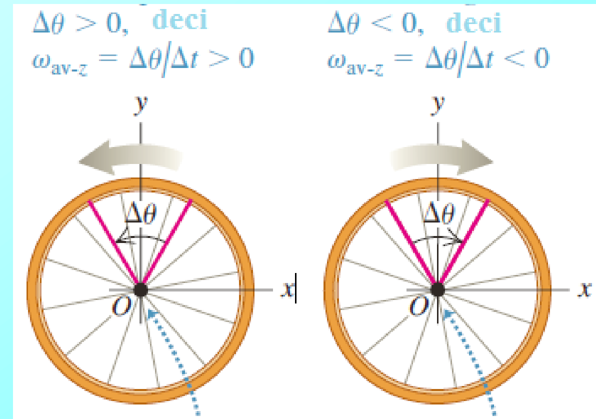
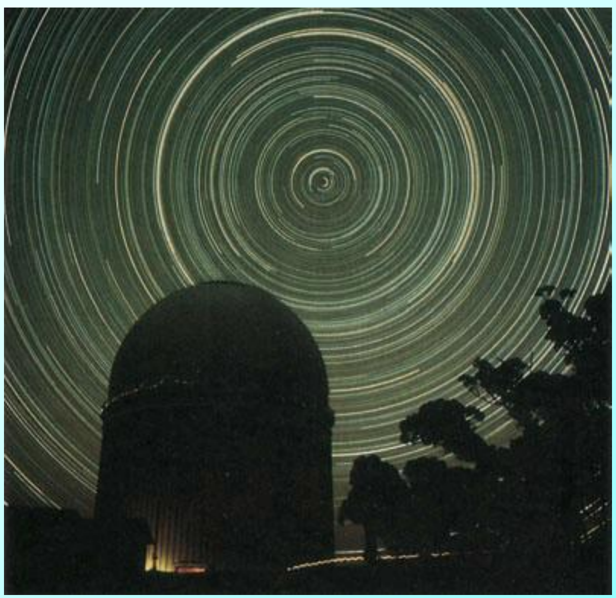
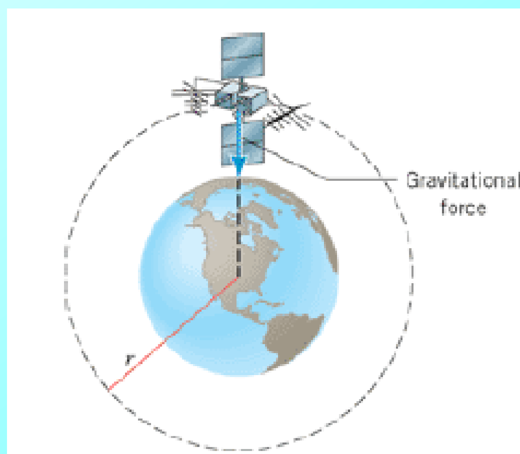
FIZICĂ PENTRU INGINERI

Prezentat de

Trif-Tordai Delia







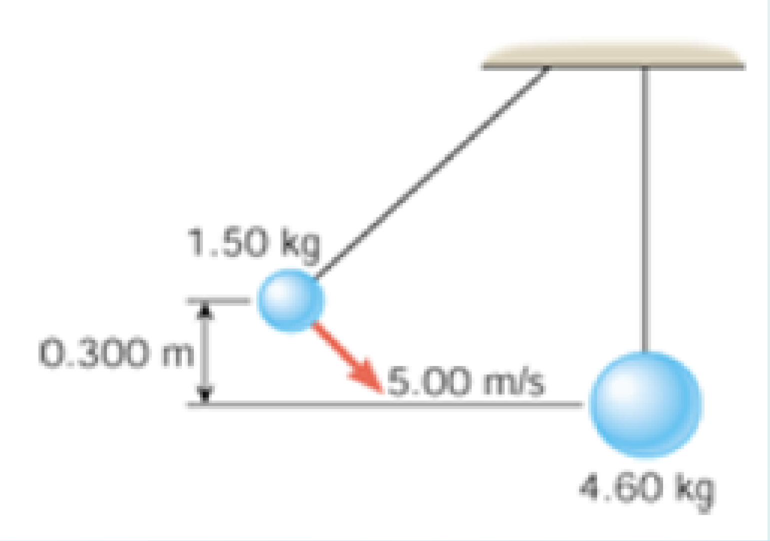
Universitatea Politehnica Timişoara, România

CURSUL 4
2024-2025

2. Mecanică clasică

2.5. Dinamica sistemelor de puncte materiale
2.6. Mişcarea de rotaţie
2.7. Legile lui Kepler - recapitulare
2.8. Determinarea vitezelor cosmice

Recapitulare curs 3

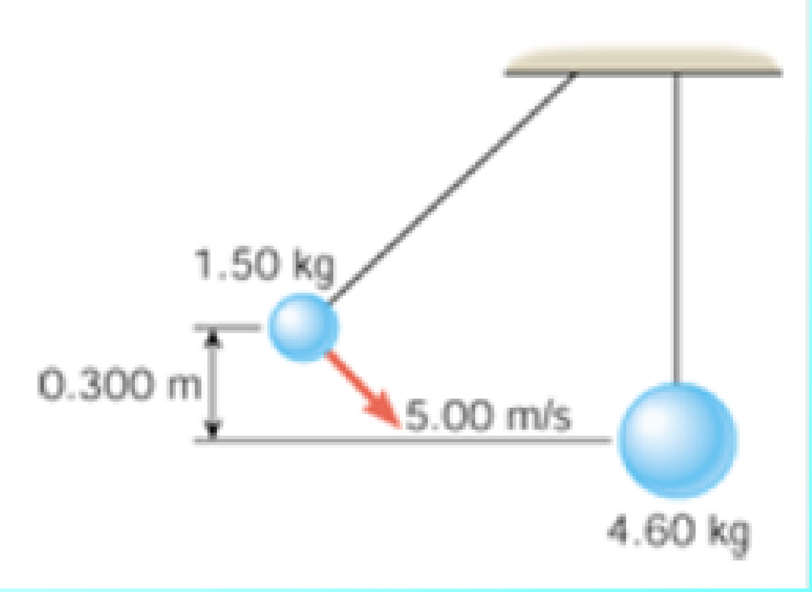


Aplicaţie 1:

Un corp cu masa m_1=1,5 kg, si cu viteza iniţială 5m/s, se deplasează de la înălţimea de 0.3 m şi loveşte un alt corp de masă m_2=4,6 kg aflat în repaus, ca în figura alăturată. Să se determine: a) Viteza corpului m_1 înainte de ciocnire, folosind teorema conservării energiei; b)Viteza finală a corpurilor, presupunând că este o ciocnire plastică; c) La ce înălțime ajung cele două corpuri după ciocnire, neglijând frecarea cu aerul.

Recapitulare curs 3

Aplicaţie 1 - rezolvare



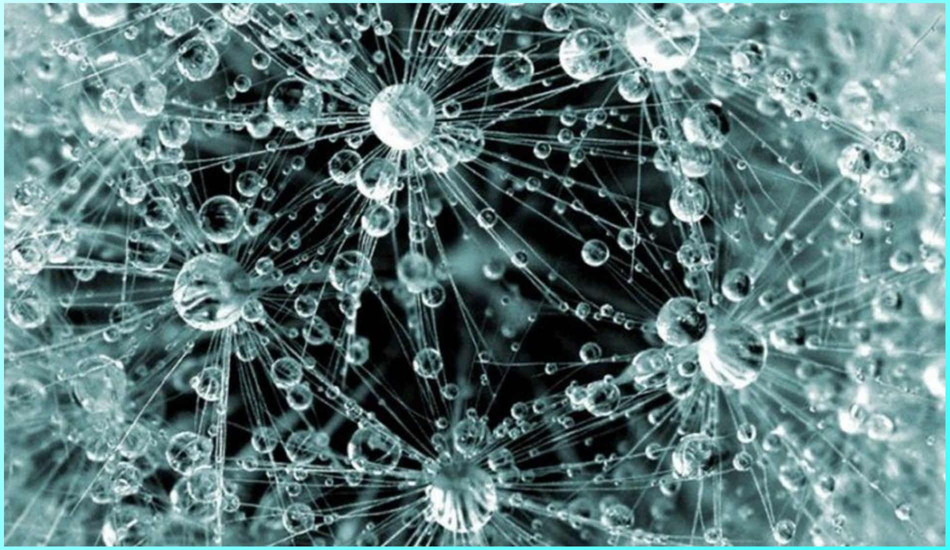
a) $\dfrac{m_1 v_i^2}{2} + m_1 g h_1 = \dfrac{m_1 v_1^2}{2} \qquad v_1 = 5{,}57\ \mathrm{m/s}$

b) $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) \cdot v_f \qquad v_f = \dfrac{1.5}{6.1} \cdot 5.57 = 1.37\ \mathrm{m/s}$

c) $h_f = \dfrac{v_f^2}{2g} = \left(\dfrac{m_1}{m_1+m_2}\right)^2 \left(v_1^2 + 2gh_1\right)\dfrac{1}{2g} = \left(\dfrac{1.5}{6.1}\right)^2 \left(\dfrac{25}{20} + 0.3\right) = 0.094\ \mathrm{m} \approx 0.1\ \mathrm{m}$

2.5. Dinamica sistemelor de puncte materiale

Dacă sistemul mecanic conţine N puncte materiale, atunci asupra fiecărui punct material *i*, de masă m_i, acţionează atât forţe externe $\vec{F}_{ext}$, cât şi forţe interne din partea celorlalte puncte materiale ale sistemului, $\vec{F}_{ij}, i \neq j \; (\vec{F}_{int})$.



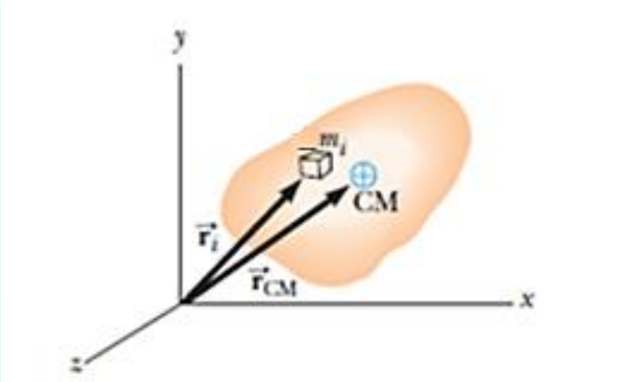
Masa totală a sistemului este:

$$M = \sum m_i$$

Rezultanta fortelor interne si momentul rezultant al acestora faţă de orice pol sunt nule

2.5. Dinamica sistemelor de puncte materiale

Se defineşte ***centrul de masă (CM)*** al unui sistem mecanic format din N puncte materiale, cu distribuţie discretă a masei acestora, prin vectorul de poziţie:



$$\vec{r}_{CM} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + m_3\vec{r}_3 + \cdots}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{N} m_i\vec{r}_i$$

Proiecțiile vectorului de poziție pe cele trei axe sunt:

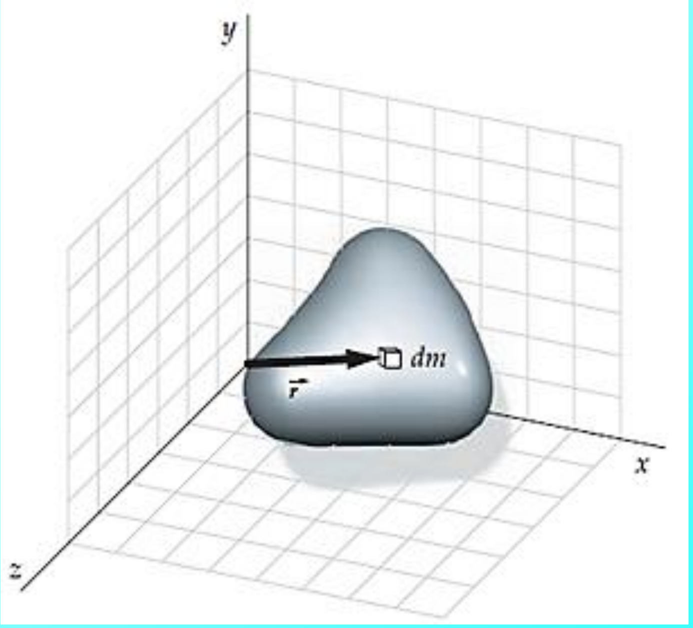
$$\vec{x}_{CM} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{N} m_i\,\vec{x}_i \qquad \vec{y}_{CM} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{N} m_i\,\vec{y}_i \qquad \vec{z}_{CM} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{N} m_i\,\vec{z}_i$$

$\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i$ - descrie poziţia punctului material.

2.5. Dinamica sistemelor de puncte materiale

Pentru un sistem cu distribuţie continuă a masei, **vectorului de poziţie al centrului de masă** este definit prin relaţia:

$$\vec{r}_{CM} = \frac{1}{M}\int \vec{r}\, dm = \frac{1}{M}\int \vec{r}\, \rho\, dV$$



unde

$M = \int \rho\, dV$ este masa sistemului mecanic

ρ – densitatea volumică a sistemului

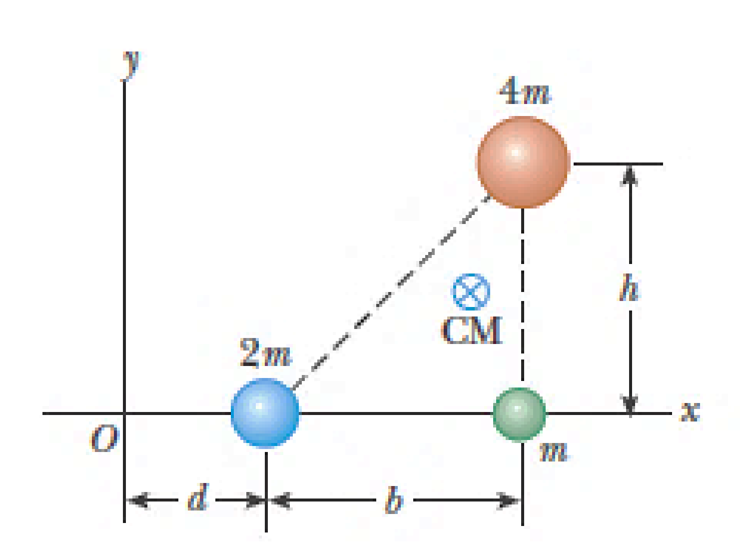
Dacă un corp este omogen, atunci are aceeași densitate, iar centrul maselor corespunde cu centrul lui geometric.

2.5. Dinamica sistemelor de puncte materiale

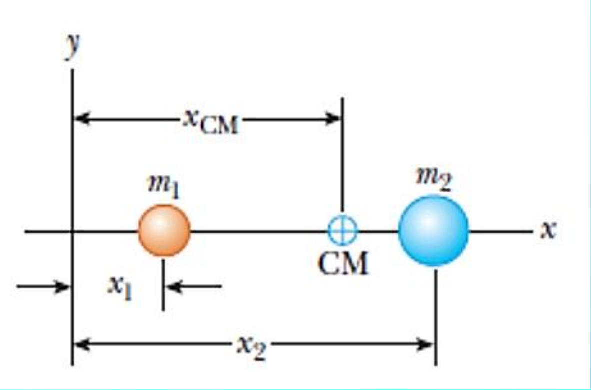
Aplicaţie 1:

$$x_{CM} = \frac{\sum_i m_i x_i}{M} = \frac{2md + m(d+b) + 4m(d+b)}{7m} = d + \frac{5}{7}b$$

$$y_{CM} = \frac{\sum_i m_i y_i}{M} = \frac{2m(0) + m(0) + 4mh}{7m} = \frac{4}{7}h$$



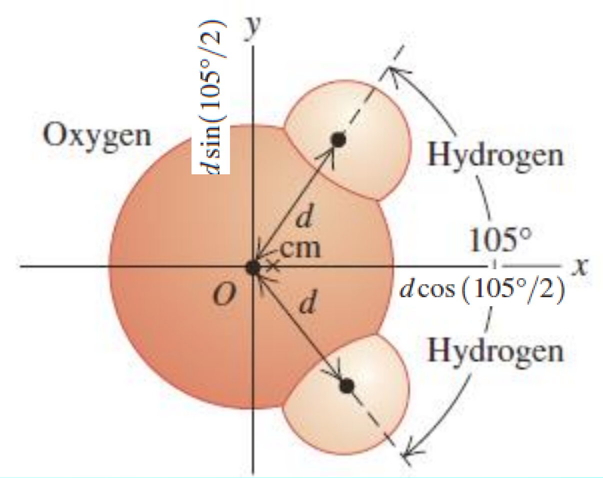
Aplicaţie 2:



2.5. Dinamica sistemelor de puncte materiale

Aplicaţie 3: Centru de masă al moleculei de apă

Distanța de separare dintre oxigen și hidrogen este $d = 9.57 \cdot 10^{-11}$m. Fiecare atom de hidrogen are masa 1 u.a.m, respectiv atomul de oxigen are m=16 u.a.m. Să se găsească poziția centrului de masă. (1u.a.m=1,66·10^{-27} kg).



Centru de masă pentru molecula de oxigen este $x = 0, y = 0.$

$$x_{cm} = \frac{\left[\begin{array}{l}(1.0\text{ u})(d\cos 52.5°) + (1.0\text{ u}) \\ \times (d\cos 52.5°) + (16.0\text{ u})(0)\end{array}\right]}{1.0\text{ u} + 1.0\text{ u} + 16.0\text{ u}} = 0.068d$$

$$y_{cm} = \frac{\left[\begin{array}{l}(1.0\text{ u})(d\sin 52.5°) + (1.0\text{ u}) \\ \times (-d\sin 52.5°) + (16.0\text{ u})(0)\end{array}\right]}{1.0\text{ u} + 1.0\text{ u} + 16.0\text{ u}} = 0$$

$$\longrightarrow \quad x_{cm} = (0.068)(9.57 \times 10^{-11}\text{ m}) = 6.5 \times 10^{-12}\text{ m}$$

2.5. Dinamica sistemelor de puncte materiale

CM joacă un rol important în studiul mişcării sistemului mecanic.

- **Impulsul mecanic al unui sistem mecanic**

Derivând în raport cu timpul relaţia de definire a CM

$$M\dot{\vec{r}}_{CM} = M\vec{v}_{CM} = \sum_{i=1}^{N} m_i\vec{v}_i = \sum_{i=1}^{N} \vec{p}_i = \vec{P}$$

- **Forţa rezultantă a unui sistem mecanic**

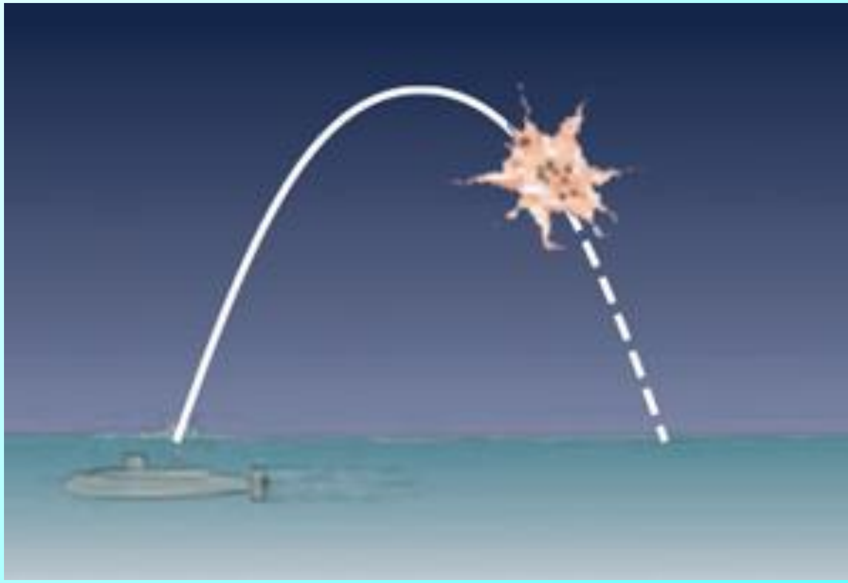
$$M\ddot{\vec{r}}_{CM} = M\vec{a}_{CM} = \dot{\vec{P}} = \vec{F}$$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_{ext} + \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_{int}$$

$$\Longrightarrow \vec{F} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_{ext} = \mathrm{M}\vec{a}_{CM}$$

2.5. Dinamica sistemelor de puncte materiale

O racheta este lansată vertical în sus. In momentul când ajunge la altitudinea de 1000 m, cu viteza de 300 m/s, explodează şi se descompune în trei fragmente cu aceasi masa. Un fragment se mişcă în sus cu o viteză de 450 m/s, cel de al doilea fragment are o viteză



de 240 m/s şi se deplasează spre est. Să se determine viteza celui de al treilea fragment imediat după expozie.

Rezolvare: $\vec{P} = ct$

$$\vec{P}_i = M\vec{v}_i = M(300\vec{j}\ \mathrm{m/s})$$

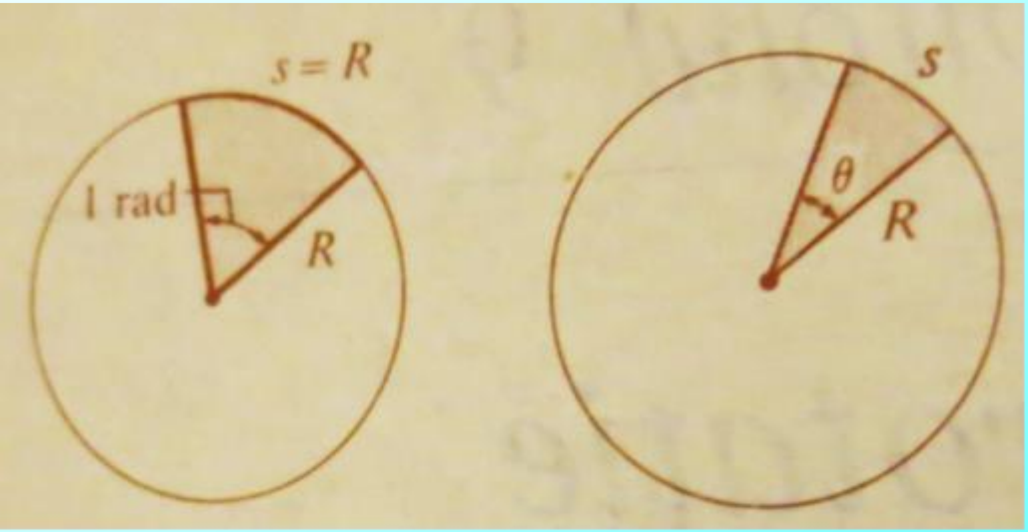
$$\vec{P}_f = \frac{M}{3}(240\vec{i}\ \mathrm{m/s}) + \frac{M}{3}(450\vec{j}\ \mathrm{m/s}) + \frac{M}{3}\vec{v}_f$$

$$\vec{v}_f = (-240\vec{i} + 450\vec{j})\ \mathrm{m/s}$$

2.6. Mişcarea de rotaţie

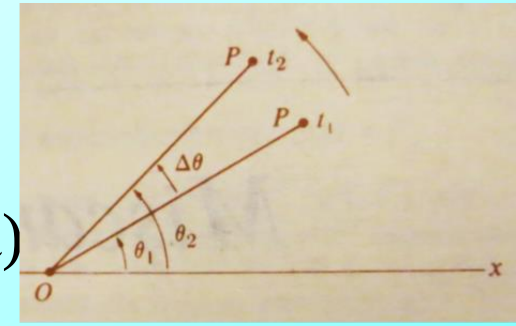
Radianul este unghiul plan cuprins între două raze care delimitează pe un cerc un arc cu lungimea egală cu raza.

$$\theta = \frac{S}{R}$$



$$1\ \text{rad} = \frac{360°}{2\pi} = 57.3°$$

2.6. Mişcarea de rotaţie



1) Viteza unghiulară:

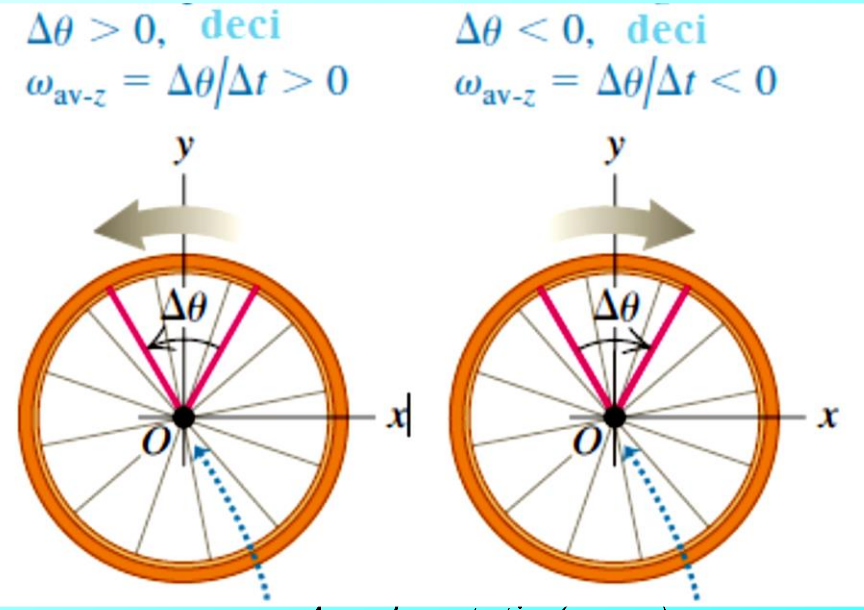
a) medie $\overline{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$ ($\Delta\theta$ – deplasare unghiulară)

b) instantanee $\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$

Unitatea de măsură în SI este *1 rad·s⁻¹* sau *rot·min⁻¹*

Invers acelor de ceas,

direcție pozitivă



Acelor de ceas

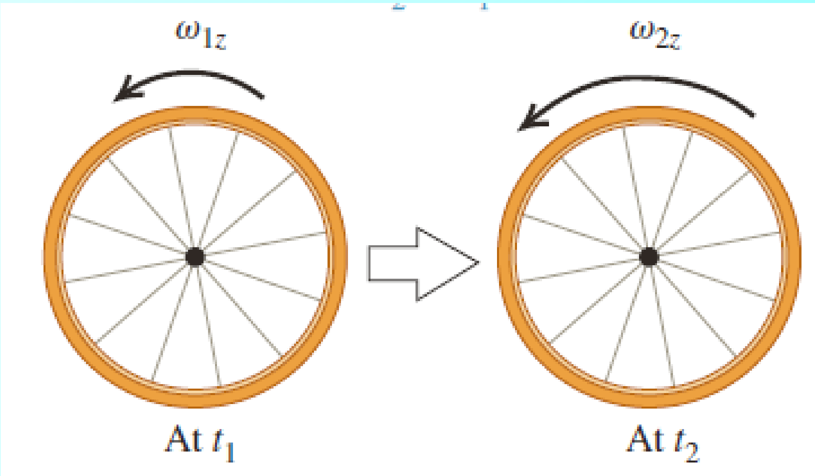
direcție negativă

Axa de rotație (axa z)

2.6. Mişcarea de rotaţie

Când viteza unghiulară a unui corp variază, spunem că el are o accelerație unghiulară.

2) **Acceleraţia unghiulară**:



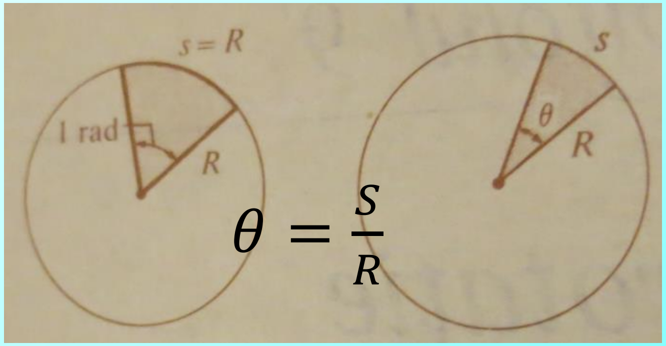
a) medie $\bar{\varepsilon} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$

b) instantanee $\varepsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$

Unitatea de măsură în SI este *1 rad·s⁻²*

2.6. Mişcarea de rotaţie

Rotaţia cu acceleraţie unghiulară constantă



$$\theta = \frac{S}{R}$$

- Viteza unghiulară: $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$ (1)

Dem.: $d\omega/dt = \varepsilon = \text{ct.} \;\Rightarrow \int_{\omega_0}^{\omega} d\omega = \int_0^t \varepsilon dt \;\Rightarrow\; \omega = \omega_0 + \varepsilon t$

- Coordonata unghiulară: $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\varepsilon t^2$ (2)

Dem.: $d\theta/dt = \omega \;\Rightarrow \int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = \int_0^t \omega dt \;\Rightarrow\; \theta = \theta_0 + \int_0^t (\omega_0 + \varepsilon t) dt$

- $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\varepsilon(\theta - \theta_0)$ (3)

Dem.: Din regula de derivare a funcțiilor compuse: $\varepsilon = \frac{d\omega}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \omega \cdot \frac{d\omega}{d\theta}$

$$\int_{\theta_0}^{\theta} \varepsilon d\theta = \int_{\omega_0}^{\omega} \omega d\omega \;\Rightarrow \varepsilon(\theta - \theta_0) = \frac{1}{2}\left(\omega^2 - \omega_0^2\right) \;\Rightarrow \omega^2 = \omega_0^2 + 2\varepsilon(\theta - \theta_0)$$

2.6. Mişcarea de rotaţie

Aplicaţie:

Viteza unghiulară a unui corp este de *4 rad*·*s*$^{-1}$ la momentul *t=0*, iar acceleraţia lui unghiulară este constantă şi egală cu *2 rad*·*s*$^{-2}$. Dreapta OP din corp este orizontală la timpul *t=0*. a) Ce unghi formează această dreaptă cu orizontala, la momentul t=3s? b) Care este viteza unghiulară, în acest moment?

a) $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\varepsilon t^2 = 0 + (4rad \cdot s^{-1})(3s) + \frac{1}{2}(2rad \cdot s^{-2})(3s)^2$

$$\theta = 21\ \mathrm{rad} = \frac{21}{2\pi}\mathrm{rot} = 3{,}34\mathrm{rot}$$

b) $\omega = \omega_0 + \varepsilon t = 4\,rad \cdot s^{-1} + (2\,rad \cdot s^{-2})(3\,s) = 10\ \mathrm{rad{\cdot}s}^{-1}$

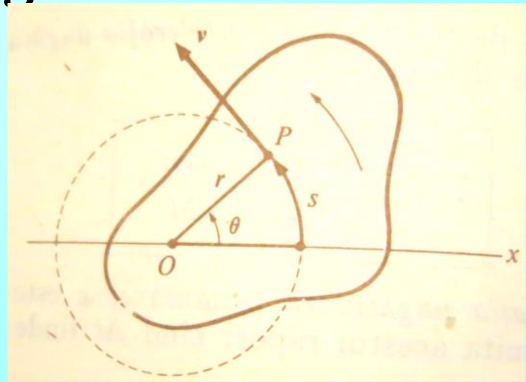
Sau

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\varepsilon(\theta - \theta_0) = (4\,rad \cdot s^{-1})^2 + 2(2\,rad \cdot s^{-2})(21\,rad)$$

$$\omega = 10\ \mathrm{rad{\cdot}s}^{-1}$$

2.6. Mişcarea de rotaţie

Relaţiile dintre vitezele şi acceleraţiile liniare şi unghiulare

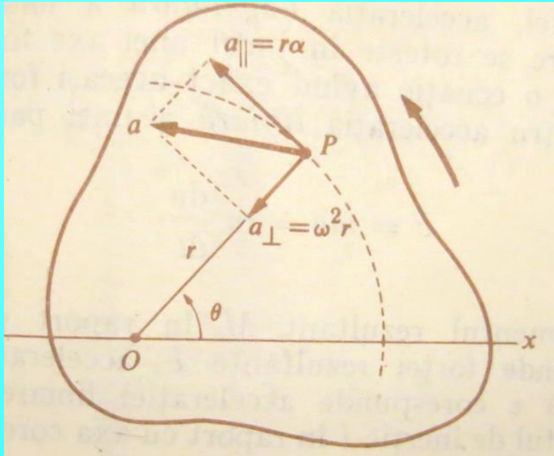


Considerăm un corp rigid care se rotește în jurul unei axe fixe, fiecare punct din corp se mișcă pe un cerc care are centrul pe axă. Fie *r* distanța de la axă până la un punct P din corp, astfel încât punctul se mișcă pe un cerc de rază *r*, ca în figura. Atunci când raza formează unghiul θ cu axa de referință, distanța *s* până la punctul P este $s = r\theta$

Derivând $s = r\theta$ rezultă $\frac{ds}{dt} = r\frac{d\theta}{dt}$, adică $v = r\omega$

Derivând $v = r\omega$ rezultă $\frac{dv}{dt} = r\frac{d\omega}{dt}$, adică $a_\parallel = a_t = r\varepsilon$

$$a_r = a_\perp = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

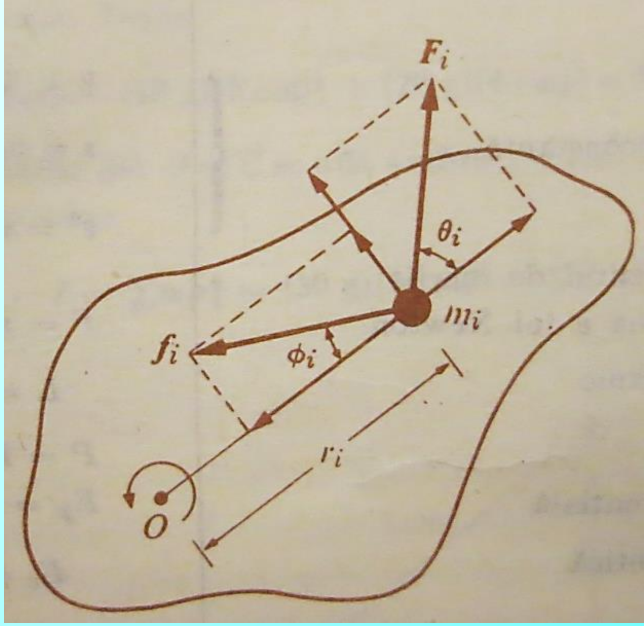


$a_\parallel = a_t$ este componenta tangențială a accelerației;

$a_r = a_\perp$ este componenta radială a accelerației;

Obs.: accelerația unghiulară se mai notează si cu α

2.6. Mişcarea de rotaţie



Momentul de inerţie: $I = \sum_i^N m_i r_i^2$

Unitatea de măsură în SI este kg·m^2.

Momentul de inerţie este o mărime fizică ce caracterizează distribuţia masei în jurul unei axe.

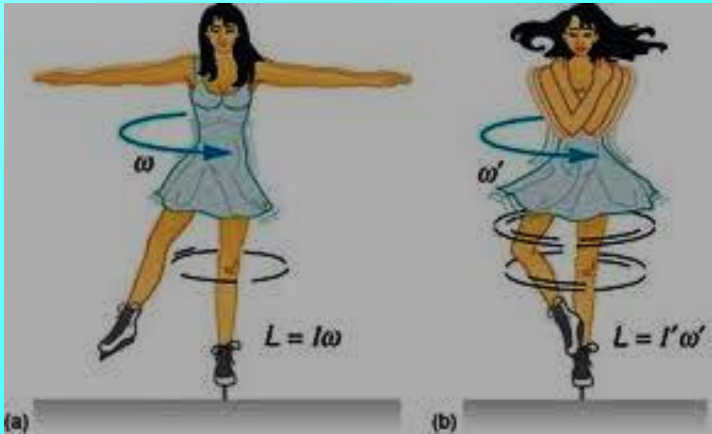
Momentul foţei: $\mathrm{M} = I\varepsilon = I\frac{d\omega}{dt}$

Când un corp rigid este rotit în jurul unei axe fixe, momentul rezultant al forţelor externe în raport cu axa este egal cu produsul dintre momentul de inerţie al corpului în raport cu axa şi acceleraţia unghiulară.

Momentul cinetic: $L = I\omega$

Ex. de conservare a momentului cinetic $L = \mathrm{ct.}$ ***:***

O patinatoare care execută piruete, atunci când doreşte să îşi mărească viteza de rotaţie îşi apropie mâinile de corp (se modifică modul în care este distribuită masa, *I* scade), iar când doreşte să îşi micşoreze viteza îşi îndepărtează mâinile de corp (*I* crește).

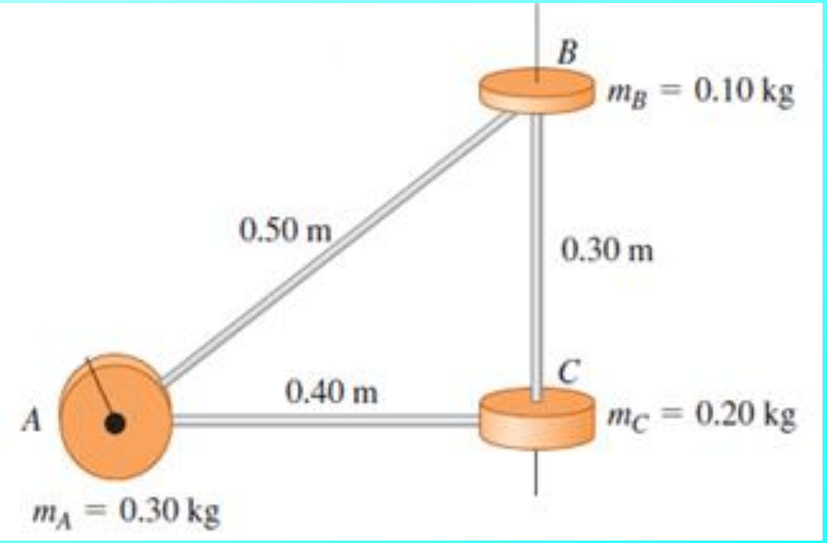


2.6. Mişcarea de rotaţie

Aplicaţie:

Trei mici corpuri, care pot fi considerate particule, sunt legate prin tije uşor rigide, ca în figură. Care este momentul de inerţie al sistemului: a) în raport cu o axă ce trece prin punctul A, perpendiculară pe planul figurii, şi b) în raport cu o axă care coincide cu tija BC?

Momentul de inerţie: $I = \sum_i^N m_i r_i^2$



2.6. Mişcarea de rotaţie

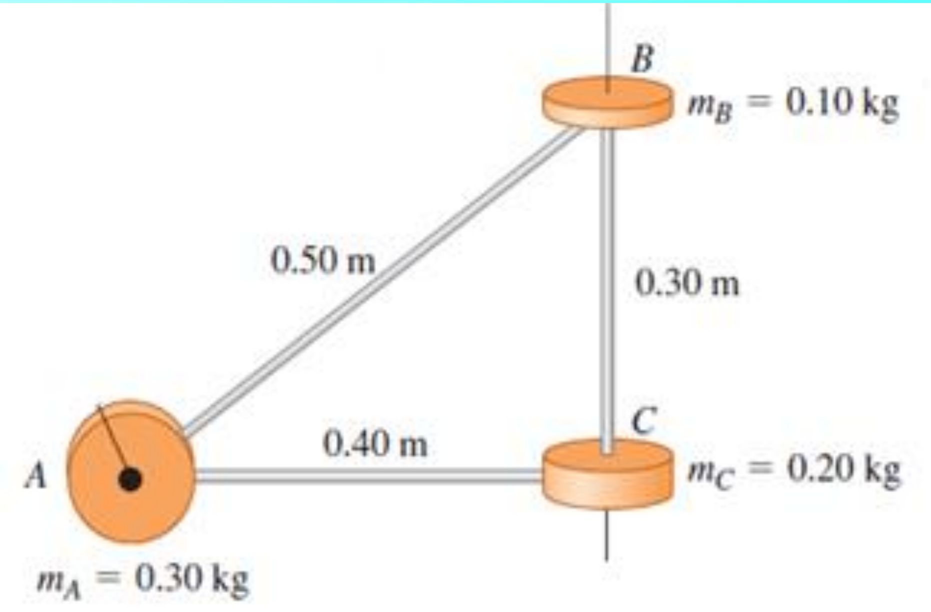
Aplicaţie: Rezolvare

a) Particula din punctul A se află pe axă. Distanţa ei până la axă este zero, adică ea nu contribuie cu nimic la momentul de inerţie.

$$I = \sum_i^3 m_i r_i^2 = m_B \cdot (BA)^2 + m_c \cdot (CA)^2 + 0$$

b) Particulele B şi C se află pe axă, rezultă

$$I = \sum_i^3 m_i r_i^2 = m_A \cdot (AC)^2$$



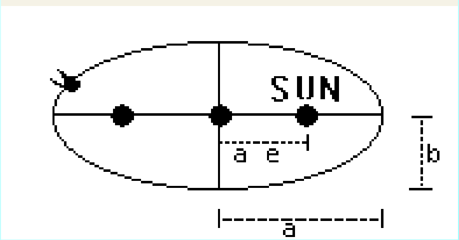
2.6. Mişcarea de rotaţie

Mărimi specifice mişcărilor de translaţie şi de rotaţie

Mişcarea de rotaţie	Mişcarea liniară
Deplasare unghiulară, $\Delta\theta$	Deplasare, Δr
Viteza unghiulară $\omega = d\theta/dt$	Viteză liniară $v = dr/dt$
Acceleraţie unghiulară $\varepsilon = d\omega/dt$	Acceleraţie liniară $a = dv/dt$
Momentul de inerţie, I	Masa, m
Momentul forţei $M = I\varepsilon$	Forţă $F = m \cdot a$
Lucru mecanic $L = \int M \cdot d\theta$	Lucru mecanic $L = \int F \cdot dr$
Energia cinetică $E_c = \frac{1}{2} I\omega^2$	Energia cinetică $E_c = \frac{1}{2} mv^2$
Puterea $P = M\omega$	Puterea $P = F \cdot v$
Momentul cinetic $L = I\omega$	Impuls $p = m \cdot v$

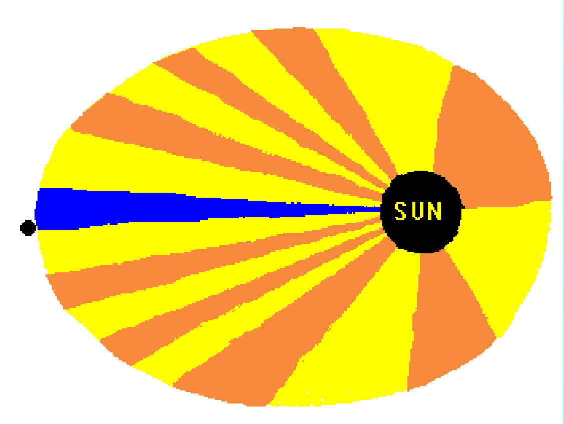
2.7. Legile lui Kepler

Legea 1: Planeta se mișcă în jurul stelei pe o orbită eliptică, în care steaua reprezintă unul din focare. (1609)



$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$ (ecuația elipsei)

Legea a 2-a: Linia dreaptă care unește planeta cu steaua (raza vectoare a planetei) mătură arii egale în perioade de timp egale. (1609)

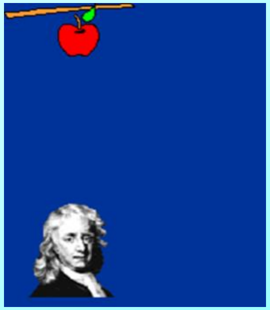


Legea a 3-a: Pătratul perioadei de revoluție a planetei este direct proporțional cu cubul semiaxei mari a orbitei. (1619)

$$T^2 = Ca^3$$

C-constanta si are aceleasi valori pentru toate planetele.

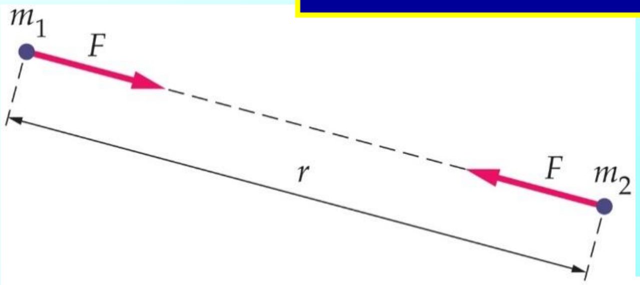
Recapitulare din cursul 2



Newton, 1665

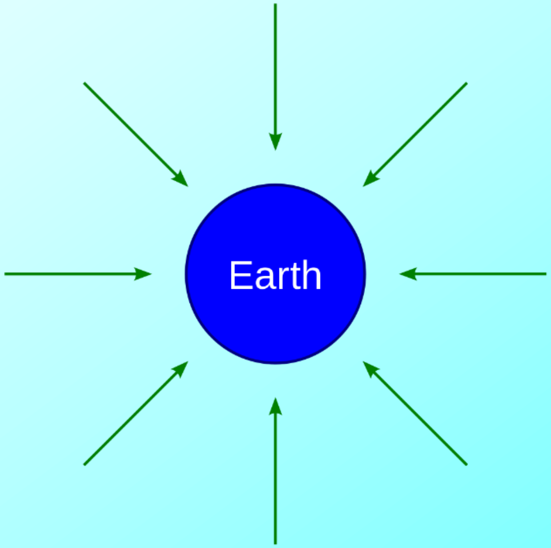
Forţa de atracţie gravitaţională:

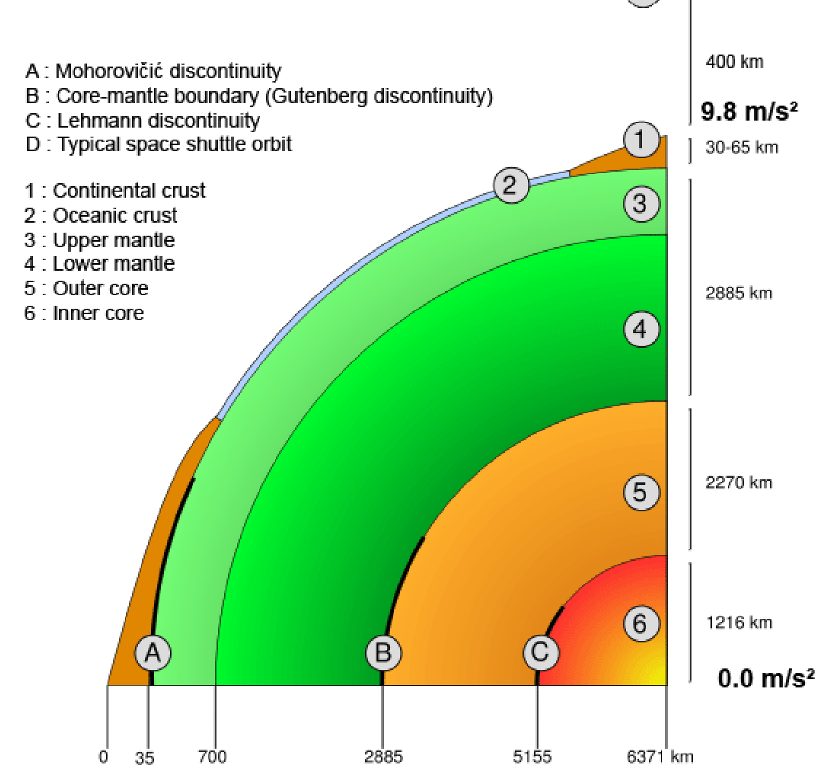
$$F = K\,\frac{m_1\, m_2}{r^2}$$



Constanta atracţiei universale:

$$K = 6{,}673\cdot 10^{-11}\ \frac{N\,m^2}{kg^2}$$



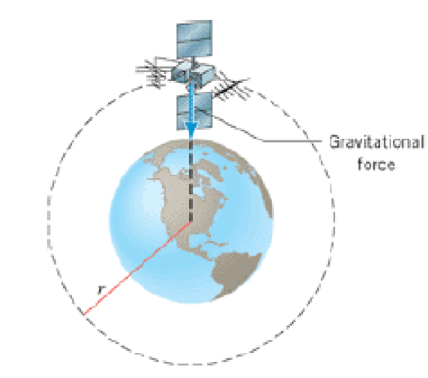


2.8. Determinarea vitezelor cosmice

<u>Prima viteză cosmică </u>- viteza minimă necesară unui satelit pentru a se roti în jurul Pământului

a) ***r = R*** (R- raza Pământului)

Condiția ca un satelit să rămână pe orbită este:



$$K\frac{mM_P}{r^2} = \frac{m{v_0}^2}{r}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{KM_P}{R}} = \sqrt{\frac{(6{,}67 \cdot 10^{-11} N \cdot \frac{m^2}{kg^2})(5{,}97 \cdot 10^{24} kg)}{6{,}37 \cdot 10^6 m}}$$

$$\boxed{v_0 \approx 7{,}9 \cdot 10^3\ \mathrm{m/s}}$$

sau

$$v_0 = \sqrt{\frac{KM_P}{R}} = \sqrt{\frac{KM_P R}{R^2}} = \sqrt{gR}$$

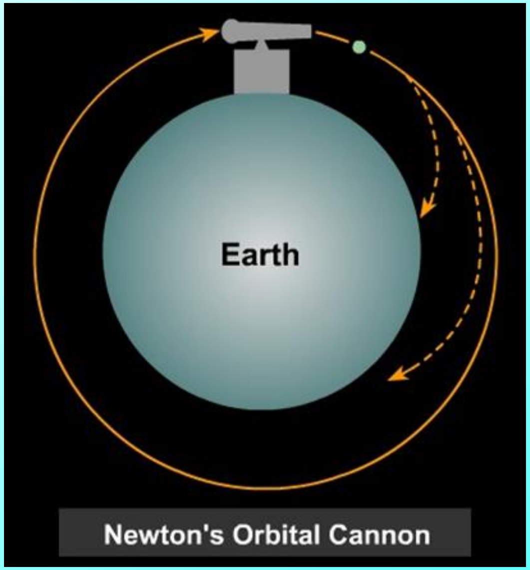
2.8. Determinarea vitezelor cosmice

Prima viteză cosmică - viteza minimă necesară unui satelit pentru a se roti în jurul Pământului

b) ***r = R+h***

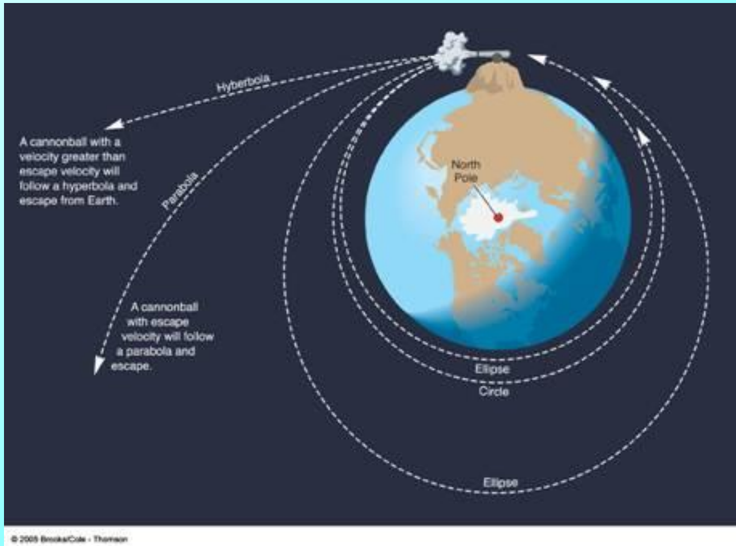
$$K\frac{mM_P}{(R+h)^2}=\frac{m{v_1}^2}{R+h}$$

$$v_1=\sqrt{\frac{KM_P}{R+h}}=v_{01}\sqrt{\frac{R}{R+h}}$$



2.8. Determinarea vitezelor cosmice

A doua viteză cosmică – viteza minimă necesară unui corp pentru a părăsi complet campul de atracţie al Pământului, intrand în sfera de atracţie a altor planete sau a Soarelui.



$$\Delta E_c = L \qquad E_{cf} - E_{ci} = L_G = \int \vec{F}_g \cdot d\vec{r}$$

$$0 - \frac{mv_2^2}{2} = -\int_R^\infty K\frac{mM_P}{r^2}dr = -K\frac{mM_P}{R}$$

$$v_2 = \sqrt{2\frac{KM_P}{R}} = \sqrt{2gR} = v_1\sqrt{2} \approx 11{,}2\ \mathrm{km/s}$$

Sau $E_{c_i} + E_{p_i} = E_{c_f} + E_{p_f}$ când $r \to \infty \Rightarrow E_{p_f} = 0 \quad si \quad E_{c_f} = 0$

2.8. Determinarea vitezelor cosmice

List of escape velocities [edit]

Location	Relative to	V_e (km/s)[13]
On the Sun	The Sun's gravity	617.5
On Mercury	Mercury's gravity	4.25
On Venus	Venus's gravity	10.36
On Earth	Earth's gravity	11.186
On the Moon	The Moon's gravity	2.38
On Mars	Mars' gravity	5.03
On Ceres	Ceres's gravity	0.51
On Jupiter	Jupiter's gravity	60.20
On Io	Io's gravity	2.558
On Europa	Europa's gravity	2.025
On Ganymede	Ganymede's gravity	2.741
On Callisto	Callisto's gravity	2.440
On Saturn	Saturn's gravity	36.09
On Titan	Titan's gravity	2.639
On Uranus	Uranus' gravity	21.38
On Neptune	Neptune's gravity	23.56
On Triton	Triton's gravity	1.455
On Pluto	Pluto's gravity	1.23

Location	Relative to	V_e (km/s)[13]	System escape, V_{te} (km/s)
At Mercury	The Sun's gravity	~ 67.7	~ 20.3
At Venus	The Sun's gravity	49.5	17.8
At Earth/the Moon	The Sun's gravity	42.1	16.6
At the Moon	The Earth's gravity	1.4	2.42
At Mars	The Sun's gravity	34.1	11.2
At Ceres	The Sun's gravity	25.3	7.4
At Jupiter	The Sun's gravity	18.5	60.4
At Io	Jupiter's gravity	24.5	7.6
At Europa	Jupiter's gravity	19.4	6.0
At Ganymede	Jupiter's gravity	15.4	5.3
At Callisto	Jupiter's gravity	11.6	4.2
At Saturn	The Sun's gravity	13.6	36.3
At Titan	Saturn's gravity	7.8	3.5
At Uranus	The Sun's gravity	9.6	21.5
At Neptune	The Sun's gravity	7.7	23.7
At Triton	Neptune's gravity	6.2	2.33
At Pluto	The Sun's gravity	~ 6.6	~ 2.3

https://en.wikipedia.org/wiki/Escape_velocity

2.8. Determinarea vitezelor cosmice

Aplicaţie: Un proiectil este lansat direct în sus de la Polul Sud cu viteza iniţială v_i=8 km/s. Să se găsească înălțimea maximă la care ajunge, neglijând efectele frecării cu aerul.

$$E_{c_i} + E_{p_i} = E_{c_f} + E_{p_f}$$

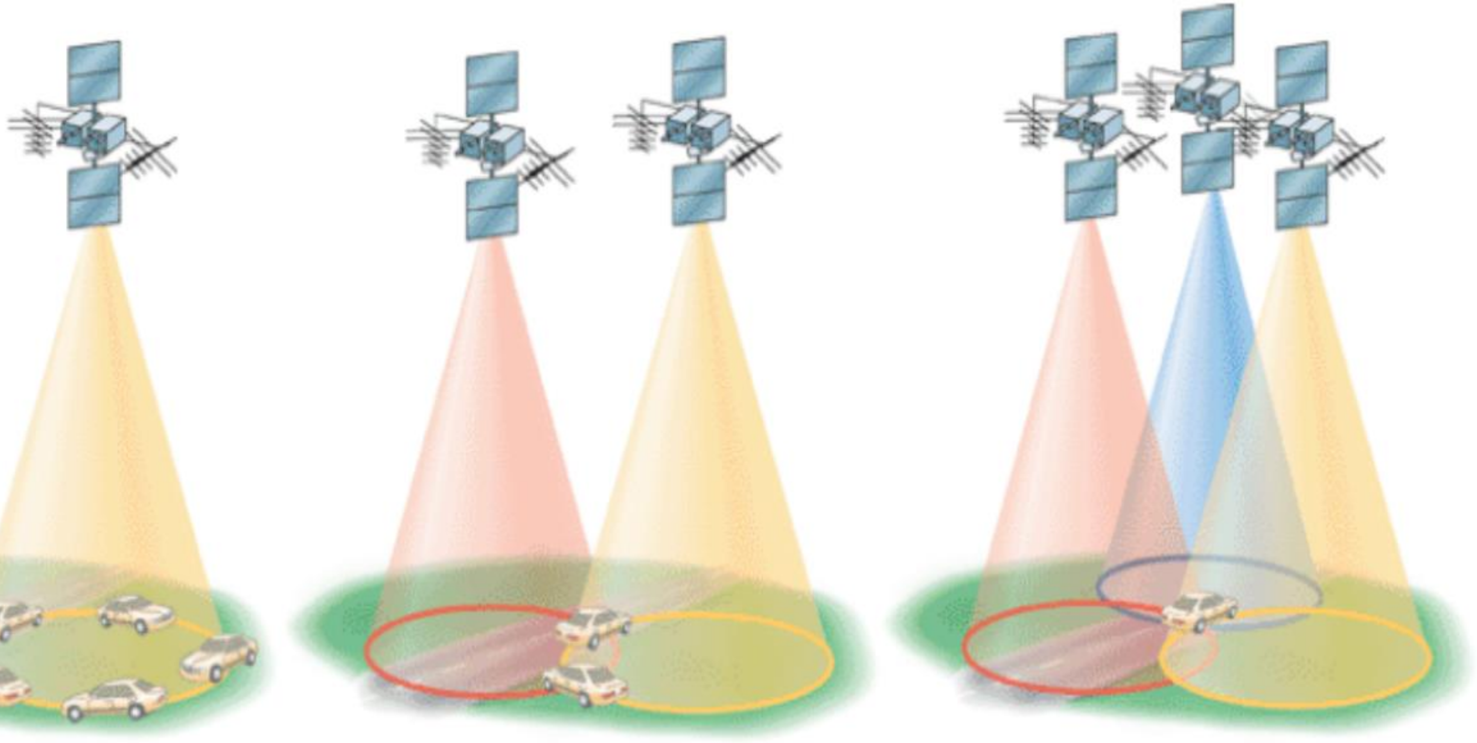
$$\frac{1}{2}mv_i^2 - \frac{KMm}{R_p} = 0 - \frac{KMm}{R_f}$$

$$\frac{1}{R_f} = -\frac{v_i^2}{2KM} + \frac{1}{R_p}$$

$$R_f = 1.30 \cdot 10^7 \mathrm{m}$$

$$h = R_f - R_p = 1.30 \cdot 10^7 - 6{,}37 \cdot 10^6 = 6{,}7 \cdot 10^6 \mathrm{m}$$

GPS - GLOBAL POSITIONING SYSTEM



Sistem de poziționare globală

După parcurgerea acestui curs studentul trebuie să:

- Definească centru de masă şi să rezolve probleme;
- Definească corect viteza şi acceleraţia unghiulară;
- Scrie ecuaţiile pentru rotaţia cu acceleraţie unghiulară constantă;
- Definească relaţiile dintre vitezele şi acceleraţiile liniare şi unghiulare;
- Definească momentul de inerţie şi să rezolve probleme;
- Scrie diferenţa dintre mărimi specifice mişcărilor de translaţie şi de rotaţie;
- Definească legile lui Kepler;
- Calculeze prima si a doua viteză cosmică;

BIBLIOGRAFIE

- **Fizica,** F. W.Sears, Zemansky , H. D.Young, Ed. Didactica si Pedagogica, 1983;
- **Fizica Elemente Fundamentale**, M. Cristea, F. Barvinschi, I. Luminosu, D. Popov, I. Damian, I. Zaharie, Ed. Politehnica, 2009;
- **Curs de Fizică generală**, F. Barvinschi, Ed. Orizonturi Universitare, 2016;
- **Elemente de fizică generală,** D. Popov, I. Damian, Ed. Politehnica, 2014;
- **Fizica între teamă si respect. Fundamentele începătorului**, V. Dorobantu, S. Pretorian, Ed. Politehnica, 2009.
- **Fizica. Teorie, aplicatii, autoevaluare**, I. Luminosu, V. Chiritoui, N. Pop, M. Costache, Ed. Politehnica, 2009.
- **Physics for Scientists and Engineers** - Sixth Edition, Paul Tipler, Gene Mosca, Ed. W.H. Freeman and Company, 2008
- **PHYSICS for Scientist and Engineers with Modern Physics** – Seventh Edition, R. Serway, J. Jewett, ed. Thomson Brooks/Cole, 2008.
- **Sears & Zemansky's University Physics: with Modern Physics**, 13th Edition, H. Young, R. Freedman, ed. Pearson, 2012