

## FIZICA

Fizica este stiinta care studiaza cele mai generale proprietati si forme de miscare a materiei.

In anul 1999 a fost publicat Curriculumul de Fizica pentru invatamintul liceal, care urmareste doua obiective majore: educarea unei personalitati cu o gandire bazata pe principiile logicii dialectice si formarea conceptiei stiintifice despre natura.

Majoritatea absoluta a legilor fizice reprezinta generalizari ale multiplerelor experimente urmate de masurari directe sau indirecte. In acelasi timp, pentru explicarea unor sau altor legitati se aplica pe larg metodele matematice, iar in unele cazuri prin aceste metode se descopera unele legitati, care apoi pot fi aplicate in practica.

Prezentul curs este destinat liceenilor, elevilor scolilor de cultura generala in scopul largirii cunostintelor de fizica, aplicarea legitatilor ei la rezolvarea problemelor de fizica la compartimentele: Mecanica, Fizica moleculara si termodinamica, Electrodinamica, Optica, Elemente de teoria relativitatii restrinse, Fizica atomului si nucleului.

## Cinematica

### 1. Modele, notiuni si concepte utilizate in studiul miscarii corpurilor solide.

Miscare este schimbarea pozitiei unui corp fata de altul.

Punct material este corpul, dimensiunile caruia pot fi neglijate in conditiile date.

Sistem de referinta este corpul de referinta (in raport cu care se studiaza miscarea), sistemul de referinta legat de el si ceasornicul.

Traietorie este linia descrisa de punctual material in procesul miscarii.

Drum parcurs este lungimea traietoriei.

Deplasare este un vector ce leaga punctual initial al traietoriei cu cel final.

Vectori este o marime ce se caracterizeaza prin valoare numerica si sens si se compun conform regulii paralelogramului.

### 2. Miscarea rectilinie uniforma. Viteza. Legea miscarii rectilinii uniforme.

Miscarea rectilinie uniforma este miscarea pe parcursul carei in intervale de timp punctul material parcurge distante (deplasari) egale.

Viteza este deplasarea punctului material intr-o unitate de timp:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Legea miscarii rectilinii uniforme:

$$\vec{r}_{12} = \vec{v}t$$

sau

$$x = x_0 + v_x t,$$

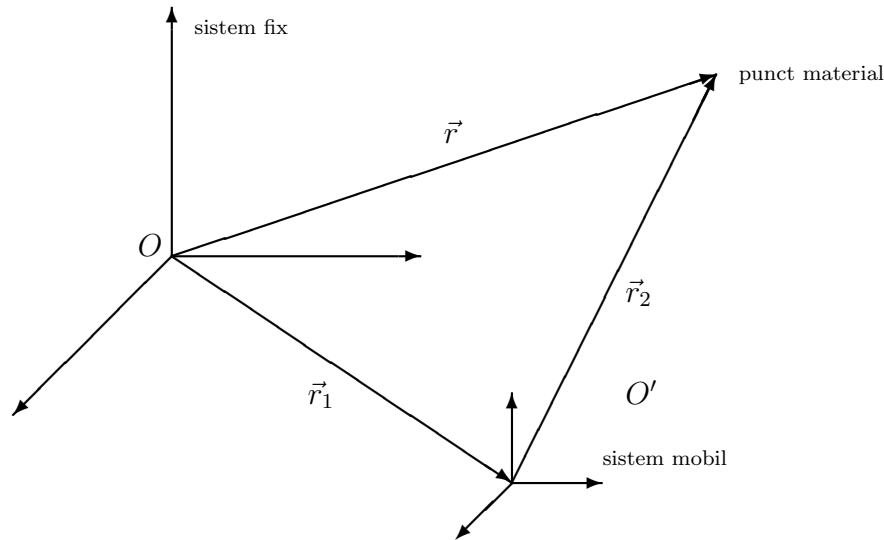
$$y = y_0 + v_y t,$$

$$z = z_0 + v_z t.$$

### 3. Relativitatea miscarii mecanice.

- Compunerea deplasarii:

$$\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$$



- compunerea vitezelor:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2,$$

unde  $\vec{v}$  este viteza punctului material in raport cu sistemul de referinta fix;

$\vec{v}_1$  este viteza sistemului de referinta mobil in raport cu cel fix;

$\vec{v}_2$  este viteza punctului material in raport cu sistemul de referinta mobil.

### 4. Miscarea uniform variata.

Miscarea uniform variata este miscarea care se caracterizeaza prin variatia vitezei.

Daca in intervale egale de timp viteza variaza cu aceeasi marime, atunci miscarea se numeste uniform variata (sau accelerate).

Acceleratia este variatia vitezei intr-o unitate de timp:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Daca miscarea este uniform variata, atunci  $\vec{a} = const$  si:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t},$$

prin urmare

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

sau proiectiile pe axele  $x, y, z$ :

$$v_x = v_{0x} + a_x t,$$

$$v_y = v_{0y} + a_y t,$$

$$v_z = v_{0z} + a_z t.$$

Luand in considerare ca

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt},$$

pentru proiectii obtinem:

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt},$$

prin urmare

$$x - x_0 = \int_0^t v_x dt = \int_0^t (v_{0x} + a_x t) dt \Rightarrow x - x_0 = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

sau

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Analog pentru coordonatele  $y$  si  $z$ .

Un exemplu de miscare uniform variata este caderea libera a corpului (punctului material) sau miscarea pe verticala pentru  $h \ll R$  ( $R$  este raza Pamantului). Acceleratia este constanta si egala cu  $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ .

### 5. Miscarea circulara uniforma.

Miscarea circulara este miscarea pe o traiectorie circulara, pe circumferinta.

Miscarea pe circumferinta se caracterizeaza prin unghiul descris de raza dusa spre punctul material.

Daca in intervale egale de timp raza descrie unghiuri egale, atunci miscarea circulara se numeste uniforma.

Viteza unghiulara este unghiul descris de raza intr-o unitate de timp:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Pentru miscarea circulara uniforma:

$$\omega = \frac{\varphi - \varphi_0}{t}.$$

Perioada este timpul  $T$  in care raza descrie unghiul  $2\pi$  (punctul material face o rotatie).

Frecventa este numarul de rotatii intr-o unitate de timp:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Viteza liniara este deplasarea intr-o unitate de timp:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{r}}{dt}; \quad v = \frac{|d\vec{r}|}{dt} = \frac{dS}{dt}; \quad v = \omega R,$$

unde  $dS$  este lungimea arcului descris in timpul  $dt$ .

Viteza liniara este orientata pe tangenta la circumferinta, prin urmare, punctul material se misca cu acceleratie orientata spre centru, asa numita acceleratie centripeta:

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

### 6. Miscarea corpurilor pe traiectorii parabolice.

Daca in procesul miscarii punctul material are acceleratia caderii libere  $g$ , atunci coordonatele miscarii sunt:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{g_x t^2}{2},$$

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2},$$

dar si

$$g_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}; \quad g_y = \frac{v_y - v_{0y}}{t}.$$

### Exemple de rezolvare a problemelor

1. Din doua orase au pornit pe sosea doua autobuze, unul in intampinarea celuilalt: unul la ora  $9^{00}$ , altul la ora  $9^{30}$ . Primul se deplasa cu viteza de 40 km/h, celalalt cu viteza 60 km/h. Distanta dintre orase este de 120 km. La ce ora s-au intilnit autobuzele si la ce distanta?

$$\tau_1 = 9^{00} \text{ h}$$

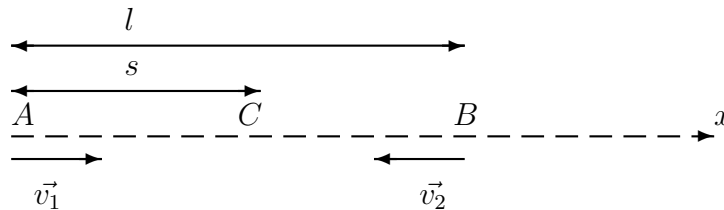
$$\tau_2 = 9^{30} \text{ h}$$

$$v_1 = 40 \text{ km/h}$$

$$v_2 = 60 \text{ km/h}$$

$$S - ?$$

$$\tau - ?$$



#### Rezolvare

Fie ca primul autobuz porneste din punctul  $A$ , iar al doilea din punctul  $B$  cu 0,5 h mai tarziu. Nu vom transforma marimile in unitatile de masura SI.

Vom aplica ecuatiile coordonatei, orientind axa  $x$  de la  $A$  spre  $B$  cu originea in punctul  $A$ .

Atunci ecuatiile coordonatei primului autobuz va fi

$$x_1 = x_{01} + v_{0x1}t$$

sau

$$x_1 = v_1 t,$$

deoarece pentru I-ul autobuz

$$x_{01} = 0, \quad v_{0x1} = v_1.$$

Pentru al II-lea autobuz

$$x_2 = x_{02} + v_{0x2}(t - 0,5) \quad \text{sau} \quad x_2 = l - v_2(t - 0,5), \quad \text{deoarece} \quad x_{02} = l, \quad v_{0x2} = -v_2.$$

In punctul de intalnire

$$x_1 = x_2 \Rightarrow v_1 t = l - v_2(t - 0,5) \Rightarrow t = \frac{l + 0,5v_2}{v_1 + v_2} \Rightarrow t = \frac{120 + 0,5 \cdot 60}{40 + 60} = 1,5 \text{ (h)}.$$

Prin urmare, autobuzele s-au intalnit la ora  $10^{30}$

$$x_1 = x_2 = S = v_1 t = 40 \cdot 1,5 = 60 \text{ (km)}.$$

Autobuzele s-au intilnit la jumatate de cale dintre punctele  $A$  si  $B$ .

**2.** Din punctul  $A$  pe sosele reciproc perpendiculare au pornit concomitent doua automobile: unul cu viteza de 40 km/h, altul cu viteza de 30 km/h. Cu ce viteza relativa unul fata de altul se deplasau automobilele?

$$v = 30 \text{ km/h}$$

$$v_1 = 40 \text{ km/h}$$

$$v_2 = ?$$

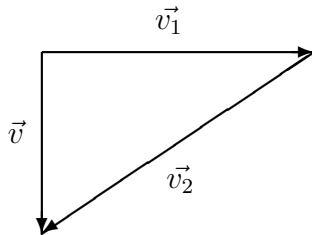
### Rezolvare

Vom considera un sistem de referinta mobil legat de I-ul automobil, iar automobilul al II-lea sa fie un punct material. Deci

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

unde  $\vec{v}$  este viteza automobilului al II-lea in raport cu sistemul de referinta fix;  $\vec{v}_1$  este viteza I-lui automobil in sistemul de referinta fix;  $\vec{v}_2$  este viteza automobilului al II-lea in raport cu I-l, ceea ce se cere.

$$\vec{v}_2 = \vec{v} - \vec{v}_1.$$



Din desen rezulta:

$$v_2 = \sqrt{v^2 + v_1^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ (km/h)}.$$

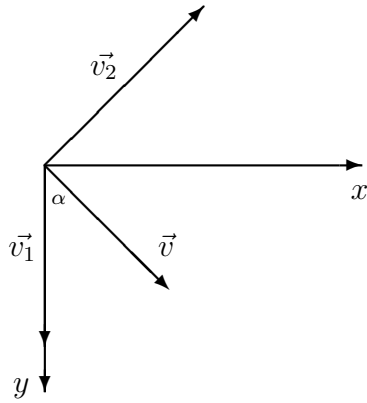
**3.** O corabie pluteste spre sud cu viteza de 42,3 km/h. Un observator de pe corabie observa in mare un vapor si determina ca vaporul pluteste in sensul nord-est cu viteza de 30 km/h. Se cere viteza vaporului si sensul plutirii.

$$v_1 = 42,3 \text{ km/h}$$

$$v_2 = 30 \text{ km/h}$$

$$v = ?$$

$$\alpha = ?$$

Rezolvare

Conform regulii compunerii vitezelor

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2.$$

Orientam axa  $y$  in sensul vitezei  $\vec{v}_1$  si axa  $x$  traditional, de la stanga la dreapta. Atunci

$$v_x = v_2 \cos 45^\circ;$$

$$v_y = v_1 - v_2 \sin 45^\circ;$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_2^2 \cos^2 45^\circ + v_1^2 - 2v_1 v_2 \sin 45^\circ + v_2^2 \sin^2 45^\circ} = \sqrt{v_2^2 + v_1^2 - 2v_1 v_2 \sin 45^\circ};$$

$$v = \sqrt{30^2 + 42,3^2 - 2 \cdot 30 \cdot 42,3 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = 30 \text{ (km/h)};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_x}{v_y} = \frac{v_2 \cos 45^\circ}{v_1 - v_2 \sin 45^\circ} = \frac{30 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{42,3 - 30 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} \approx 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ.$$

Vaporul pluteste in sensul sud-est cu viteza de 30 km/h.

4. De pe un balon aerian situat la inaltimea de 240 m a fost aruncat un corp mic, dar greu cu viteza initiala nula in raport cu balonul. Se cere timpul de cadere a corpului, daca:

- balonul este in stare de repaus;
- balonul cade cu viteza de 5 m/s;
- balonul se ridica cu viteza de 5 m/s.

$$h = 240 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{a) } v_0 = 0$$

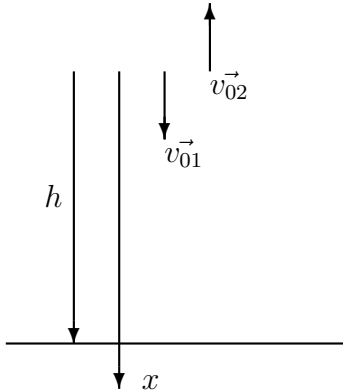
$$\text{b-c) } v_{01} = v_{02} = 5 \text{ m/s}$$

$$t, t_1, t_2 - ?$$

Rezolvare

Folosim ecuatiile coordonatei la miscarea

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$



Orientam axa  $x$  vertical in jos cu originea in punctul initial al corpului. Neglijam rezistenta aerului.

$$\text{a) } v_0 = 0, \quad x_0 = 0, \quad v_{0x} = 0, \quad a_x = g \Rightarrow x = \frac{gt^2}{2}.$$

$$\text{Peste intervalul de timp } t \text{ coordonata } x = h \Rightarrow h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 240}{9,81}} \approx \sqrt{49} = 7 \text{ (s)}.$$

$$\text{b) } v_{0x} = v_{01} \Rightarrow h = v_{01}t_1 + \frac{gt_1^2}{2} \Rightarrow 4,9t_1^2 + 5t_1 - 240 = 0.$$

$$t_{1(1,2)} = \frac{-5 \pm \sqrt{25 + 4 \cdot 4,9 \cdot 240}}{2 \cdot 4,9}.$$

$$t_1 = 6,5 \text{ (s)}.$$

A 2-a radacina nu are sens fizic, deoarece timpul nu poate avea valori negative.

$$\text{c) } v_{0x} = -v_{02} \Rightarrow h = -v_{02}t_2 + \frac{gt_2^2}{2} \Rightarrow 4,9t_2^2 - 5t_2 - 240 = 0.$$

$$t_{2(1,2)} = \frac{5 \pm \sqrt{25 + 4 \cdot 4,9 \cdot 240}}{2 \cdot 4,9}.$$

$$t_2 = 7,5 \text{ (s)}.$$

A 2-a radacina nu are sens fizic, deoarece timpul nu poate avea valori negative.

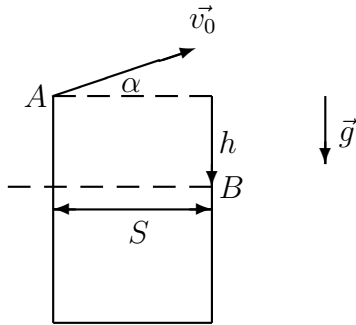
**5.** Un motociclist incearca sa zboare peste un canal. Se cere viteza initiala minimala necesara, daca viteza initiala este orientata sub un unghi de  $15^\circ$  fata de orizont, latimea canalului este de 3 m, malul opus este cu 1,5 m mai jos decat celalalt.

$$S = 3 \text{ m}$$

$$h = 1,5 \text{ m}$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$v_0 - ?$$

Rezolvare

Orientam axa  $x$ , traditional, de la stinga la dreapta, axa  $y$  – vertical in jos, originea de coordonate – in punctul initial  $A$ . Punctul final – in cel mai rau caz – punctul  $B$  cu coordonatele  $x = 3$  m,  $y = 1,5$  m.

Aplicam ecuatiile coordonatelor:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}$$

sau

$$x = v_0 t \cos 15^\circ \quad (a_x = 0),$$

$$y = -v_0 t \sin 15^\circ + \frac{gt^2}{2}.$$

Peste timpul  $t$   $x = S$ ,  $y = h \Rightarrow$

$$S = v_0 t \cos 15^\circ,$$

$$h = -v_0 t \sin 15^\circ + \frac{gt^2}{2}.$$

Din prima ecuatie

$$t = \frac{S}{v_0 \cos 15^\circ} \Rightarrow$$

$$h = -v_0 \frac{S}{v_0 \cos 15^\circ} \sin 15^\circ + \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 15^\circ} \Rightarrow$$

$$2v_0^2 S \cos 15^\circ \sin 15^\circ + 2v_0^2 h \cos^2 15^\circ = gS^2 \Rightarrow$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{gS^2}{2 \cos 15^\circ (S \sin 15^\circ + h \cos 15^\circ)}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 3^2}{2 \cdot 0,966(3 \cdot 0,2588 + 1,5 \cdot 0,966)}} = 4,53 \text{ (m/s)}.$$

Viteza initiala trebuie sa fie nu mai mica de 4,53 m/s.

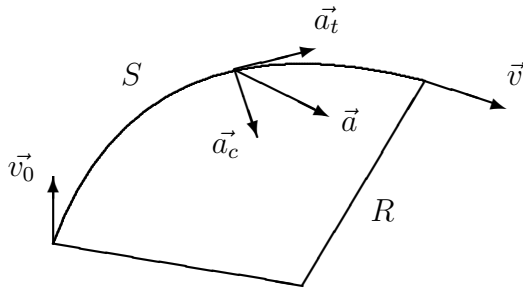
**6.** Un tren trece un sector curbiliniu cu viteza initiala de 54 km/h si parcurge distanta de 600 m timp de 30 s, miscandu-se uniform accelerat. Raza de curbura este de 1 km. Se cere viteza si acceleratia la capatul sectorului.

$$v_0 = 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$$

$$S = 600 \text{ m}$$

$$R = 1 \text{ km} = 1 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$t = 30$  s  
 $v, a - ?$



### Rezolvare

Pe sectorul indicat corpul se misca cu acceleratie tangentiala pe circumferinta, deci si cu acceleratie normala (centripeta). Miscandu-se pe curba cu acceleratie tangentiala constanta, distanta parcursa este egala cu:

$$S = \bar{v}t = \frac{v_0 + v}{2}t,$$

unde  $\bar{v}$  este viteza medie pe sector.

De aici

$$v = \frac{2S}{t} - v_0 \Rightarrow v = \frac{2 \cdot 600}{30} - 15 = 25 \text{ (m/s)}.$$

Atunci acceleratia tangentiala va fi:

$$a_t = \frac{v - v_0}{t} \Rightarrow a_t = \frac{25 - 15}{30} = 0,33 \text{ (m/s}^2\text{)},$$

iar acceleratia normala (centripeta):

$$a_c = \frac{v^2}{R} \Rightarrow a_c = \frac{25^2}{1 \cdot 10^3} = 0,625 \text{ (m/s}^2\text{)}.$$

Prin urmare, luand in considerare ca  $a_t \perp a_c$ , obtinem:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_c^2} \Rightarrow a = \sqrt{0,33^2 + 0,625^2} = 0,706 \text{ (m/s}^2\text{)}.$$

In punctul final al traiectoriei viteza este de  $25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$ , iar acceleratia este  $0,706 \text{ m/s}^2$ .

**7.** Un avion parcurge distanta  $S$  intre doua localitati, fara oprire, dus-intors, cu viteza  $v$ , pe un timp linistit (fara vant). Presupunand ca parcurge aceeasi distanta dus-intors, dar pe un vant puternic cu viteza  $u < v$ , care are sensul neschimbat, de la localitate la alta, aratati, daca acest fapt influenteaza timpul de miscare al avionului si in ce mod.

$v$  viteza avionului in sistemul de referinta fata de vant;

$u$  viteza vantului

$\tau_1 - ?$

$\tau_2$

Rezolvare

In primul caz ( $u = 0$ ), timpul de zbor dus-intors este

$$\tau_1 = 2\frac{S}{v}.$$

In al doilea caz ( $u \neq 0$ ):

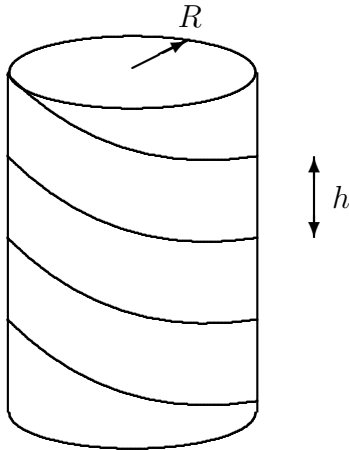
$$\tau_2 = \frac{S}{v+u} + \frac{S}{v-u}.$$

Atunci

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{2\frac{S}{v}}{\frac{S}{v+u} + \frac{S}{v-u}} = \frac{v^2 - u^2}{v^2} = 1 - \left(\frac{u}{v}\right)^2.$$

Prin urmare, daca  $u < v$  (in caz contrar avionul nu ar ajunge in punctul de destinatie),  $\frac{\tau_1}{\tau_2} < 1$ , deci in al doilea caz avionul parcurge distanta dus-intors intr-un interval de timp mai mare.

8. Un corp  $A$  aluneca fara viteza initiala pe un uluc elicoidal. Sa se determine acceleratia corpului la capatul buclei  $n$  a spiralei. Raza buclei este  $R$ , pasul spiralei este  $h$ . Frecarea se va neglija.

Rezolvare

Miscarea corpului poate fi considerata ca suma a doua miscari independente: miscarea pe circumferinta de raza  $R$  in plan orizontal si caderea libera pe verticala. Prin urmare, viteza  $v$  poate fi descompusa in doua componente:

$$v_1 = v \cos \alpha \quad \text{si} \quad v_2 = v \sin \alpha,$$

si , unde  $\alpha$  este unghiul format de uluc cu orizontul.

Acceleratia normala, ce corespunde miscarii pe circumferinta este:

$$a_{1n} = \frac{v_1^2}{R} = \frac{v^2 \cos^2 \alpha}{R}.$$

Acceleratia tangentiala poate fi descompusa in doua componente: una in directie orizontala ( $a_{1t}$ ) si alta in directie verticala ( $a_{2t}$ ). Prin urmare, acceleratia sumara va fi:

$$a = \sqrt{a_{1n}^2 + a_{1t}^2 + a_{2t}^2}.$$

In continuare, ne vom imagina ca desfasuram cilindrul intr-un plan. Atunci ulucul devine un plan inclinat cu inaltimea  $nh$  si latimea  $2\pi Rn$ . Prin urmare,

$$a_t = g \sin \alpha = g \frac{nh}{\sqrt{n^2h^2 + 4\pi^2R^2n^2}} \Rightarrow$$

$$a_t = g \frac{h}{\sqrt{h^2 + 4\pi^2R^2}} = \sqrt{a_{1t}^2 + a_{2t}^2}.$$

Viteza  $v$  poate fi determinata din legea conservarii energiei mecanice:

$$mgnh = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v^2 = 2gnh.$$

Rezulta ca acceleratia centripeta este:

$$a_{1n} = \frac{v^2 \cos^2 \alpha}{R} = \frac{2gnh}{R} \cdot \frac{4\pi^2R^2n^2}{n^2h^2 + 4\pi^2R^2n^2} \Rightarrow$$

$$a_{1n} = \frac{8\pi^2Rgnh}{h^2 + 4\pi^2R^2}$$

Atunci

$$a = \sqrt{a_{1n}^2 + a_{1t}^2 + a_{2t}^2} = \sqrt{a_{1n}^2 + a_t^2} = \sqrt{\left(\frac{8\pi^2Rgnh}{h^2 + 4\pi^2R^2}\right)^2 + \frac{g^2h^2}{h^2 + 4\pi^2R^2}} \Rightarrow$$

$$a = gh \frac{\sqrt{64\pi^4R^2n^2 + h^2 + 4\pi^2R^2}}{h^2 + 4\pi^2R^2}.$$

Ceea ce si se cerea.

### Probleme de control

**1.** Pe un plan inclinat ce se misca cu viteza  $v_1 = 1$  m/s cade de la o oarecare inaltime o bila fara viteza initiala. Parcurgand distanta  $h = 5$  cm, bila se loveste de plan, se "reflecta" de la el si din nou cade pe plan. Se cere distanta dintre punctele primei si a doua lovituri. Loviturile sunt absolut elastice. Unghiul de inclinare al planului este de  $45^\circ$ .

$$(\text{Raspuns: } S = \frac{2v_1}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0,3 \text{ m}).$$

**2.** Distanta de 360 km dintre punctele  $A$  si  $B$  un avion o parcurge timp de 30 min. In timpul zborului batea un vant sub unghiul de  $30^\circ$  fata de dreapta  $AB$  cu viteza  $u = 10$  m/s. Se cere unghiul sub care trebuie sa zboare avionul de la punctul  $A$  spre  $B$  si de la punctul  $B$  spre  $A$ .

$$(\text{Raspuns: } \beta_1 = \beta_2 = \arctg \frac{ut \sin \alpha}{S - ut \cos \alpha} = 1^\circ 30').$$