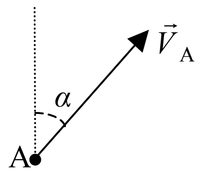
59-osios Lietuvos moksleivių fizikos olimpiados III rato 11 klasės teorinių užduočių sprendimai 2011m. balandžio 7- 9 d., Vilnius

Teorinė dalis

1. Spindulio R plonas lankas ridenasi be slydimo horizontaliu pagrindu kampiniu greičiu ω. Per kokį tašką bet kuriuo laiko momentu eina linijos, sutampančios su lanko taškų linijiniais greičiais (greičiai nukreipti į tą tašką arba nuo jo)? Kaip priklauso nuo laiko lanko taško greičio modulis, jeigu pradiniu momentu tas taškas lietė pagrindą? Nubrėžkite to greičio vektoriaus priklausomybės nuo kampo, kurį jis sudaro su vertikale, diagramą, laikydami, kad vektoriaus pradžia visą laiką yra tame pačiame taške. Pateiktame paveiksle yra pavaizduotas vienas iš vektorių.



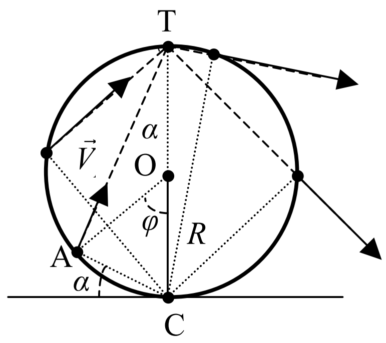
Pav.

(10 taškų)

Sprendimas

Braižome brėžinį. (2 *taškai*)

Kai lankas ridenasi pagrindu, jo taškas C, liečiantis tuo momentu pagrindą, nejuda ir yra akimirksnis sukimosi centras. Visi lanko taškai juda tuo momentu aplink jį. Dėl to taškų linijiniai greičiai yra statmeni linijoms, jungiančioms tuos taškus su akimirksniniu sukimosi centru C. Pagal įbrėžtų į apskritimą kampų savybes, status kampas remiasi į apskritimo skersmenį. Kadangi vienas to skersmens taškas visiems kapams yra C, tai ir kitas taškas yra tas pats – T.



Pav. 1.

$\boxed{\text{Visi kairiosios lanko dalies taškų greičiai nukreipti į tašką T.}}$ (1 *taškas*)

$\boxed{\text{Dešiniosios lanko dalies taškų greičiai nukreipti nuo taško T.}}$ (1 *taškas*)

Nagrinėsime, kaip taško A greitis priklauso nuo laiko. Išreikšime jį per lanko kampinį greitį ω.

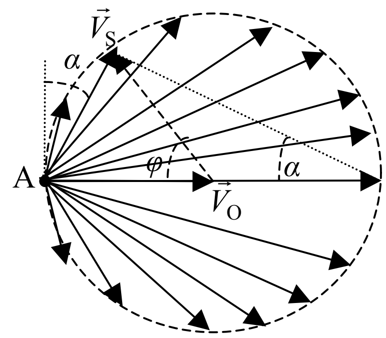
$V_A = \omega \cdot AC$, $AC = 2R\sin\alpha$. (1 *taškas*)

Iš kampų savybių $\alpha = \frac{1}{2}\varphi = \frac{1}{2}\omega t$. Tada (1 *taškas*)

$\boxed{V_A = 2R\omega\sin\left(\frac{1}{2}\omega t\right)}$. (1 *taškas*)

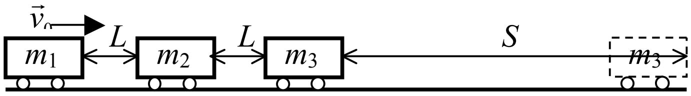
Bet kurio lanko taško greitį galima pavaizduoti, kaip dviejų vektorių sumą: pastovios krypties ir dydžio masių centro greičio $V_O = R\omega$ ir pastovaus pagal dydį sukimosi aplink masių centro linijinio greičio $V_S = R\omega$.

Gavome taško greičių diagramą (2 *taškai*), atskaitant posūkio kampą nuo vertikalios ašies, tada greičių kryptis sutampa su pateiktais pav. 1. Kampo α kitimo ribos nuo 0 iki π. Vektorių galai sudaro apskritimą. (1 *taškas*)



Pav. 2.

2. Horizontalioje tiesioje geležinkelio atkarpoje atstumu $L = 3$ m vienas nuo kito stovi trys vagonai. Pirmojo vagono masė $m_1 = 10$ t, antrojo – $m_2 = 20$ t, o trečiojo – $m_3 = 30$ t. Pirmajam vagonui suteikė greitį $v_0 = 1{,}8$ m/s. Jis atsitrenkė į antrąjį vagoną ir sukibo su juo. Po to du vagonai atsitrenkė į trečiąjį, bet su juo nesukibo. Po smūgio trečiasis vagonas nuvažiavo atstumą $S = 600$ m ir sustojo. Įvertinkite, su kokiu stabdymo pagreičiu važiuoja vagonai.



(10 taškų)

Sprendimas

$S = v_3 t - \dfrac{at^2}{2}$, čia v_3 – trečiojo vagono pradinis greitis, t – judėjimo trukmė. (1 *taškas*)

$v_3 - at = 0$.

Vadinasi $a = \dfrac{v_3^2}{2S}$. (1 *taškas*)

(Šią formulę galima gauti ir prilyginus pradinę trečiojo vagono kinetinę energiją stabdymo jėgų darbui.)

Kadangi vagonai antrojo smūgio metu nesukibo, vadinasi smūgis elastinis. Jo metu išsilaiko ir judesio kiekis, ir kinetinė energija.

Iš sąlygos: $m_1 + m_2 = m_3$. (1 *taškas*)

Tokiu atveju, po antrojo smūgio pirmieji du vagonai sustojo, o trečiojo vagono greitis po smūgio lygus pirmųjų dviejų vagonų greičiui prieš smūgį $v_3 = v_2$. (2 *taškai*)

Iš sąlygos $L << S$. Tokiu atveju, į vagonų greičių pokyčius tarp smūgių (antrojo ir trečiojo bei pirmojo ir antrojo) galima neatsižvelgti. (1 *taškas*)

Pirmojo smūgio metu vagonai sukibo, vadinasi smūgis buvo plastinis ir išsilaikė tik sistemos judesio kiekis. Į pirmojo vagono greičio pokytį iki smūgio irgi neatsižvelgiame.

$m_1 v_0 = (m_1 + m_2) v_2 .$ (1 *taškas*)

$$v_3 = v_0 \frac{m_1}{m_1 + m_2} .$$

$\boxed{a = \frac{v_0^2 m_1^2}{2S(m_1 + m_2)^2}}$. (2 *taškai*)

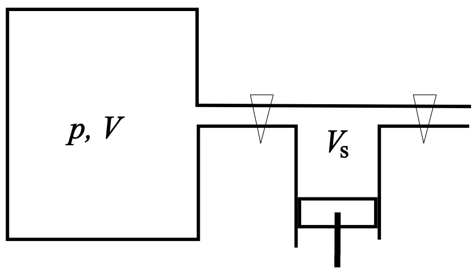
$$a = \frac{1{,}8^2 \cdot 10^2}{2 \cdot 600 \cdot (10 + 20)^2} = 0{,}0003 \text{ m/s}^2 .$$

$\boxed{a = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2}$. (1 *taškas*)

3. Tūrio V = 10 litrų indas, kuriame yra normalaus atmosferos slėgio oras, prijungtas prie stūmoklinio siurblio. Siurblio darbinis cilindro tūris V_s = 66 cm^3. Raskite siurblio cilindro ciklų skaičių, reikalingą slėgiui sumažinti 100 kartų. Kiek reikėtų atlikti ciklų, norint tuo pačiu siurbliu tiek pat kartų padidinti slėgį inde? Orą laikykite idealiosiomis dujomis.

(10 taškų)

Sprendimas



Braižome brėžinį. (1 *taškas*)

Dujų siurbimą laikysime izoterminiu procesu. Po vieno siurbimo ciklo indo dujų tūris padidėja, o slėgis sumažėja.

$pV = p_1(V + V_\text{s})$ arba $p_1 = \frac{pV}{V + V_\text{s}}$. (0,5 *taško*)

Po antrojo ciklo $p_1 V = p_2 (V + V_\text{s})$ arba $p_2 = \frac{p_1 V}{V + V_\text{s}}$, $p_2 = p\left(\frac{V}{V + V_\text{s}}\right)^2$. (1 *taškas*)

Po N_m-ojo ciklo $p_{N_\text{m}} = p\left(\frac{V}{V + V_\text{s}}\right)^{N_\text{m}}$. (1 *taškas*)

$\boxed{N_\text{m} = \frac{\lg \frac{p}{p_{N_\text{m}}}}{\lg \frac{V + V_\text{s}}{V}}}$. (1 *taškas*)

$$\boxed{N_{\mathrm{m}} = \frac{\lg 100}{\lg \dfrac{10^{-2} + 6{,}6 \cdot 10^{-5}}{10^{-2}}} = 700} \qquad (1\ \textit{taškas})$$

Jei spausime lėtai, procesas taip pat bus izoterminis. Po N_{d}-ojo ciklo iš atmosferos bus paimta m_{o} masės oro, kurio tūris $N_{\mathrm{d}}V_{\mathrm{s}}$, ir perduota į indą. Užrašome idealiųjų dujų būsenos lygtis indo dujoms prieš slėgio padidinimą ir po N_{d}-ojo siurblio ciklo.

$$pV = \frac{m}{M}RT\,; \qquad (0{,}5\ \textit{taško})$$

$$p_{N_{\mathrm{d}}}V = \frac{m + m_{\mathrm{o}}}{M}RT\,; \qquad (1\ \textit{taškas})$$

$$pN_{\mathrm{d}}V_{\mathrm{s}} = \frac{m_{\mathrm{o}}}{M}RT\,. \qquad (1\ \textit{taškas})$$

Iš pastarųjų lygčių gauname $pV + pN_{\mathrm{d}}V_{\mathrm{s}} = p_{N_{\mathrm{d}}}V$ ir $\boxed{N_{\mathrm{d}} = \left(\dfrac{p_{N_{\mathrm{d}}}}{p} - 1\right)\dfrac{V}{V_{\mathrm{s}}}}$. (1 *taškas*)

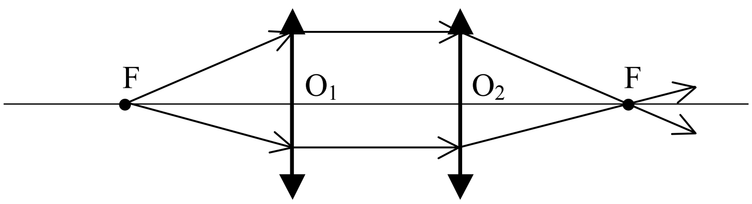
$$\boxed{N_{\mathrm{d}} = (100 - 1)\frac{10^{-2}}{6{,}6 \cdot 10^{-5}} = 1{,}5 \cdot 10^{4}} \qquad (1\ \textit{taškas})$$

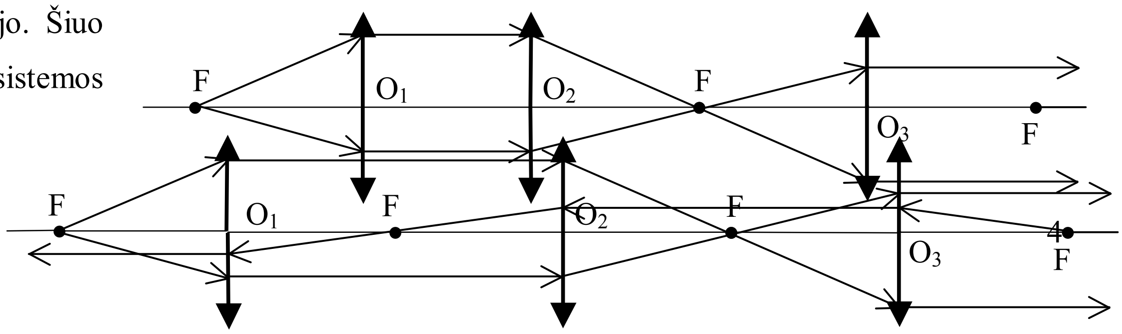
4. Keli vienodi glaudžiamieji lęšiai sujungti į sistemą taip, kad jos židinio nuotolis yra lygus vieno lęšio židinio nuotoliui F (sistemos židinio nuotoliai matuojami nuo ją sudarančių kraštinių elementų). Kaip išdėstyti lęšiai sistemoje? Ką galite pasakyti apie lęšių skaičių sistemoje? Ar galima tokią sistemą sudaryti iš sklaidomųjų lęšių ir kodėl?

(10 taškų)

Sprendimas

Brėžiame dviejų lęšių sistemą ir patalpiname šviesos šaltinį į pirmojo lęšio židinį. (1 *taškas*) Nepriklausomai nuo atstumo tarp lęšių spinduliai susirinks antrojo lęšio židinyje. Sistema netenkina uždavinio sąlygų, nes spinduliai turėjo išeiti iš jos lygiagrečiai optinei ašiai. Tam, kad to pasiektume, trečiąjį lęšį pastatysime atstumu $2\boldsymbol{F}$ nuo antrojo. Šiuo atveju, iš sistemos išėję





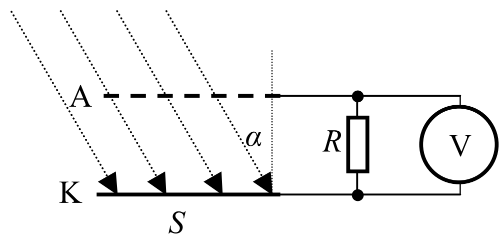
spinduliai yra lygiagretūs optinei ašiai. (2 *taškai*)

Vadinasi, pora lęšių, esančių vienas nuo kito atstumu lygiu jų dvigubam lęšio nuotoliui, nekeičia sistemos židinio nuotolio. Tam, kad sistema turėtų reikalingas savybes ir spinduliams, einantiems iš židinio iš dešinės į kairę, reikia, kad ir tarp pirmojo ir antrojo lęšių atstumas būtų lygus dvigubam židinio nuotoliui. (2 *taškai*)

Prie trijų lęšių sistemos galima pridėti dar keletą lęšių porų ir sistemos optinės savybės nepasikeis. Vadinasi, **sistema turi būti sudaryta iš nelyginio skaičiaus** (2 *taškai*) **vienodų glaudžiamųjų lęšių, atstumai tarp kurių yra lygūs dvigubiems židinio nuotoliams** (1 *taškas*).

Lygiagretūs spinduliai, praėję sklaidomąjį lęši, išsisklaido. Joks kitas sklaidomasis lęšis negali juos vėl padaryti lygiagrečiais. Vadinasi, **tokios sistemos padaryti iš sklaidomųjų lęšių neįmanoma.** (2 *taškai*) Taip yra dėl to, kad sklaidomieji lęšiai turi ne realų židinį, kuriame susirenka spinduliai, o menamą.

5. Šviesos stiprio I ir bangų ilgio λ šaltinis yra atstumu L nuo ploto S metalinės plokštelės K. Kadangi $L^2 >> S$ šviesos spinduliai krenta į plokštelę praktiškai tuo pačiu kampu α. Kas N-tasis šviesos kvantas sukelia išorinį fotoefektą. Iš visų fotoelektronų k-toji dalis pasiekia anodą A. Kokią įtampą rodo voltmetras, prijungtas prie varžos R rezistoriaus?



(10 taškų)

Sprendimas

Įtampa $U = iR$, čia i – srovė tekanti varžos R rezistoriumi. (*1 taškas*)

$i = ne$, čia e – elektrono krūvis, o n – fotoelektronų, pasiekiančių anodą A per laiko vienetą, skaičius. (*1 taškas*)

$n = kn_0$, čia n_0 – atsirandančių per laiko vienetą fotoelektronų skaičius. (*1 taškas*)

$n_0 = \frac{1}{N}\nu$, čia ν – fotonų, krentančių į plokštelė per laiko vienetą, skaičius. (*1 taškas*)

$P = \nu\varepsilon$, čia P – krentančios šviesos galia, o ε – vieno fotono energija. (*1 taškas*)

$\varepsilon = hf$, čia h – Planko konstanta, o f – krentančios šviesos dažnis. (*1 taškas*)

$f = \frac{c}{\lambda}$, čia c – šviesos greitis. (*1 taškas*)

Šviesos galia $P = ES$, čia E – plokštelės K apšviestumas. (*1 taškas*)

$E = \dfrac{I}{L^2}\cos\alpha$. (*1 taškas*)

Viską sustatome į pirmąją formulę:

$$\boxed{U = \frac{keR\lambda SI}{NhcL^2}\cos\alpha.}$$ (*1 taškas*)

Eksperimentinė dalis

<u>Eksperimentiškai nustatytkite</u>:

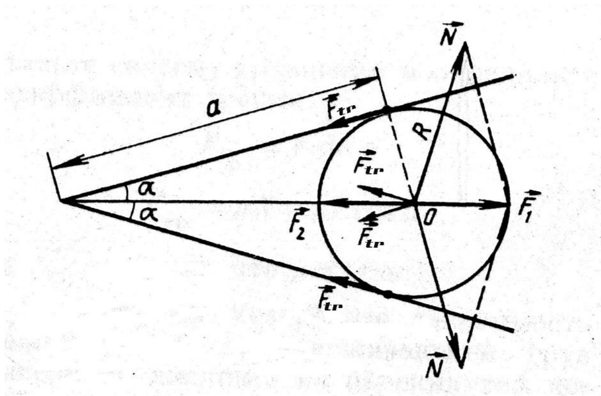
1. Rimties trinties koeficientą tarp kamuoliuko ir medinių liniuočių paviršių.
<u>Priemonės:</u> stalo teniso kamuoliukas, dvi medinės liniuotės.

2. Rimties ir slydimo trinties koeficientų santykį tarp medinės liniuotės ir pieštukų paviršių.
<u>Priemonės:</u> medinė liniuotė, du pieštukai.

<u>Pastaba:</u> kiekvienoje užduotyje trinties koeficientus nustatykite visais galimais būdais.
(20 taškų)

<u>Sprendimas</u>

1. Liniuočių galus sudedame taip, kad jos sudarytų dvisienį kampą. Prie kampo viršūnės tarp liniuočių patalpiname kamuoliuką.



Viena ranka prilaikydami liniuotes kampo viršūnėje, kita – pamažu spaudžiame jas vieną prie kitos. Kamuoliukas tarp liniuočių pradeda slysti. Liniuotes spaudžiame tol, kol jis nustoja slydęs. Kamuoliuką veikiančios jėgos, jo slydimo sustojimo momentu, pavaizduotos paveiksle. Patogumo dėlei, kamuoliuką veikiančias jėgas pernešame į jo centrą O. Jėga $\boldsymbol{F_1}$ yra dviejų liniuočių vienodų atramos reakcijos jėgų **N,** atstojamoji. Kita vertus, jėga $\boldsymbol{F_2}$ –- dviejų lygių trinties jėgų $\boldsymbol{F_{tr}}$, tarp kamuoliuko ir liniuočių, atstojamoji. Kamuoliukui nustojus slinkti, jį veikiančių atstojamųjų jėgų $\boldsymbol{F_1}$ ir $\boldsymbol{F_2}$ moduliai yra lygūs:

$$F_1 = F_2$$

Pasiremdami paveikslu, gauname:

$$F_1 = 2N\cdot \sin\alpha$$

$$F_2 = 2\,F_{tr}\cdot \cos\alpha$$

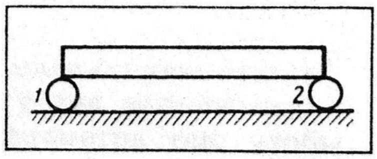
$$2N\cdot \sin\alpha = 2\,F_{tr}\cdot \cos\alpha$$

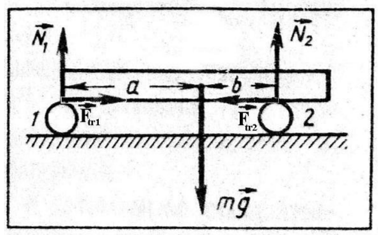
Žinodami, kad $F_{tr} = \mu \cdot N$, randame trinties koeficientą μ:

$$\mu = \mathrm{tg}\alpha = \frac{R}{a}.$$

Eksperimentiškai nustatome, kuomet kamuoliukas nustoja slysti liniuočių paviršiais. Išmatavę atstumą a (nuo kampo viršūnės iki kamuoliuko lietimosi į liniuotes taško) bei kamuoliuko spindulį R, apskaičiuosime trinties koeficientą μ.

2. Padėkime medinę liniuotę ant dviejų vienodų, stalo paviršiuje gulinčių medinių pieštukų taip, kaip parodyta paveiksle. Pirmąjį pieštuką artiname link antrojo. Iš pradžių, antrasis pieštukas rieda stalo paviršiumi.





Vėliau pastebime, kad antrasis pieštukas nustoja riedėti ir tuo pačiu metu pirmasis pieštukas pradeda slysti liniuotės paviršiumi. Paveiksle pažymėtos pieštukus veikiančios jėgos iki to momento, kai keičiasi liniuotės judėjimas jų paviršiais (liniuotė pradeda slysti pirmojo pieštuko paviršiumi).

Tuomet, rimties trinties jėga $\boldsymbol{F_{tr1}}$ tarp pirmojo pieštuko ir liniuotės paviršių savo moduliu lygi slydimo trinties jėgai $\boldsymbol{F_{tr2}}$ tarp antrojo pieštuko ir liniuotės.

Išreiškiame trinties jėgas:

$$F_{tr1} = \mu_r N_1$$

$$F_{tr2} = \mu_s N_2$$

Kadangi $F_{tr1} = F_{tr2}$, tuomet:

$$\mu_r N_1 = \mu_s N_2$$

$$\frac{\mu_r}{\mu_s} = \frac{N_2}{N_1}$$

Užrašome liniuotę veikiančių jėgos momentų pusiausviros sąlygą, jos sunkio centro atžvilgiu, liniuotės judėjimo pieštukų paviršiais, pasikeitimo momentu:

$$N_1 a - N_2 b = 0$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{a}{b}$$

Tuomet

$$\frac{\mu_r}{\mu_s} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{a}{b}$$

Eksperimentiškai nustatome liniuotės judėjimo pasikeitimo, pieštukų paviršiais, momentą. Išmatavę atstumus a ir b, apskaičiuojame rimties ir slydimo trinties koeficientų, tarp pieštukų ir liniuotės paviršių, santykį.