$$T^2 = \frac{4\pi^2 a^2 \, a^2 - (ae)^2 \cdot m^2}{\{m\sqrt{GMa(1-e^2)}\}^2}$$

$$= \frac{4\pi^2 a^4 (1-e^2) \cdot m^2}{m^2 \cdot GMa(1-e^2)}$$

$$= \frac{4\pi^2 a^3}{GM}$$

$$= \frac{4\pi^2 a^3}{G(m_1+m_2)}$$

$$\therefore T^2 \propto a^3$$

∴ এটাই কেপলারের তৃতীয় সূত্র।

※ ভিরিয়াল উপপাদ্য : [শীট হতে পড়ে নিতে হবে]

Chapter 2

✓ Parallax দেখে নিতে হবে।

✓ Apparent magnitude ও absolute magnitude এর সম্পর্ক:

→ Luminosity এর জন্য বিপরীত বর্গীয় সূত্র ব্যবহার করে কোনো বিজ্ঞানীরা প্রত্যেকটি নক্ষত্রের সাথে একটি পরমমান M যুক্ত করেন। এর দ্বারা বুঝানো হয় একটি নক্ষত্র 10 pc দূরত্বে অবস্থান করে তবে এটি তারকার আপাতমান। যদি দুটি তারার আপাত মানের মধ্যকার পার্থক্য হলো 5 মাত্রা. নিম্নতর মানের নক্ষত্র উচ্চতর মানের নক্ষত্রের চেয়ে 100 গুণ উজ্জ্বল। এর থেকে সম্পর্ক অনুপাতকে লিখতে পারি,

$$\frac{F_2}{F_1} = 100^{\left(\frac{m_1 - m_2}{5}\right)} \quad \text{— (i)}$$

উভয়দিকে log নিয়ে,

$$\log_{10} \frac{F_2}{F_1} = \log_{10} 100^{\left(\frac{m_1 - m_2}{5}\right)}$$

$$\Rightarrow \log_{10}\left(\frac{F_2}{F_1}\right) = \frac{m_1 - m_2}{5} \log_{10} 10^2$$

$$\Rightarrow \log_{10} \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{m_1 - m_2}{5}\right) \times 2$$

$$\Rightarrow 5/2 \log_{10} \frac{F_2}{F_1} = m_1 - m_2$$

$$\therefore (m_1 - m_2) = -2.5 \log_{10} \frac{F_1}{F_2}$$

$$\therefore (m_1 - m_2) = -2.5 \log_{10} \frac{F_1}{\cancel{F_0} F_2}$$

আবার, বিপরীত বর্গীয় সূত্র হতে

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

$$= \frac{L}{4\pi (10pc)^2}$$

F_{10} যদি দীপ্তিমান প্রবাহ হয় তাহলে 10 pc এর জন্য,

$$\frac{F_{10}}{F} = \frac{L}{4\pi (10pc)^2} \times \frac{4\pi d^2}{L}$$

$$= \left(\frac{d}{10pc}\right)^2$$

$$\therefore m - M = 2.5 \log \left(\frac{F_2}{F_1}\right)\left(\frac{F_{10}}{F}\right)$$

$$\therefore \left(\frac{d}{10pc}\right)^2 = 100^{\frac{m-M}{5}}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{10pc} = \left[100^{(m-M)/5}\right]^{1/2}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{10pc} = 10^{(m-M)/5}$$

$\Rightarrow d = 10pc \; 10^{(m-M)/5}$

$\therefore d = 10^{(m-M+5)/5} \quad (\because 10\,pc = 10)$

আবার,

$\log d = (m-M+5)/5 \log 10$

$\Rightarrow (m-M+5) = 5\log d$

$\therefore m-M = 5\log d - 5$

আবার,

$m = M + 5\log(d/10)$

এখন,

$m_A = M_A + 5\log(d/10)$

$m_B = M_B + 5\log(d/10)$

বিয়োগ করে,

$m_A - m_B = M_A - M_B$

∴ দুটি তারকার আপাত মানের পার্থক্য পরম মানের পার্থক্যের সমান।

প্র: কোপার্নিকান বিপ্লব কী? (কোপার্নিকান বিপ্লবের মাধ্যমে বিজ্ঞানের গতি বর্ণনা কর।)

→ কোপার্নিকাস পৃথিবীর আবর্তন সম্পর্কীয় সৌর মডেলের তত্ত্ব প্রদান করেন। আকাশের বস্তুসমূহকে জ্যামিতিক পর্যবেক্ষণের দ্বারা দুটি মত প্রকাশ করতে ভয় পান। প্রথমত, সাধারণ ধারণার অবস্থার বিপরীত ও ধর্মের ভিত্তি ধারণা প্রতিষ্ঠিত নীতির উপর আঘাত বলে বিবেচিত হতে পারে। দ্বিতীয়ত পৃথিবীর ঘূর্ণন গতিকে মিলাতে পারছিলেন না। পরিশেষে বন্ধুর আহ্বানে তার গবেষণাকর্ম De Revolutionibus orbium coelestium Libri VI কাজটি মুদ্রণের জন্য

প্রতিপাদ্য। কোপার্নিকাসের সৌরজগতের বৈশিষ্ট্যগুলো হলো:

(i) পৃথিবী তার নিজ অক্ষে আবর্তন করে।

(ii) পৃথিবী মহাবিশ্বের কেন্দ্রে অবস্থান না করে সূর্যের চারদিকে বছরে একবার আবর্তন করে।

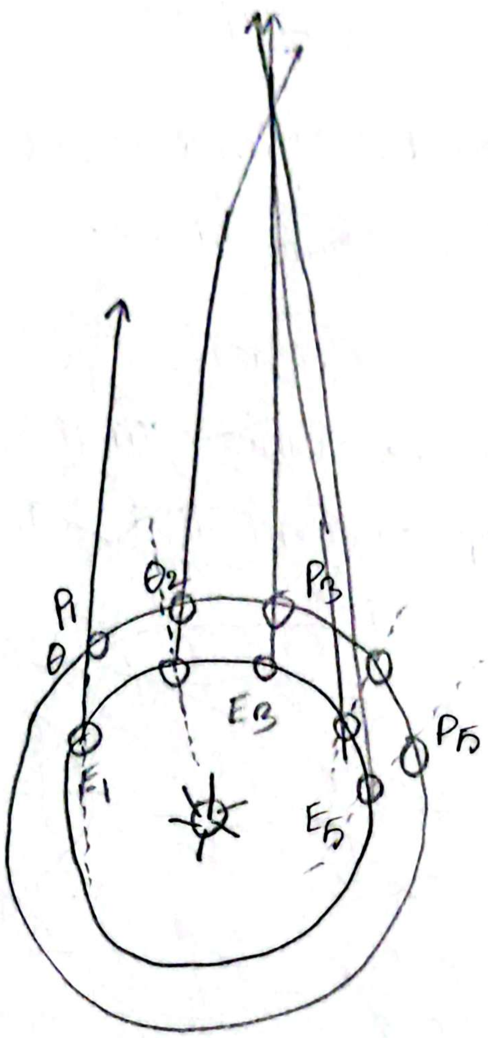
(iii) সূর্য সৌরজগতের কেন্দ্রে অবস্থান করে এবং এটি স্থির।

এটি ছিল যথার্থই কোপার্নিকান বিপ্লব।

<u>বিপ্রতীপ গতি বা প্রত্যাবর্তন গতি:</u> এ গতি ব্যাখ্যা করার জন্য মঙ্গলের গতি পর্যবেক্ষণ করা হলো। মঙ্গল গ্রহের গতি পর্যবেক্ষণ করলে দেখা যায় যে, এটি স্থির তারকার প্রেক্ষাপটে প্রথমে ধীরে পশ্চিম হতে পূর্বদিকে গতিশীল হয় অতঃপর রহস্যজনকভাবে নির্দিষ্ট সময়ের জন্য তার গতিপথ পরিবর্তন করতে দেখা যায় তাকে প্রত্যাবর্তন গতি বলে।

কোপার্নিকাস মডেল অনুসারে সূর্য সৌরজগতের কেন্দ্রে এবং গ্রহসমূহ বৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে। চিত্রে সূর্যের চারদিকে আবর্তনরত পৃথিবীর ৫ টি অবস্থান দ্বারা একই সময়ে মঙ্গলের আনুষঙ্গিক ৫ টি অবস্থান দেখানো হলো যার সূর্য হতে পৃথিবীর অবস্থান E_3 এবং মঙ্গল গ্রহের অবস্থান P_3 । গ্রহের মধ্য দিয়ে আকাশগামী দৃষ্টিরেখাটি

হলো সূর্যের দিক। ধরি $O_1 \ldots O_n$ যথাক্রমে পৃথিবীর বিভিন্ন অবস্থান ($E_1 \ldots E_n$) ও মঙ্গল গ্রহের অবস্থানের ($P_1 \ldots P_n$) জন্য দর্শনরেখা এবং সূর্যের দিকের সমান্তরালী রেখা।



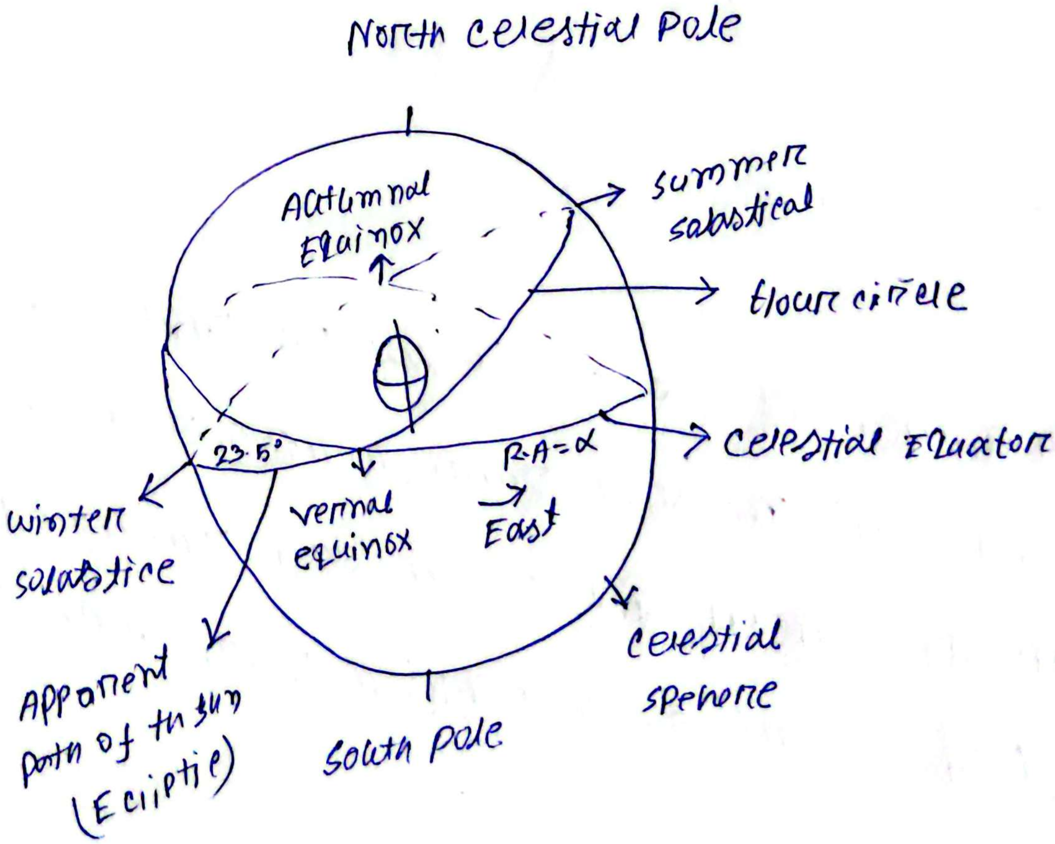
কোপার্নিকাসের মতে যে গ্রহ সূর্য হতে বেশি দূরে অবস্থান করবে সেটি কক্ষপথে তুলনামূলকভাবে ধীরে আবর্তন করবে। পৃথিবীর আবর্তন গতি মঙ্গল গ্রহের তুলনায় বেশি হওয়ায় পৃথিবী মঙ্গল গ্রহকে ওভারটেক করবে যখন মঙ্গল

গ্রহের আপাত অবস্থান পরিবর্তন হবে। প্রথমে গ্রহটিকে পশ্চিম হতে পূর্বে সাবলীলা যেতে হবে এবং কোনসময় পশ্চিম দিকে সাবলীলা হবে।

☐ <u>জুলিয়ান কাল:</u> জুলিয়ান বছরের (৩৬৫.২৫ দিন) উপর ভিত্তি করে নির্ণীত কাল। জুলিয়ান কালকে নিম্নরূপে হিসাব করা হয়। $J = 20000.0 + (\text{জুলিয়ান তারিখ} - 2451545.0)/365.25$

☐ আকাশীয় গোলকের অবস্থান আলোচনা কর।

→ আকাশীয় গোলক হলো অসীম ব্যাসার্ধের গোলক। এ গোলকের কেন্দ্রে পৃথিবী অবস্থান করে। নিচে বিভিন্ন অবস্থান দেখানো হলো:



ক) ভিরিয়াল উপপাদ্যের প্রয়োগ লিখ।

→ ① স্তবকের ভর নির্ণয়: n সংখ্যক গ্যালাক্সির সমন্বয়ে গঠিত একটি বদ্ধ ব্যবস্থা বিবেচনা করি। প্রতিটি গ্যালাক্সির ভর m, v^2 অনিয়মিতক্রমিক বেগের বর্গ গড়ের সমান হয়।

ব্যবস্থার গতিশক্তির সমান হয়,

$$n\left[\frac{1}{2}mv^2\right]$$

R দূরত্বে m ভরের দুটি গ্যালাক্সির মহাকর্ষ বিভব শক্তি

$$-\frac{GM2}{R}$$

যেহেতু ব্যবস্থাটিতে n(n-1) সংখ্যক গ্যালাক্সির জোড় রয়েছে,

$$-[n(n-1)/2][Gm^2/R]$$

ভিরিয়াল উপপাদ্য অনুসারে,

$$\frac{1}{2}nmv^2 = \frac{1}{2}\left[\frac{n(n-1)}{2R}\right](Gm^2)$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{1}{2R}(n-1)(Gm)$$

$$\Rightarrow m = \frac{2v^2R}{G(n-1)}$$

অতএব, ক্লাস্টারের মোট ভর,

$$nm = \frac{n2v^2R}{G(n-1)}$$

(ii) সুপ্তবস্তুর অবস্থান: কিছু ক্লাস্টারের জন্য M, 1000 সমান হয়ে থাকে যেখানে M/(L-1) এর মান ১০ হয়। এ প্রেক্ষিতে ক্লাস্টারের পরিমাপকৃত ভর জ্যোতির দ্বারা প্রকাশিত তাদের পরিমাণ হতে নির্ণীত ভরের চেয়ে বেশি। [illegible] থেকে সুপ্ত বস্তুর ধারণা পাওয়া যায়।

প্র। রিট্রোগ্রেড গতি কী? এই গতি ব্যাখ্যার জন্য টলেমির উদ্যোগ বিবৃত কর।

→ রিট্রোগ্রেড গতি বর্ণনার পর ....

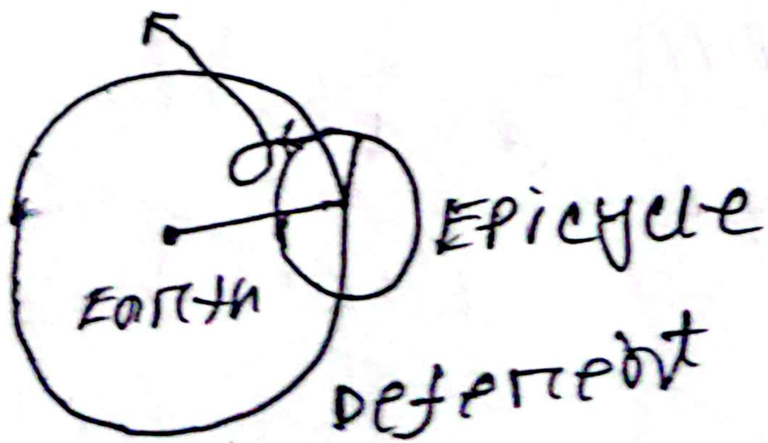
↓

নিসিয়ার হিপারকাস গ্রহের বিপরীতগামী গতির ব্যাখ্যার জন্য একটি বৃত্তের সাহায্যে প্রস্তাব করেছিলেন। তিনি একটি গ্রহকে একটি ছোট ঘূর্ণায়মান এপিসাইকেলে স্থাপন করেছিলেন যা একটি বড় ডিফারেন্ট বৃত্তে ~~সংযুক্ত~~ থাকে। তিনি এপিসাইকেল প্রবর্তন করেছিলেন যা পের্গার অ্যাপোলোনিয়াসের ধারণার উপর ভিত্তি করে তৈরি এবং পৃথিবীকে সামান্য কেন্দ্র থেকে বাইরে রেখেছিলেন।

এই মডেলে প্রধান বৃত্তটিকে বলা হয় ডিফারেন্ট।

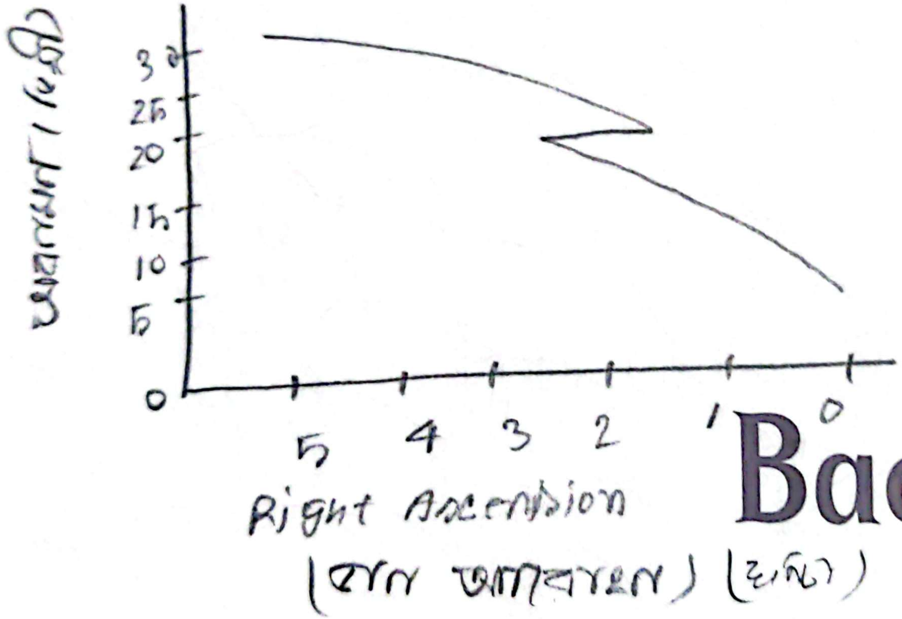
ডিফারেন্টের সাথে যুক্ত থাকা দ্বিতীয় ছোট একটি বৃত্ত

যা এপিসাইক্লিক নামে পরিচিত। এপিসাইক্লের সাথে গ্রহ সংযুক্ত থাকে। এই দুটি বৃত্ত ভিন্ন গতিতে বিপরীত দিকে ঘুরে পৃথিবী থেকে দেখা অবস্থায় গ্রহের আপাত গতিকে পরিক্রমার ব্যাখ্যা করে। চিত্রে বড় বৃত্ত ডিফারেন্ট এবং ছোট বৃত্ত এপিসাইক্লোস।



প্রশ্ন: গ্রহের বক্রগতি আলোচনা কর।

→ প্রাচীন জ্যোতির্বিদরা তারা আকাশমণ্ডলে স্থির ছিল সেখানে গ্রহের ভ্রমণরত তারার গতিবিধি নিয়ে বিভিন্ন সমস্যায় সৃষ্টি করেছিল। মঙ্গল গ্রহের মতো কোন গ্রহ ধীরে ধীরে স্থির নক্ষত্রপুঞ্জের বিপরীতে পশ্চিম থেকে পূর্ব দিকে চলে যায় এবং তারপর উচ্চ বিন্দু বরাবর (বা) তার গতিপথ উল্টে যেত তারপর আবার আগের পথে ফিরে আসে। এই গতিকে বক্রগতি বলে।



ঘ) প্লাঙ্কের বিকিরণ সূত্র ব্যবহার করে স্টেফান বোল্টজম্যান এর সূত্র বের কর।

→ প্লাঙ্কের বিকিরণ সূত্র হতে আমরা পাই. . . .

$$E_\nu d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{(e^{h\nu/KT}-1)} d\nu$$

$$\Rightarrow \int_0^\infty E_\nu d\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \int_0^\infty \frac{\nu^3}{(e^{h\nu/KT}-1)} d\nu$$

ধরি, $x = h\nu/KT$

$d\nu = \frac{KT}{h} dx$

$$= \frac{8\pi h K^3 T^3}{h^3 c^3} \int_0^\infty \frac{(h\nu/KT)^3}{(e^x-1)} d\nu$$

$$\Rightarrow E = \frac{8\pi K^3 h T^3}{h^3 c^3} \frac{KT}{h} \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x-1} dx$$

$\int_0^\infty x^3 e^{-mx} dx = \frac{6}{m^4}$

$\sum \frac{1}{m^4} = \frac{\pi^4}{90}$

$$= \frac{8\pi K^4 T^4}{h^3 c^3} \int_0^\infty x^3 (e^{-x} + e^{-2x} + \ldots) dx$$

$$= \frac{8\pi K^4 T^4}{h^3 c^3} \times \frac{6}{m^4}$$

$$= \frac{48\pi K^4 T^4}{h^3 c^3} \cdot \frac{\pi^4}{90}$$

$$\Rightarrow \frac{cE}{4} = \frac{12\pi^5 K^4 T^4}{h^3 c^2} \cdot \frac{1}{90}$$

$$= \left(\frac{2\pi^5 K^4 T^4}{15 h^3 c^2}\right) T^4$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 K^4 T^4}{15 h^3 c^2} \qquad = \sigma T^4$$

এটাই বোল্টজম্যান এর সূত্র।

Chapter-7

□ Chromosphere বা ক্রোমোস্ফিয়ার: ক্রোমোস্ফিয়ার হলো সূর্যের বহিরের দিকে দ্বিতীয় স্তর। এর পুরুত্ব প্রায় 2100 km। এটি অত্যন্ত হালকা গ্যাস এবং ইহা আলোকমণ্ডল অপেক্ষা স্বচ্ছ। সূর্য গ্রহণকালে সূর্যের বর্ণ উজ্জ্বল লাল হয় বলে এরূপ নামকরণ। ক্রোমোস্ফিয়ারে ক্রোমোস্ফিয়ার ফটোস্ফিয়ারের ঠিক উপরে অবস্থিত এবং ইহা প্রায় 1600 km পর্যন্ত বিস্তৃত। ক্রোমোস্ফিয়ার থেকে যে আলো নির্গত হয় তাহা পরীক্ষা করে দেখা যায় যে এই অঞ্চলের গ্যাস ঘনত্ব ফটোস্ফিয়ারের তুলনায় $\frac{1}{10000}$ গুণ কম। এই ক্রোমোস্ফিয়ারের তাপমাত্রা 4400°K থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 10000 K এ পৌঁছে। ফটোস্ফিয়ারের মতো এটি সাদা নয় কিন্তু দৃশ্যমান আলোতে দেখাতে পারে। ক্রোমোস্ফিয়ার হতে নির্গত আলোক রশ্মি খালি চোখে কেবল এটি দৃশ্যমান হয়। সূর্য গ্রহণকালে এরূপ পরিবেশের সৃষ্টি হয়। অতি উত্তপ্ত হাইড্রোজেনের দহনের কারণে এটি লালচে ~~দীপ্তি~~ দীপ্তি ছড়ায়। এর লাল আলোয় পূর্ণ সূর্য গ্রহণ দৃশ্য দেখা যায় না। ক্রোমোস্ফিয়ার সূর্যের অভ্যন্তর হতে সূর্যের সর্ব বহিরের ~~স্তরের~~ স্তরে তাপ পরিবহনে ভূমিকা রাখে। নাসার পরীক্ষা থেকে দেখা যায় যে, পরিচলন প্রবাহের বেগ 0.4 kms^{-1} প্রায়।

⊡ অবস্থান্তর অঞ্চল বা transition region: ক্রোমোস্ফিয়ারের উপরে প্রায় 100km পর্যন্ত তাপমাত্রা আকস্মিক বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং তাপমাত্রার মান আকস্মিক বা তাপমাত্রা বৃদ্ধি হওয়ার পূর্ব পর্যন্ত $10^5 K$ এ পৌঁছে। অতঃপর এই তাপমাত্রা $10^6 K$ এ পৌঁছার পর ধীরে ধীরে পেতে থাকে।

⊡ করোনা: সৌরমণ্ডলের অঞ্চলের বাহিরের অংশটিকে করোনা বলা হয়। মূলত পূর্ণগ্রহণের সময় সূর্যের চারদিকে যে শোভাময় আলো দেখা যায় তাকে সূর্যের করোনা বলা হয়। এক্ষেত্রে করোনার আলোর তীব্রতা হলো ফটোস্ফিয়ারের তীব্রতার চেয়ে প্রায় 10^6 গুণ কম। করোনার ভূমিতে কণার ঘনত্ব হলো $10^{15}/m^3$। কিন্তু পৃথিবীর ভূপৃষ্ঠতলে সূর্য দ্বারা উৎপন্ন কণার ঘনত্ব হলো $10^7/m^3$. করোনা থেকে আগত বিকিরণকে তিনটি উপাংশে ভাগ করা যায়। যথা:

(i) K করোনা: যা হলো অবিচ্ছিন্ন সাদা আলো নির্গমন করে যা হলো মুক্ত ইলেকট্রন দ্বারা ফটোস্ফিয়ারের বিকিরণের ফলে। K করোনার জন্য করোনাল আলোর অবদান সূর্যের কেন্দ্র থেকে 1 এবং 2.3 R_0 এর মধ্যে হয়ে থাকে।

(১০) F করোনা: 2.3 R_0 এর বাইরে ধূলিকণা দ্বারা ফটোস্ফেরিক আলোর বিচ্ছুরণ থেকে আসে

(১১) E করোনা: উহা হলো সমস্ত করোনা ক্যালসিয়াম আয়নিত তৈরি দ্বারা উৎপন্ন।

চরম মান (Absolute magnitude): আকাশের কোনো ... যদি পরিমাণ

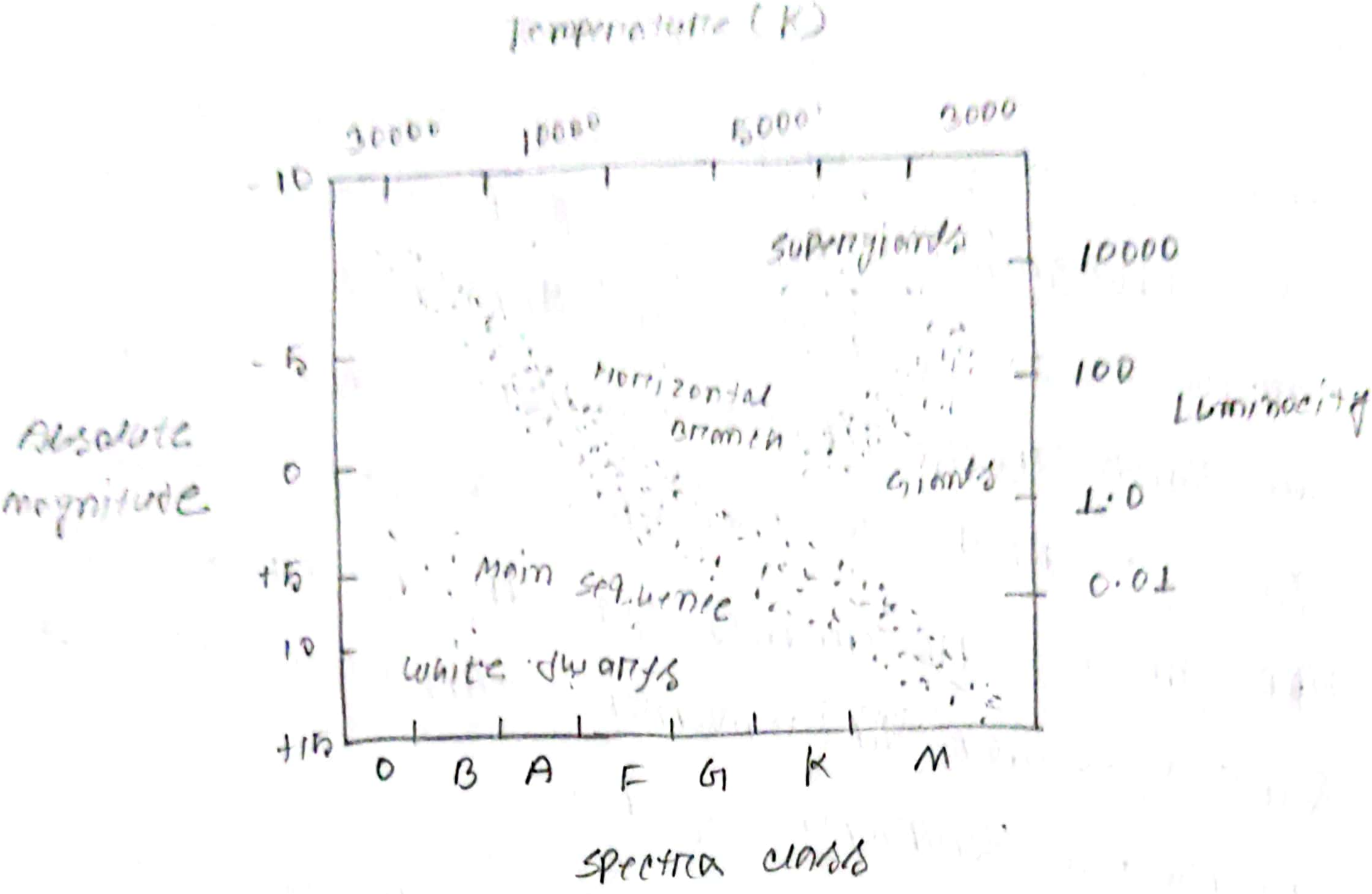
☐ হার্টজস্প্রাং - রাসেল ডায়াগ্রাম : তারকাসমূহ মহাকাশে সুষমভাবে বণ্টিত নেই। তারা গুচ্ছাকারে অবস্থান করে। তবুও সেহেতু তারকাগুলোকে প্রায় একটি দলবদ্ধ হিসেবে ধরতে পারি। কোপেনহেগেনী হার্টজস্প্রাং ও রাসেল প্রথমবারের তারকার দীপ্তি মান বনাম তারকার বাহ্যিক তাপমাত্রা লেখচিত্র অঙ্কন করে। এ লেখচিত্রকে হার্টজস্প্রাং বা H-R ডায়াগ্রাম বা HRD বলা হয়। HR লেখচিত্র এর সাহায্যে জ্যোতির্বিজ্ঞানী তারকাদের উজ্জ্বলতা, বর্ণ, তাপমাত্রা ইত্যাদির উপর ভিত্তি করে তারকাসমূহকে শ্রেণিবিভাগ করেন।

এ ডায়াগ্রামের প্রধান অংশটি হলো এর কর্ণ যা উপরের বাম হতে শুরু হয়ে নিচের ডান পর্যন্ত বিস্তৃত। নিচের বামে সাদা বামন তারকা সমূহ অবস্থান করে এবং প্রধান অনুক্রমের উপরে subgiants, giants, supergiants তারকাসমূহ অবস্থান করে।

সাধারণত দুই ধরনের ডায়াগ্রাম আঁকা যায়।

① পর্যবেক্ষণকৃত ডায়াগ্রাম।

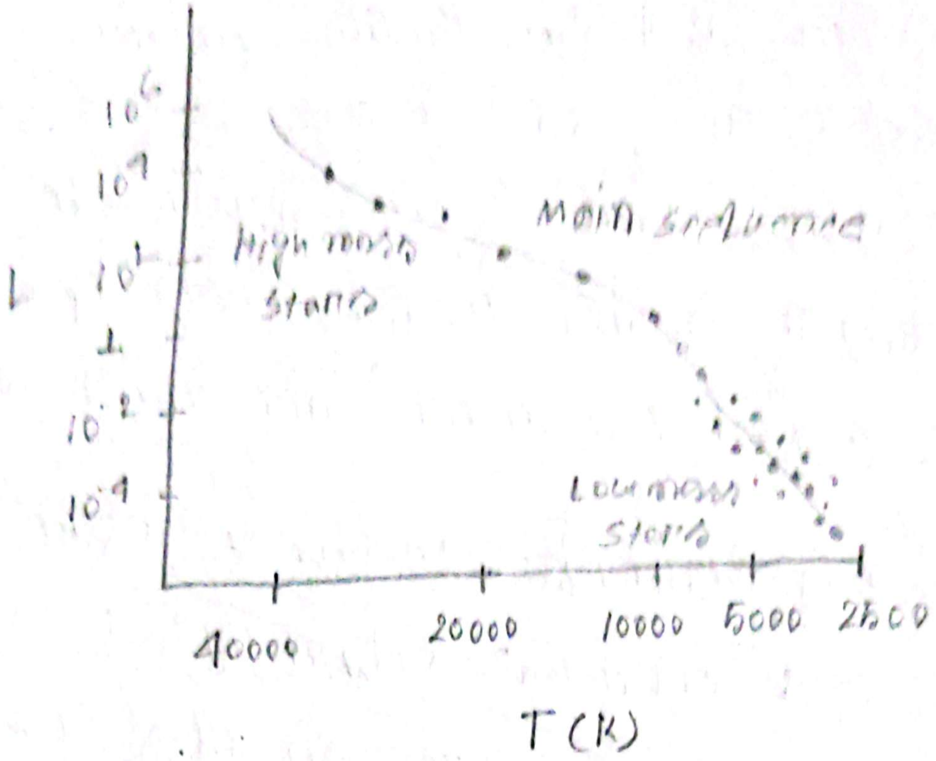
② তাত্ত্বিক HR ডায়াগ্রাম।



চিত্র: হার্টজস্প্রাংরাসেল ডায়াগ্রাম

এটিই মূল ডায়াগ্রাম। এক্ষেত্রে অনুভূমিক অক্ষ বরাবর তারকার বর্ণ এবং উল্লম্ব অক্ষ বরাবর তারকার পরম মান প্রদর্শিত হয়। সাধারণত এ ডায়াগ্রাম বর্ণ-মান ডায়াগ্রাম নামে পরিচিত।

(২) <u>তাত্ত্বিক HR ডায়াগ্রাম</u>: এক্ষেত্রে কোনো এক অক্ষ বরাবর তারকার কার্যকর পৃষ্ঠ তাপমাত্রা এবং অন্য অক্ষে তারকার উজ্জ্বলতা প্লট করা হয়। এ ডায়াগ্রামকে তাপমাত্রা-উজ্জ্বলতা ডায়াগ্রাম বলা হয়।



চিত্র: এইচআর ডায়াগ্রাম

HR ডায়াগ্রামের বিভিন্ন অঞ্চলের বর্ণনা:

① প্রধান অনুক্রমের তারকাসমূহের অঞ্চল: অস্থায়ী দশার হাইড্রোজেন জ্বালানির তারকাগুলো তাদের ভর অনুযায়ী প্রধান ধারাতে অবস্থান করে। এ অঞ্চলের বৈশিষ্ট্য হলো প্রধান ধারার তারকা HR চিত্রের বাম হতে আরম্ভ হয়ে নিচের কোণা পর্যন্ত বিস্তৃত। এ অঞ্চলের তারকাসমূহ তাদের জীবনের ৯০% ~~হিলিয়াম~~ হাইড্রোজেন পুড়িয়ে হিলিয়ামে পরিণত করতে ব্যয় করে।

(গ) উচ্চ ভরের তারকাসমূহের অঞ্চল: প্রধান অনুক্রমের কোনো তারকা যখন হাইড্রোজেন জ্বালানি নিঃশেষ করে ফেলার পর প্রধান অনুক্রম ত্যাগ করে এবং লাল দানব শাখায় প্রবেশ করে। তখন তারকাসমূহ হিলিয়াম কিংবা এর চেয়ে উচ্চ ভরের পরমাণুকে জ্বালানি হিসেবে ব্যবহার করে। অধিক ভরের সময় তারকাগুলো বিকাশকালে লাল দানবে পরিণত হয়।

(ঘ) নিম্ন ভরের তারকাসমূহের অঞ্চল: এ অঞ্চলে কম ভরের বা মাধ্যমিক ভরের তারকাসমূহ অবস্থান করে। ডায়াগ্রামের নিচের বাম কোণে এ তারকাসমূহ অবস্থান করে। যেমন: শ্বেত বামন।

(ঙ) হার্টজস্প্রাং ব্যবধান: HR ডায়াগ্রামের প্রধান অনুক্রমের উপরের অঞ্চল এবং সৌর ভরের ২.৫ গুনের অধিক ভর বিশিষ্ট লালদানবসমূহের মধ্যবর্তী অঞ্চলের উপস্থিতি বেশ কম। এই অঞ্চলকে হার্টজস্প্রাং ব্যবধান বলে।

উজ্জ্বলতার গুণক (luminous factor): যে কোনো মানের তারকাদ্বয়ের আপেক্ষিক দীপ্তির অনুপাত ২.৫১$^{(m_2-m_1)}$ এর সমান তাকে উজ্জ্বলতার গুণক বলে।

HR ডায়াগ্রামের প্রয়োজনীয়তা: আদি অবস্থা থেকে নিজের বলের সৃষ্টি থেকেই তার অভ্যন্তরীণ এবং বাহ্যিক শক্তি উৎপন্ন করার তার নির্দেশনা অনুযায়ী বিভিন্ন বিবর্তন ধাপ অনুসরণ করে। সৃষ্টি থেকে তাপমাত্রার পরিবর্তন এবং উজ্জ্বলতা ভিন্ন হয় যা ডায়াগ্রামে লক্ষ্য করা যায়। জ্যোতির্বিজ্ঞানীগণ ডায়াগ্রামে তারকার অবস্থান লক্ষ্য করে তার অভ্যন্তরীণ এবং বিবর্তনের ধাপ সম্পর্কে জানতে পারেন। এ লেখচিত্রের সাহায্যে জ্যোতির্বিদগণ তারকার উজ্জ্বলতা, বর্ণালীর শ্রেণি, বর্ণ, তাপমাত্রার উপর ভিত্তি করে তারকাসমূহের শ্রেণিবিভাগ করেন। তারকার সূর্য পৃথিবী হতে কত দূরে অবস্থান করে নির্ণয়ের জন্য H-R ডায়াগ্রাম ব্যবহার করা হয়। জ্যোতির্বিজ্ঞানীগণ তারকার বিবর্তনের ধাপসমূহকে সংক্ষিপ্তভাবে ব্যাখ্যার জন্য এ ডায়াগ্রাম ব্যবহার করেন।

আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি বর্ণনা কর।

→ শব্দ শূন্যস্থানের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয় না। নিউটন দেখান কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে শব্দের বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্কের বর্গমূলের সমানুপাতিক কিন্তু মাধ্যমের ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে শব্দের বেগ,

$$v = \sqrt{\frac{\text{elastic modulus}}{\rho}}$$; স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক

প্র. সৌর বায়ু প্রবাহের জন্য পার্কার বায়ু প্রবাহ মডেল আলোচনা কর।

→ 1958 সালে Eugene Parker সৌর বায়ু প্রবাহের একটি আদর্শ মান সমীকরণ মডেল উদ্ভাবন করেন। যদি করোনার ভর সূর্যের মোট ভরের তুলনায় নগন্য হয় তবে করোনা অঞ্চলে $M_r \approx M_\odot$ এবং হাইড্রোস্ট্যাটিক সাম্যাবস্থার সমীকরণটি হবে,

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_\odot \rho}{r^2} \quad —(1)$$

করোনার গ্যাসকে সম্পূর্ণরূপে আয়নিত বিবেচনা করে সেটির সংখ্যা ঘনত্ব লিখতে পারি,

$$n \simeq \frac{\rho}{m_p}$$

-আদর্শ গ্যাসের সূত্রানুসারে গ্যাসের জন্য,

$$P \simeq 2nKT$$

যেখানে আয়নিত গ্যাসের জন্য $\mu = \frac{1}{2}$ ।

(1) হতে, $$\frac{d}{dr}(2nKT) = -\frac{GM_\odot n m_p}{r^2}$$

$$\Rightarrow 2KT\frac{dn}{dr} = -\frac{GM_\odot m_p}{r^2}\cdot n$$

$$\Rightarrow \frac{dn}{n} = -\frac{GM_\odot m_p}{2KT}\cdot\frac{dr}{r^2}$$

ধরি, $\lambda = \frac{G M_\odot m_p}{2kT r_0}$

$$\Rightarrow \frac{G M_\odot m_p}{2kT} = \lambda r_0$$

এখানে $r = r_0$ ও $n = n_0$ বিবেচনা করে উভয়দিকে সমাকলন করে,

$$\frac{dn}{n} = -\lambda r_0 \frac{dr}{r^2}$$

$$\Rightarrow \int_{n_0}^{n} \frac{dn}{n} = \int_{r_0}^{r} -\lambda r_0 \frac{dr}{r^2}$$

$$\Rightarrow \int_{n_0}^{n} \frac{dn}{n} = -\lambda r_0 \int_{r_0}^{r} \frac{dr}{r^2}$$

$$\Rightarrow \ln n \Big|_{n_0}^{n} = -\lambda r_0 \left[-\frac{1}{r}\right]_{r_0}^{r}$$

$$\Rightarrow \ln \frac{n(r)}{n_0} = \lambda r_0 \left[\frac{1}{r}\right]_{r_0}^{r}$$

$$\Rightarrow \ln \frac{n(r)}{n_0} = \lambda r_0 \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right]$$

$$\Rightarrow \ln \frac{n(r)}{n_0} = \lambda \left[\frac{r_0}{r} - \frac{r_0}{r_0}\right]$$

$$\Rightarrow \ln \frac{n(r)}{n_0} = \lambda \left[\frac{r_0}{r} - 1\right]$$

$$\Rightarrow \ln \frac{n(r)}{n_0} = -\lambda \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)$$

$$\Rightarrow n(r) = n_0 e^{-\lambda \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)}$$

সুতরাং চাপকে আমরা লিখতে পারি,

$$P(r) = P_0 e^{-\lambda \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)}$$

এখানে, $P_0 = 2 n_0 kT$

প্র (সৌর অভ্যন্তর / solar interior) আলোচনা কর।

→

প্র সূর্যের অভ্যন্তরীণ গঠন আলোচনা কর।

→ সূর্যের বর্তমান বয়সের সাথে সঙ্গতি রেখে সূর্যের ভিতরের একটি মডেল তৈরি করা যায়। এই মডেল অনুসারে সূর্যের কেন্দ্রে তাপমাত্রা, চাপ, ঘনত্ব এবং বিভিন্ন উপাদানের প্রাচুর্য দেওয়া হলো :

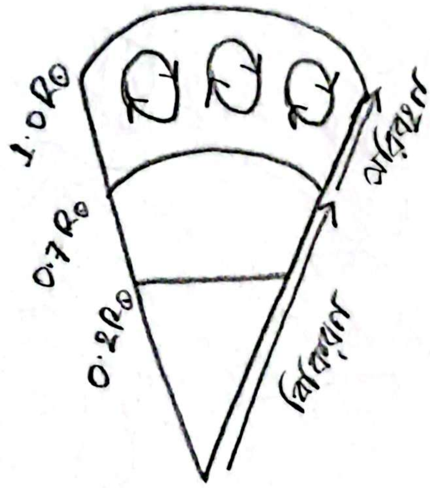
$$\text{তাপমাত্রা} = 1.570 \times 10^{7} K$$

$$\text{চাপ} = 2.342 \times 10^{16} N/m^2$$

$$\text{ঘনত্ব} = 1.527 \times 10^{5} kg/m^3$$

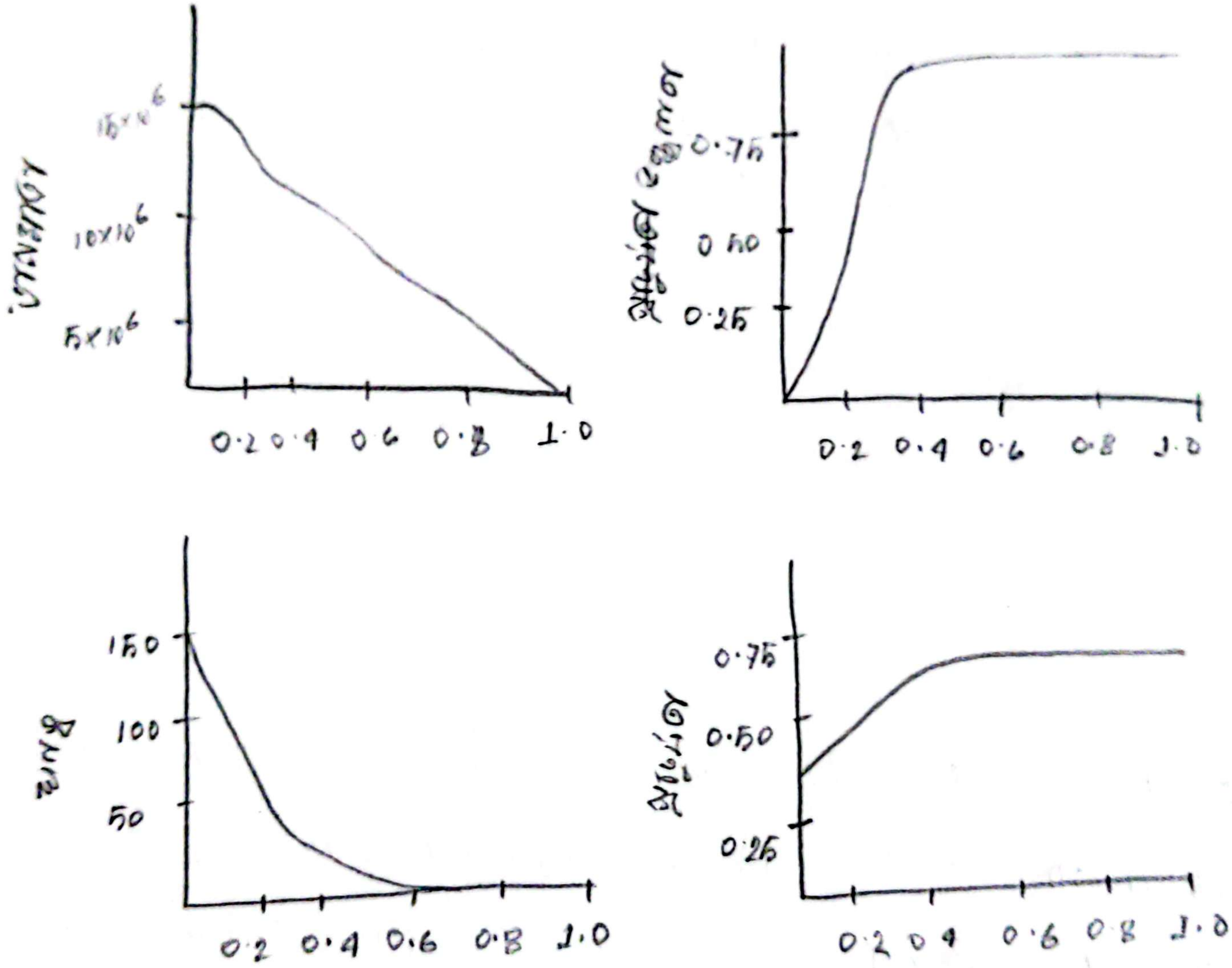
$$X = 0.3397$$

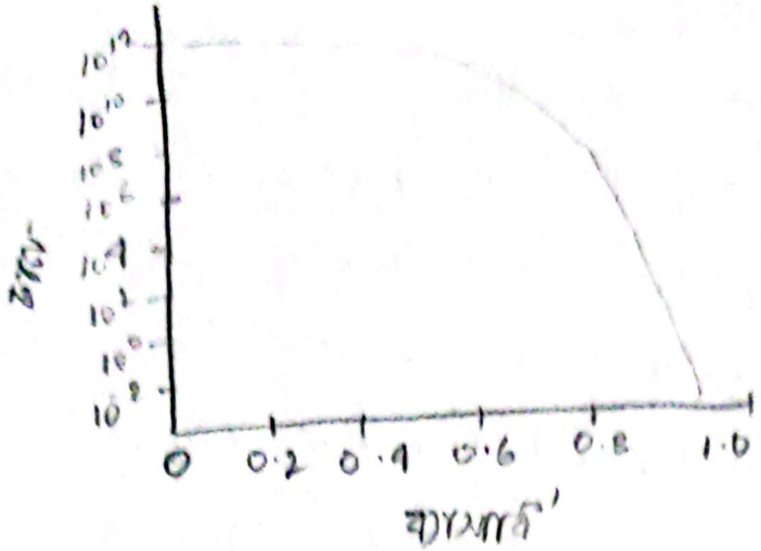
$$Y = 0.6405$$



Evolutionary sequence তত্ত্ব অনুসারে এই মডেল থেকে পাওয়া যায় যে সূর্য তার জীবনকালে তার কেন্দ্রে H_2 এর ভর ভগ্নাংশ আনুমানিক 0.7 থেকে 0.2 এ নেমে আসে এবং

কিন্তু ক্লিস্টারের এর এন্ট্রপি ০.২৭ থেকে বৃদ্ধি পেয়ে ০.৬৭০ প্রতীত হয় । হিস্টোগ্রাম থেকে আমরা অন্যান্যগুলো জানার জন্য আচরণ জানতে পারি । আমরা দেখতে পাই হিস্টোগ্রাম এর এর এন্ট্রপি 0.03 বৃদ্ধি পায় এবং ক্লিস্টারের এর এন্ট্রপি 0.03 হ্রাস পায় । আমরা দেখতে পাই যে ... তারতম্য । এবং ডেন্ডোগ্রামের হয়, হিস্টোগ্রাম ক্লাস্টারের বৃদ্ধির পরিবর্তন দেখানো হয়েছে ।





প্র: অঙ্গ অন্ধকার (Limb Darking) বলতে কী বোঝায়।

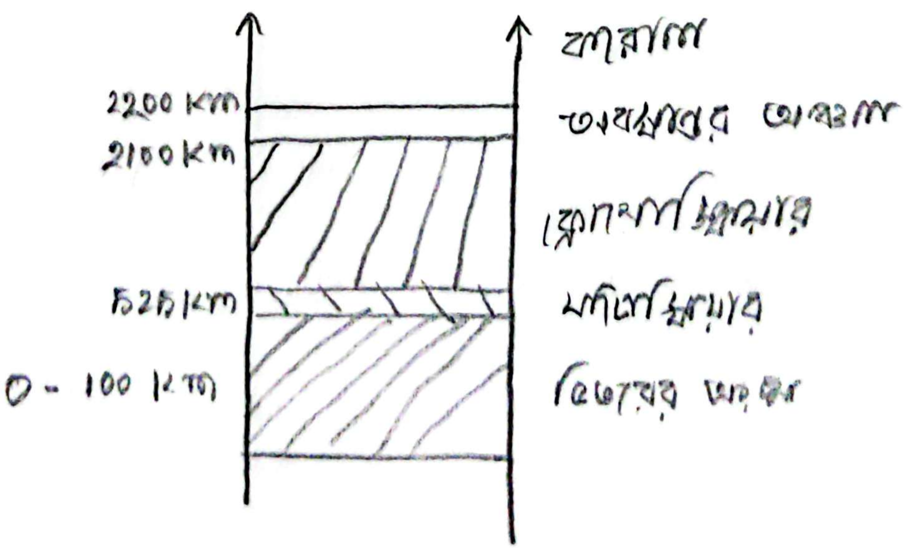
→ সূর্যের বিম্বের কেন্দ্রীয় অঞ্চল বিম্বের প্রান্ত অপেক্ষা উজ্জ্বল হয়। সূর্যের বিম্বের কেন্দ্র হতে এর প্রান্ত বরাবর উজ্জ্বলতার ক্রমান্বয়ে হ্রাস পাওয়াকে অঙ্গ অন্ধকার বলে। আলোক মণ্ডলের বাহিরের দিকে সৌর গ্যাস ঠান্ডা হওয়ার কারণে এর তাপমাত্রা হ্রাস পায় এবং বেশি আলোকে শক্তি নিঃসরণ করে না। এর ফলে মানব চোখ একে একটু অস্পষ্ট মনে হয়।

☐ সৌর গ্রানুলেশন কী ?

→ টেলিস্কোপের সাহায্যে সূর্যকে পর্যবেক্ষণ করলে তাকে মসৃণ দেখায় না। দেখা যায় তার পৃষ্ঠে বরাবর উজ্জ্বল অঞ্চল সমূহ অন্ধকার অঞ্চল দ্বারা পরিবেষ্টিত। ফলে তাদের খাদ্য দানার মতো দেখাতে মনে হয়। দানাগুলোর বিস্তার প্রায় 700 কি:মি। অন্ধকার অঞ্চলসমূহ প্রকৃতপক্ষে অন্ধকার নয় তারা উজ্জ্বল অঞ্চলসমূহের তুলনায় শীতলতর। আলোকমণ্ডলের বোলের এ ধরনের patchwork structure কে গ্রানুলেশন বলে।

☐ সৌর আবহমণ্ডল (solar atmosphere) আলোচনা কর।

→ সূর্যের কেন্দ্র থেকে দূরত্ব নির্ভর বিভিন্ন স্তরগুলোকে সৌর আবহমণ্ডল বলা হয়। সূর্যের এই আবহমণ্ডল কয়েকটি ভাগে বিভক্ত (i) ভিতরের অংশ (ii) উপরিভাগের নাম ফটোস্ফিয়ার। ফটোস্ফিয়ারের বাহিরের দেশীহতে বাহিরের বায়বীয় অংশের নাম ক্রোমোস্ফিয়ার। সূর্য গ্রহণের সময় সূর্যের চারদিকে যে দেদীপ্যমান আলো দেখা যায় তাকে সূর্যের করোনা বলা হয়।



সূর্যের এই অঞ্চলটি 600km এর মধ্যে আলোকমণ্ডলের অস্বচ্ছ অবস্থা থেকে স্বচ্ছ অবস্থায় পরিবর্তিত হয়।

ফটোস্ফিয়ার বর্ণনা কর।

→ যে অঞ্চল থেকে আলোকীয় বিকিরণ উৎপন্ন হয় তাকে ফটোস্ফিয়ার বলে। ফটোস্ফিয়ারের বৈশিষ্ট্য আলোকীয় গভীরতা তরঙ্গদৈর্ঘ্য 500nm কে 1 বিবেচনা করে সেখান থেকে 100km নিচে বিবেচনা করা হয়। ফটোস্ফিয়ারের ঘনত্ব হলো পৃথিবীর বায়ুর 0.01% এবং ইহা অস্বচ্ছ মাধ্যমের মতো আচরণ করে। যার ফলে দৃশ্যমান আলো এর মধ্য দিয়ে বের হতে পারে না। সূর্যের অভ্যন্তর থেকে যে বিকিরণ আসে তা ফটোস্ফিয়ারে শোষিত হয় তাহা বিভিন্ন দিকে বিচ্ছুরিত হয়। ফটোস্ফিয়ারের আলোক দূরবীন দিয়ে পর্যবেক্ষণ করলে ফটোস্ফিয়ার শস্য দানার মতো দেখা যায়।

সৌর চক্র (The solar cycle) বা sunspot বর্ণনা কর।

→ বিজ্ঞানীদের সাহায্যে দেখা যায় যে সূর্যের উপরিতলের দাগগুলি ক্রমশ পশ্চিম হতে পূর্ব দিকে সরে যেতে থাকে। কোনো স্থানের একটি দাগ প্রায় সপ্তাহকাল সময়ে সূর্যের কিনারে এক ধারে ~~ব~~ সরে যায় আবার ২ সপ্তাহ পরে পুনঃপ্রকাশ

দিনের আগে। এ চিত্র থেকে জানা যায় যে, সূর্য্য স্বকীয় অক্ষের চারদিকে আবর্তন করে থাকে। সূর্যের এই আহ্নিক গতি পৃথিবীর আহ্নিক গতির মতো। সূর্যের উত্তরাঞ্চলের অসংখ্য দাগগুলোকে অপেক্ষাকৃত বক্রাকারে ভ্রমণ করতে দেখা যায়। এই বক্র গতি মার্চ ও সেপ্টেম্বর মাসে সর্বাধিক পরিমাণে দেখা যায়। আবার ডিসেম্বর ও জুন মাসে এই গতির বক্রতা কম থাকে। সূর্যের গায়ে কালো দাগের সংখ্যার মধ্যে হ্রাস বৃদ্ধি ঘটে। আবার কখনও কখনও সূর্যের গায়ে দাগ থাকে না এবং কখনও কখনও প্রচুর পরিমাণে দেখা যায়। সূর্যের গায়ে দাগ একেবারে না থাকা এবং প্রচুর সংখ্যায় থাকার ক্রমাবর্তি ঘটে ১১ বছরের চক্রে। একে 11 year cycle বলে। দাগ বাড়তে থাকে প্রায় পাঁচ বছর ধরে। তারপর প্রায় সাড়ে ছয় বছর দাগ কমতে থাকে। তারপর কিছুকাল একেবারে না থাকায় এ অবস্থাকে শান্ত সূর্য বলে।

৪.১ সৌর অগ্নিশিখাবলী (Solar Prominences): সৌর অগ্নিশিখাবলী হলো আয়নিত গ্যাসের উদগীরণ মেঘ যা সূর্যের বর্ণমণ্ডল হতে করোনাতে প্রসারিত হয়। এটি বর্ণমণ্ডলের উপর লক্ষ হাজার কি.মি. পর্যন্ত বিস্তৃত হতে পারে।

সৌর ঝড় থেকে আগত বস্তুসমূহ (Solar flares, X-ray, energetic particles):

সূর্যের কয়েক মিলিসেকেন্ড থেকে 1 ঘণ্টার মধ্যে 10^{17} J থেকে 10^{25} J পর্যন্ত শক্তির উদগীরণকে সৌর অগ্নুৎপাত বা ফ্লেয়ার ঝড় বলে। প্রকৃতপক্ষে সৌর ঝড়ের আকার অনেক বড়। সাধারণত এই ঝড় 100000 km দৈর্ঘ্যের এলাকা জুড়ে থাকে। এই উদগীরণের সময় হাইড্রোজেন পরমাণুর লাইন Hα নির্গত হয়। এই Hα এর সাথে অন্যান্য ধরনের বিকিরণও উৎপন্ন হয় যার তরঙ্গদৈর্ঘ্য কয়েক km থেকে শুরু তরঙ্গদৈর্ঘ্যের X-ray এবং গামা রশ্মি নির্গত হয়।

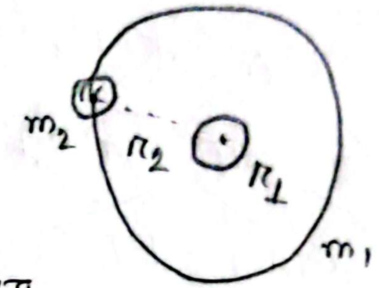
সৌর ঝড়ে চার্জযুক্ত কণা ও উচ্চ বেগে নির্গত হয়। আবার ঝড়ে নির্গত কণাগুলো মূলত প্রোটন ও হিলিয়াম নিউক্লিয়াস দ্বারা গঠিত এবং এগুলো ভূ-পৃষ্ঠে 30 মিনিটের মধ্যে পৌঁছে। এমনকি shock তরঙ্গও উৎপন্ন হয়।

সৌর বায়ুমণ্ডল: সূর্য উত্তপ্ত প্লাজমার গঠিত গোলাকার বিশেষ। এ প্লাজমার পরিচলন স্তরের কারণে শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। বিকিরণ ও পরিচলন জোন দ্বারা অন্তর্ভুক্ত যে সব অঞ্চল থাকে তাকে ট্যাকোক্লাইন বলে।

iii) দৃশ্যমান বাইনারী (visual binary) ব্যবহার করে নক্ষত্রের ভর বের কর।

→ দৃশ্যমান বাইনারী বিষয়ক যুগল নক্ষত্রের ভর সম্পর্কে ধারণা প্রদান করে। তাদের ভর বের করার জন্য দুটি নক্ষত্র তাদের উভয়ের ভরকেন্দ্রের সাপেক্ষে ঘূর্ণায়মান অবস্থায় আছে বিবেচনা করি। অর্থাৎ তাদের কক্ষপথ তলটি হলো পর্যবেক্ষকের অবলোকন রেখার উপর লম্ব বিবেচনা করি। দুটি নক্ষত্রের ভরের অনুপাতকে ভরকেন্দ্র থেকে তাদের কৌণিক ব্যবধানের অনুপাত পাওয়া যায়।

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{a_2}{a_1} \quad \text{——} \quad (1)$$



এখানে a_1 ও a_2 হলো নক্ষত্রদ্বয়ের সেমি-মেজর অক্ষ। নক্ষত্রের ভরকেন্দ্রের দূরত্ব d হলে সেমি মেজর অক্ষটি যে কোণ উৎপন্ন করে তা হবে, $\alpha_1 = \frac{a_1}{d}$, $\alpha_2 = \frac{a_2}{d}$

(1) হতে, $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{\alpha_2 d}{\alpha_1 d}$$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

আমরা জানি, কেপলারের তৃতীয় সূত্র,

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G(m_1+m_2)} a^3$$

এখানে m_1+m_2 হলো নক্ষত্রের মোট ভর 1 । যেহেতু $a = a_1+a_2$ যেহেতু সেমি-মেজর অক্ষটি সরাসরি জানা যাবে । এ জানার ফলে m_1+m_2 কে $\frac{m_1}{m_2}$ এর সাথে সংযুক্ত করে m_1 ও m_2 নির্ণয় করা যায় ।

☐ ভর-ব্যাসার্ধ এবং ভর উজ্জ্বলতার সম্পর্ক বের কর ।

→ যদি দুইটি নক্ষত্রের উৎকেন্দ্রিকতা $e \ll 1$ বিবেচনা করি তবে বাইনারী সিস্টেমের জন্য,

$$V_1 = \frac{2\pi a_1}{P}, \quad V_2 = \frac{2\pi a_2}{P}$$

a_1 ও a_2 হলো নক্ষত্রের দুটি সেমি-মেজর অক্ষ এবং P হলো উভয়টাকার মাঝের পর্যায়কাল ।

আমরা জানি,

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{a_2}{a_1}$$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{\frac{V_2 P}{2\pi}}{\frac{V_1 P}{2\pi}}$$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{——(1)}$$

$$V_1 = \frac{2\pi a_1}{P}$$

$$\Rightarrow a_1 = \frac{V_1 P}{2\pi}$$

আবার,

$$a_2 = \frac{V_2 P}{2\pi}$$

আবার আমরা জানি পরিদর্শী [illegible] আনত কোণ i এর নিরূপণ দেখা যায়।

$$\sin i = \frac{V_{1r}}{V_1}, \quad \sin i = \frac{V_{2r}}{V_2}$$

এখানে V_{1r} ও V_{2r} হলো দৃষ্টিরেখীয় উপাংশগুলো এবং V_1 ও V_2 বেগের মান।

অতএব, $$\frac{V_{2r}}{V_2} = \frac{V_{1r}}{V_1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_{2r}}{V_{1r}} \quad \text{—— (2)}$$

আবার (1) হতে,

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{V_{2r}}{V_{1r}} \quad \text{—— (3)}$$

আমরা জানি, $$a = a_1 + a_2$$
$$= \frac{V_1 P}{2\pi} + \frac{V_2 P}{2\pi}$$
$$= \frac{P}{2\pi}(V_1 + V_2) \quad \text{—— (4)}$$

কেপলারের তৃতীয় সূত্রানুসারে,

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(m_1+m_2)} a^3 \quad \text{—— (5)}$$

$$\Rightarrow P^2 = \frac{4\pi^2}{G(m_1+m_2)} \cdot \frac{P^3}{8\pi^3}(V_1+V_2)^3$$

$$\Rightarrow m_1+m_2 = \frac{P}{2\pi G}(v_1+v_2)^3$$

$$\Rightarrow m_1+m_2 = \frac{P}{2\pi G}\frac{(v_{1r}+v_{2r})^3}{\sin^3 i} \longrightarrow (6)$$

$$v_1+v_2 = \frac{v_{1r}}{\sin i}+\frac{v_{2r}}{\sin i} = \frac{v_{1r}+v_{2r}}{\sin i}$$

$$\Rightarrow m_1+m_2 = \frac{P}{2\pi G}\frac{\left(v_{1r}+\frac{m_1}{m_2}v_{1r}\right)^3}{\sin^3 i} \qquad \left[v_{2r}=\frac{m_1}{m_2}v_{1r}\right]$$

$$\Rightarrow m_1+m_2 = \frac{P}{2\pi G}\frac{v_{1r}^3\left(1+\frac{m_1}{m_2}\right)^3}{\sin^3 i}$$

$$\Rightarrow m_1+m_2 = \frac{P}{2\pi G}\frac{v_{1r}^3\left(\frac{m_2+m_1}{m_2}\right)^3}{\sin^3 i}$$

$$\Rightarrow m_1+m_2 = \frac{P}{2\pi G}\cdot\frac{v_{1r}^3\frac{(m_2+m_1)^3}{(m_2)^3}}{\sin^3 i}$$

$$\Rightarrow \frac{m_2^3(m_1+m_2)}{(m_1+m_2)^3} = \frac{P}{2\pi G}\cdot\frac{v_{1r}^3}{\sin^3 i}$$

$$\Rightarrow \frac{m_2^3}{(m_1+m_2)^3}\sin^3 i = \frac{P}{2\pi G}v_{1r}^3$$

(Proved)

প্র নক্ষত্রের আবহমণ্ডলের জন্য সাহা সমীকরণটি বের কর।

→ সাহা সমীকরণ বের করার জন্য আয়নায়নের বিভিন্ন অবস্থানে আপেক্ষিক পরমাণু সংখ্যা বিবেচনা করা হয়। যদি χ_i হলো একটি পরমাণুর সর্বনিম্ন অবস্থানের একটি ইলেকট্রনকে সরবরাহ করার শক্তি এবং $i+1$ এ আয়নায়ন করা হয়।

একটি পরমাণুক গ্যাসের জন্য সাহা সমীকরণ হবে,

$$\frac{n_{i+1}}{n_i} = \frac{2}{n_e} \cdot \frac{u_{i+1}(T)\,(2\pi m_e KT)^{3/2}}{u_i(T)\,h^3} \exp(-\chi_i/KT) \qquad (1)$$

এখানে $u_i(T)$ ও $u_{i+1}(T)$ হলো পরমাণুর আদি ও চূড়ান্ত আয়নায়নের পার্টিশন অপেক্ষক।

যদি j-তম শক্তি লেভেলের শক্তি E_j হয় এবং g_j লেভেল সমূহের ডিজেনারেসি হয় তবে পার্টিশন ফাংশন এর সংজ্ঞা হবে,

$$u_i(T) = \sum_j g_j e^{-(E_j - E_1)/KT}$$

যদি আদর্শ গ্যাসের জন্য ইলেকট্রন চাপ P_e ও ইলেকট্রন সংখ্যা ঘনত্ব n_e এর সম্পর্ক $P_e = n_e KT$ হয় তবে (1) হতে,

$$\frac{n_{i+1}}{n_i} = \frac{2}{P_e/KT} \cdot \frac{u_{i+1}(T)\,(2\pi m_e KT)^{3/2}}{u_i(T)\,h^3}\, e^{(-\chi_i/K}$$

$$\Rightarrow \frac{n_{i+1}}{n_i} = \frac{2kT}{P_e} \cdot \frac{u_{i+1}(T)\,(2\pi m_e)^{3/2}}{u_i(T)\,h^3}\, e^{(-\chi_i/kT)}$$

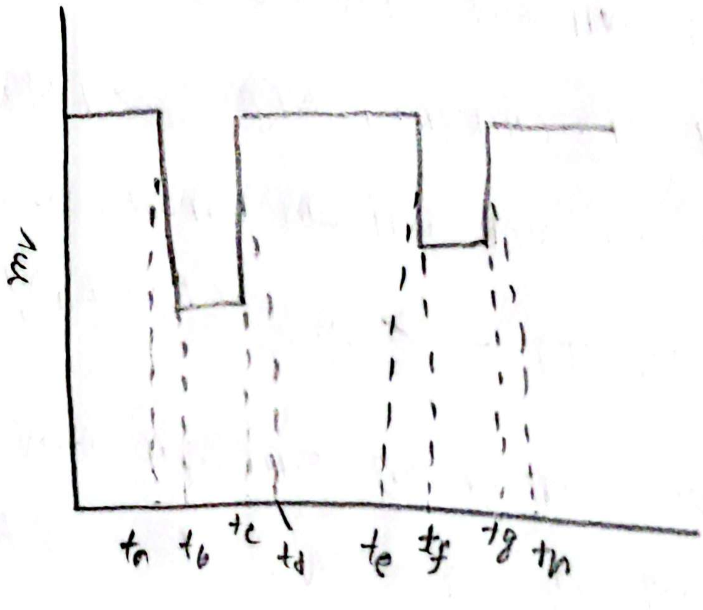
$$\Rightarrow \frac{n_{i+1}}{n_i} P_e = 2 \cdot \frac{u_{i+1}(T)\,(2\pi m_e)^{3/2}}{u_i(T)\,h^3} (kT)^{5/2} e^{(-\chi_i/kT)}$$

$$\Rightarrow \frac{n_{i+1}}{n_i} P_e = 2 \cdot \frac{u_{i+1}(T)}{u_i(T)} \left(\frac{2\pi m_e}{h^2}\right)^{3/2} (kT)^{5/2} e^{(-\chi_i/kT)}$$

ইহাই এক পরমাণুক আদর্শ গ্যাসের জন্য সাহা সমীকরণ।

প্র গ্রহণ বাইনারীর (eclipsing binaries) এর সাহায্যে তারকাদের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

→



চিত্র থেকে দেখা যায় যে, ১ম ও ২য় এর মধ্যবর্তী সময়ে অর্থাৎ $(t_b - t_a)$ সময়ে তারকাটি তার ব্যাসের সমান দূরত্ব অতিক্রম করে। ১ম ও ৩য় স্পর্শ মধ্যবর্তী সময়ে অর্থাৎ

($t_c - t_a$) সময়ে বৃহৎ তারকাটি ক্ষুদ্রতর তারকার সামনে দূরত্ব অতিক্রম করে। ধরি, V_s ও V_l ক্ষুদ্র ও বৃহৎ তারকাদ্বয়ের বেগ। ∴ $V = V_s + V_l$ ।

সুতরাং ক্ষুদ্র তারকাটি V বেগ নিয়ে ($t_b - t_a$) সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাই তারকার ব্যাস। সুতরাং তারকাটির ব্যাসার্ধ,

$$R_s = \frac{D_s}{2} = \frac{V(t_b - t_a)}{2}$$

$$= \frac{V}{2}(t_b - t_a)$$

আবার বৃহৎ তারকার ব্যাসার্ধ,

$$R_l = \frac{D_l}{2}$$

$$= \frac{V}{2}(t_c - t_a)$$

$$= \frac{V}{2}[(t_b - t_a) + (t_c - t_b)]$$

$$= r_s + \frac{V}{2}(t_c - t_b)$$

■ স্টেলার প্যারামিটার: প্রাথমিক পর্যায়ে কোন তারকার অভ্যন্তরীণ বৈশিষ্ট্য কিছু সংখ্যক প্যারামিটার যেমন: ভর, ব্যাসার্ধ, তাপমাত্রা ইত্যাদি দ্বারা বর্ণনা করা যায় তাকে স্টেলার প্যারামিটার বলে।

❖ বাইনারী স্টার: একটি বাইনারী নক্ষত্র হলো দুটি নক্ষত্রের সমন্বয়ে গঠিত সিস্টেম যাহারা তাদের ভরকেন্দ্র এর চতুর্দিকে ঘুরে।

❖ বাইনারী নক্ষত্র শ্রেণি বিন্যাস:

① অপটিক্যাল ডাবল: এই ধরনের সিস্টেম প্রকৃতপক্ষে বাইনারী নক্ষত্র নয় কিন্তু নক্ষত্র দুটি একই দৃষ্টি রেখায় অবস্থান করে। যেহেতু এদের সত্যিকার দূরত্ব অনেক বড় বলে নক্ষত্রগুলো মহাকর্ষীয়ভাবে আবদ্ধ নয় এবং এই সিস্টেমের মাধ্যমে নক্ষত্রের ভর নিরূপন করা সম্ভব নয়।

② দৃশ্যমান বাইনারী: এই ধরনের বাইনারীতে উভয় নক্ষত্রকে আলাদাভাবে বিশ্লেষন করা যায় এবং কক্ষীয় পর্যায়কাল যদি অনেক বড় না হয় তাহলে প্রত্যেকটি নক্ষত্রের গতি পর্যালোচনা করা সম্ভব। এই সিস্টেমের মাধ্যমে এদের উভয়ের ভরকেন্দ্র থেকে এদের কৌণিক ব্যবধান সম্পর্কে তথ্য লাভ করা সম্ভব। যদি বাইনারীর দূরত্ব জানা থাকে তবে নক্ষত্র দুটির রৈখিক ব্যবধান গণনা করা যায়।

③ অ্যাস্ট্রোমেট্রিক বাইনারী: এখানে যদি একটি বাইনারীর একটি সদস্যের উজ্জ্বলতা অপরটির তুলনায় বেশি হয় তবে অন্য নক্ষত্রকে সরাসরি পর্যবেক্ষণ করা সম্ভব নয়। এখানে আবশ্যিকভাবে নক্ষত্রের আপেক্ষিক দৃশ্যমান নক্ষত্রের চলিত গতি পর্যালোচনা করে বোঝা যায়। দৃশ্যমান সঙ্গী নক্ষত্রের চলিত গতির কারণ হবে অন্য একটি তারার উপস্থিতি।

④ গ্রহণ বাইনারী: এই ধরনের বাইনারীর ক্ষেত্রে বাইনারী নক্ষত্রদের প্রায় একটি দৃষ্টি রেখায় অবস্থানের কারণে একটি নক্ষত্র অন্য একটি নক্ষত্রের আলোকে পর্যায়ক্রমিকভাবে বাধাগ্রস্ত হয়। এই ধরনের সিস্টেমকে টেলিস্কোপ দ্বারা নিয়মিত পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে পর্যালোচনা করা যায়। এই ধরনের সিস্টেমের মাধ্যমে দুটি নক্ষত্রের তাপমাত্রা এবং আলোর বক্রতার গভীরতার উপর ভিত্তি করে নক্ষত্রের ধরন নির্ণয় করা হয়।

⑤ বর্ণালি বাইনারী: দুটি উপরিপাতিত স্বতন্ত্র প্রতীয়মান বর্ণালিসহ সিস্টেম হলো একটি বর্ণালি বাইনারী। যেহেতু বাইনারী সিস্টেমের নক্ষত্র দুটি উভয়ের ভরকেন্দ্রের সাপেক্ষে ঘুরে সেহেতু প্রত্যেকটি নক্ষত্রের প্রত্যেকটি বর্ণালী লাইন এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পর্যায়ক্রমিক শিফট সংঘটিত হবে। এখানে

একটি নক্ষত্রের বর্ণালী লাইন ব্লু শিফটেড হলে অন্যটির বর্ণালী রেড-শিফটেড হবে।

(৫) বর্ণালীবীক্ষণ বাইনারী: যদি একটি বাইনারী সিস্টেমের পর্যায়কাল অনেক বড় না হয় এবং যদি কক্ষীয় তল দৃষ্টি রেখা বরাবর অবস্থিত থাকে তবে পর্যায়ক্রমিকভাবে বর্ণালী লাইন এর শিফট পরিলক্ষিত হয়। একটি নক্ষত্রের তুলনায় যদি অন্যটি অধিকতর দীপ্তি বিশিষ্ট হয় তবে কম দীপ্তি সম্পন্ন বর্ণালী নিমজ্জিত হবে।

$1\ PC\ (\text{Parsec}) = 3.2615638\ ly$

$$\therefore d = \frac{1}{0.316} \times 3.2615638\ ly$$

$$= 10.32\ ly\ (\text{light year})$$

Q. What is doppler shift? - ডপলার শিফ্ট কি?

ডপলার শিফ্ট:

1842 সালে Austrian পদার্থ বিজ্ঞানী christian ডপলার দেখান যে একটি শব্দের উৎস যখন একটি মাধ্যম দিয়ে (যেমন বাতাস) গতিশীল হয় তখন পর্যবেক্ষকের দিকে যখন উৎসটি গতিশীল হয় তখন তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পেতে থাকে এবং যখন উৎসটি পর্যবেক্ষক থেকে সরে যেতে থাকে তখন তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেতে থাকে। উৎস এবং পর্যবেক্ষকের আপেক্ষিক গতির জন্য যে কোন তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এই পরিবর্তনকে ডপলার শিফ্ট বলা হয়।

প্র What is red shift and blue shift? - রেড শিফট এবং ব্লু- শিফট কি?

উত্তর:- রেড-শিফট বা ব্লু- শিফট:
যখন জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা পর্যবেক্ষন করেন যে একটি নক্ষত্র বা গ্যালাক্সি পৃথিবী থেকে দূরে সরে যায় বা পৃথিবীর দিকে ধাবমান হয় তখন জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা আলোর যে তরঙ্গদৈর্ঘ্য পর্যবেক্ষন করেন তাহা যথাক্রমে বৃদ্ধি পেতে থাকে বা হ্রাস পেতে থাকে। যদি আলোক উৎস পর্যবেক্ষক থেকে দূরে সরে যেতে থাকে তবে $\lambda_{obs} > \lambda_{rest}$ অর্থাৎ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যটি বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং ইহাকে বলা হয় রেড শিফট বা red shift। একইভাবে যদি উৎসটি পর্যবেক্ষকের দিকে গতিশীল হতে থাকে তবে তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পেতে থাকে এবং ইহাকে বলা হয় ব্লু- শিফট বা Blue shift.

V.V.I প্র হার্ভার্ড বর্ণালী শ্রেণীবিন্যাস (Harvard Spectral classification এবং এদের বৈশিষ্ট্য লিখ।

সমাধান:
হার্ভার্ড বর্ণালী তাপমাত্রার ক্রম অনুসারে নক্ষত্রগুলোকে সাজানো হয় এবং এদের সংক্ষেপে "OBAFGKM" দ্বারা প্রকাশ করা হয়। O অক্ষরটি সর্বোচ্চ তাপমাত্রা বিশিষ্ট blue নক্ষত্র থেকে ক্রম অনুসারে সাজানোর পর শীতল তম red নক্ষত্রের জন্য M অক্ষটি ব্যবহার করা হয়। পরবর্তীতে আরও কম তাপমাত্রা বিশিষ্ট নক্ষত্রের জন্য দুটি বর্ণালী রেখা যোগ করা হয়। একটি অক্ষের তাপমাত্রা অত্যন্ত কম যেমন 1300 K থেকে 2500 K - এর জন্য L বর্ণালী পাওয়া যায় এবং 1300 K- এর কম তাপমাত্রার জন্য T-

বর্ণালী পাওয়া যায়।

এইসব হার্ভার্ড বর্ণালীর বৈশিষ্ট্য নিম্নের টেবিলে প্রদান করা হলো:

হার্ভার্ড বর্ণালী শ্রেণী বিন্যাস

বর্ণালীর ধরন	বৈশিষ্ট্য
O	কয়েকটি বর্ণালী লাইন এর সর্বোচ্চ তাপমাত্রা বিশিষ্ট blue-white এর নক্ষত্র শক্তিশালী He-I শোষন (কখনও নির্গমন) লাইন। He-I শোষন লাইন অত্যন্ত শক্তিশালী।
B	উত্তপ্ত blue-white He-I শোষন লাইন যাহারা B-এ শক্তিশালী He-I (বালমার) শোষন লাইন শক্তিশালী হয়।
A	White বালমার শোষন লাইন A0-এ শক্তিশালী এবং A9 এ দুর্বল হয়ে যায়। Ca-II শোষন লাইন শক্তিশালী হয়।
F	Yellow-white Ca-II লাইন শক্তিশালী হতে থাকে যেখানে বালমার লাইন দুর্বল হতে থাকে। নিরপেক্ষ ধাতব শোষন লাইন (Fe I, Cr I),
G	Yellow Solar-type বর্ণালী Ca-II-লাইন শক্তিশালী হতে থাকে ~~যেখানে বালমার লাইন দুর্বল হতে থাকে~~। ~~নিরপেক্ষ~~ Fe I, অন্যান্য নিরপেক্ষ ধাতব লাইন শক্তিশালী হতে থাকে।

বর্ণালীর ধরন	বৈশিষ্ট্য
K	Cool - orange Ca II H এবং K লাইনগুলো K0-এ শক্তিশালী হয়ে দুর্বল হতে থাকে। বর্ণালী ধাতব শোষণ দ্বারা dominated হয়।
M	Cool Red আনবিক শোষণ ব্যান্ড দ্বারা বর্ণালী প্রাধান্য পায়, বিশেষ করে titanium oxide (TiO) এবং Vandium oxide (VO) দ্বারা। নিরপেক্ষ ধাতব লাইন শক্তিশালী থাকে।
L	Very Cool, dark red দৃশ্যমান এর চেয়ে অতিলোহিত শক্তিশালী হয়। ধাতব হাইড্রাইড (CrH, FeH), পানি (H_2O), কার্বন মনোঅক্সাইড (CO) এবং ক্ষারকীয় ধাতব (Na, K, Rb, Cs) এর শক্তিশালী শোষণ ব্যান্ড থাকে। TiO এবং VO দুর্বল হয়ে যায়।
T	Coolest, Infrared মিথেন (CH_4) ব্যান্ড শক্তিশালী থাকে কিন্তু CO ব্যান্ড দুর্বল হয়ে যায়।

প্র স্পেকট্রোস্কোপিক প্যারালাক্স কি? (What is spectroscopic perallax?)

উত্তর: স্পেকট্রোস্কোপিক প্যারালাক্স :-

দ্বি-মাত্রিক M-K শ্রেণী বিন্যাস স্কিম Hertzsprung - Russel diagram বর্ণালীর উপর ভিত্তি করে জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা একটি নক্ষত্রের অবস্থান নির্ণয় করতে পারেন। যদি নক্ষত্রের পরম মান M হয় যাহা H-R diagram-এ উল্লম্ব অক্ষ থেকে নেয়া হয় তবে আপাত মান m থেকে নিম্নের সূত্রের মাধ্যমে নক্ষত্রের দূরত্ব গননা করা যায়।

$$d = 10^{(m-M+5)/5}$$

এখানে d কে Parsec এককে পরিমাপ করা হয়। দূরত্ব মাপক এই পদ্ধতিকে spectroscopic parallax বলা হয়।

প্র: গ্রহণ পদ্ধতির সাহায্যে কার্যকর তাপমাত্রার অনুপাত বের কর।

→ গ্রহণের সময় পরিমাপকৃত আলোর পরিমাণ এবং যখন তারকাদ্বয় পূর্ণরূপে দৃশ্যমান হয় তখন পরিমাপকৃত আলোর তুলনা করে কার্যকর তাপমাত্রার অনুপাত নির্ণয় করা যায়।
আমরা জানি, বিকিরণ সূত্রমতে,

$$F_r = F_{surface} = \sigma T^4 \quad —— (1)$$

যেখানে, σ হলো স্টেফান বোল্টজম্যান ধ্রুবক এবং T কার্যকর তাপমাত্রা।

যখন তারকাদ্বয় পূর্ণরূপে দৃশ্যমান তখন পরিমাপকৃত আলোক মাত্রা,

$$B_0 = K(\pi R_l^2 F_{rl} + \pi R_s^2 F_{rs}) \quad —— (2)$$

যেখানে K একটি ধ্রুব সংখ্যা।

আবার যদি ক্ষুদ্র তারকাটি অন্তরিত হয় সেক্ষেত্রে পরিমাপকৃত আলোক মাত্রা,

$$B_p = K\pi R_l^2 F_{rl} \quad —— (3)$$

ক্ষুদ্র তারকাটি বৃহৎ তারকার সামনে গতিশীল থাকাকালীন যেটি গ্রহণ সংঘটিত হয়,

$$B_s = K(\pi R_l^2 F_{rl} + \pi R_s^2 F_{rs}) - K\pi R_l^2 F_{rl}$$

$$= K(\pi R_l^2 - \pi R_s^2) F_{rl} + K\pi R_s^2 F_{rs} \quad —— (4)$$

সমীকরণ ② - ③ হতে,

$$B_0 - B_p = K(\pi R_l^2 F_{\pi l} + \pi R_s^2 F_{\pi s}) - K\pi R_l^2 F_{\pi l}$$

$$= K(\pi R_s^2 F_{\pi s}) \quad \text{——} \quad ⑤$$

আবার, সমীকরণ ① - ④

$$B_0 - B_s = K(\pi R_l^2 F_{\pi l} + \pi R_s^2 F_{\pi s}) - [K(\pi R_l^2 - \pi R_s^2) F_{\pi l} + K\pi R_s^2 F_{\pi s}]$$

$$= K\pi R_l^2 F_{\pi l} + K\pi R_s^2 F_{\pi s} - K\pi R_l^2 F_{\pi l} + K\pi R_s^2 F_{\pi l} + K\pi R_s^2 F_{\pi s}$$

$$= K\pi R_s^2 F_{\pi l} \quad \text{——} \quad ⑥$$

এখন,

$$\frac{B_0 - B_p}{B_0 - B_s} = \frac{K(\pi R_s^2 F_{\pi s})}{K\pi R_s^2 F_{\pi l}}$$

$$= \frac{F_{\pi s}}{F_{\pi l}}$$

$$= \frac{\sigma T_s^4}{\sigma T_l^4}$$

$$= \frac{T_s^4}{T_l^4}$$

সুতরাং ক্ষুদ্র উজ্জ্বলতর তারকা ও বৃহৎ স্তিমিততর তারকার কার্যকর তাপমাত্রার অনুপাত, $\frac{T_s}{T_l} = \left[\frac{B_0 - B_p}{B_0 - B_s}\right]^{1/4}$