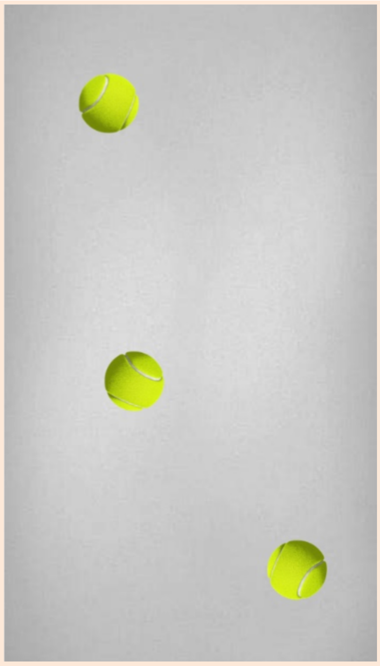
2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

12. uzdevums.



“**Lodītes lidojums**” Uz stroboskopiskās fotogrāfijas ir redzamas brīvi lidojošās lodītes trīs secīgas pozīcijas. Grafiski konstruējiet nākamo un iepriekšējo lodītes pozīcijas un pamatojiet jūsu konstrukciju. Fotogrāfijas orientācija attiecībā pret horizontu nav zināma.

Skaidrojums: stroboskopiskā fotogrāfija tiek izdarīta īslaicīgi apstarojot objektu ar īsiem uzliesmojumiem, kuri notiek ar vienādu laika intervālu starp tiem. Uz fotogrāfijas tātad var redzēt pētāmā objekta pozīcijas, kurās tas atradās uzliesmojumu laikā.

«**Полёт шарика**» На стробоскопической фотографии свободно летящего шарика видны три его последовательных положения. Найдите графическим построением следующее положение шарика; обоснуйте ваше построение. Ориентация фотографии относительно горизонта неизвестна.

Объяснение: в технике стробоскопической фотографии объект освещается короткими вспышками, происходящими через равные промежутки времени. На фотографии видны положения объекта, которые тот занимал во время вспышек.

Atrisinājums:

Ir zināms, ka brīvi lidojoša lodīte kustas pa parabolu. No matemātiskā viedokļa, caur dotiem trim punktiem iziet tikai viena parabola, tātad uzdevums ir risināms.

Patvaļīgi izvēlēsimies x asi un pierakstīsim lodītes x pozīcijas četros punktos, kas ir atdalīti ar vienādu laika intervālu Δt:

$$x_1 = x_0 + v_{x,0}\, t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

$$x_2 = x_0 + v_{x,0}(t+\Delta t) + \frac{1}{2} a_x (t+\Delta t)^2 = x_1 + v_{x,0}\Delta t + a_x t\Delta t + \frac{1}{2} a_x \Delta t^2$$

$$x_3 = x_0 + v_{x,0}(t+2\Delta t) + \frac{1}{2} a_x (t+2\Delta t)^2 = x_1 + 2 v_{x,0}\Delta t + 2 a_x t\Delta t + 2 a_x \Delta t^2$$

$$x_4 = x_0 + v_{x,0}(t+3\Delta t) + \frac{1}{2} a_x (t+3\Delta t)^2 = x_1 + 3 v_{x,0}\Delta t + 6 a_x t\Delta t + \frac{9}{2} a_x \Delta t^2$$

Pieņemot sākumlaika momentu par nulli, iegūsim

$$x_2 - x_1 = v_{x,0}\Delta t + \frac{1}{2} a_x \Delta t^2$$

$$x_3 - x_1 = 2 v_{x,0}\Delta t + 2 a_x \Delta t^2$$

$$x_4 - x_1 = 3 v_{x,0}\Delta t + \frac{9}{2} a_x \Delta t^2$$

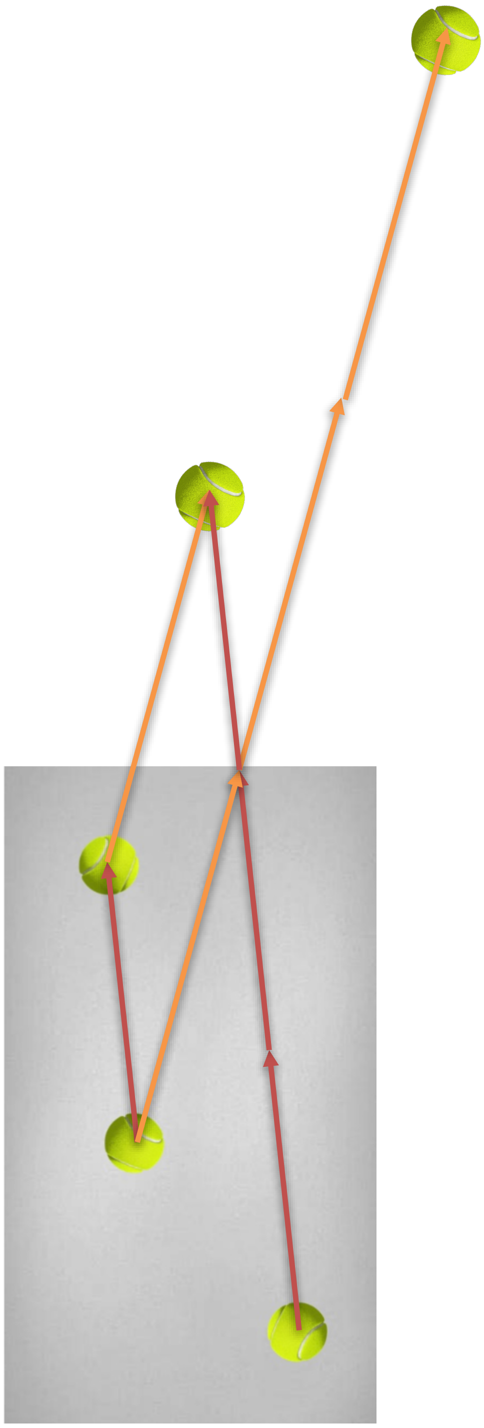
Apskatot šos vienādojumus, var pamanīt, ka

$$x_3 - x_2 = v_{x,0}\Delta t + \frac{3}{2} a_x \Delta t^2 = \frac{1}{3}\left(x_4 - x_1\right)$$

Tā kā x ass tika izvēlēta patvaļīgi, tad šī sakarība izpildās jebkurai asij:

$$\vec{r}_4 - \vec{r}_1 = 3\left(\vec{r}_3 - \vec{r}_2\right)$$

Izmantojot šo sakarību, zīmējumā tika konstruētas divas nākamās lodītes pozīcijas.



Tika piedāvāts arī **cits risināšanas veids** (sk. attēlu zemāk). Pagriežot uzdevuma izdruku, var atrast tādu virzienu, ka horizontāls intervāls starp attēliem Δx ir konstants. Tā arī ir īstā fotogrāfijas orientācija. Tālāk atkal ir jāizraksta kustības vienādojumi (y ass ir vērsta augšup):

$$\Delta y_1 = v_{1y} t - \frac{g t^2}{2}$$

$$\Delta y_2 = v_{2y} t - \frac{g t^2}{2} = v_{1y} t - 3\frac{g t^2}{2}$$

No šejienes $g t^2 = \Delta y_1 - \Delta y_2$.

Tad var noteikt nākamo pozīciju no

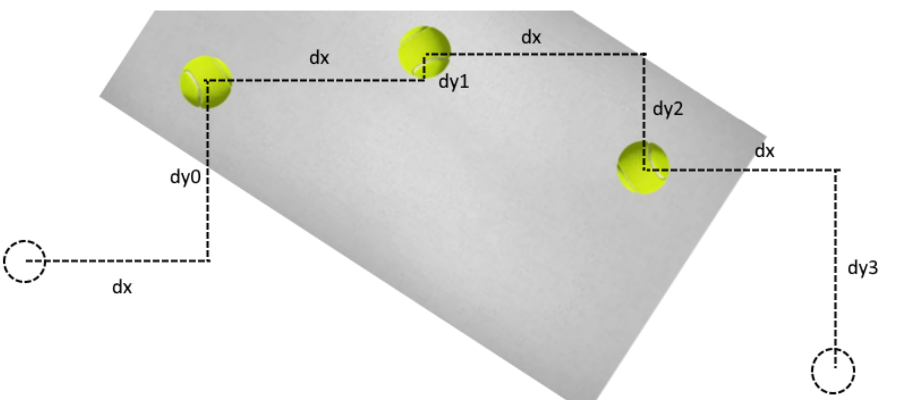
$$\Delta y_3 = v_{2y} t - 3\frac{g t^2}{2} = \Delta y_2 - g t^2$$

Apvienojot vienādojumus, iegūsim

$$\Delta y_3 = 2\Delta y_2 - \Delta y_1$$

Līdzīgā veidā turpinot trajektoriju atpakaļ,

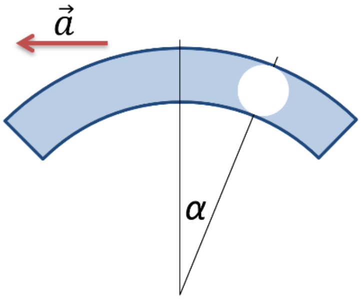
$$\Delta y_0 = 2\Delta y_1 - \Delta y_2$$



2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

13. uzdevums.



"**Paātrinājuma mērītājs**" Lai mērītu horizontālo paātrinājumu, pa riņķa loku saliektā hermētiskā stikla caurulīte tiek piepildīta ar spirtu tā, ka tajā peld gaisa burbulītis (sk. attēlu). Kā burbulīša leņķiskā nobīde no augšējā punkta α ir saistīta ar caurulītes paātrinājumu?

«**Измеритель ускорения**» Для измерения горизонтального ускорения тела можно использовать герметично запаянную стеклянную изогнутую по дуге трубку, наполненную спиртом, в которой находится пузырёк воздуха (см. рис.). Как угловое отклонение пузырька от верхней точки α зависит от ускорения трубки?

Atrisinājums:

Burbulis atradīsies punktā, kur uz viņu nedarbosies spēks nevienā no virzieniem, kurā tas var kustēties. Tātad, kopējais sistēmas paātrinājums $\vec{a}_{kop} = \vec{a} + \vec{g}$ būs vērsts leņķī α pret vertikāli. Zinot, ka $\vec{a} \perp \vec{g}$, iegūsim

$$tg\alpha = \frac{a}{g}$$

2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

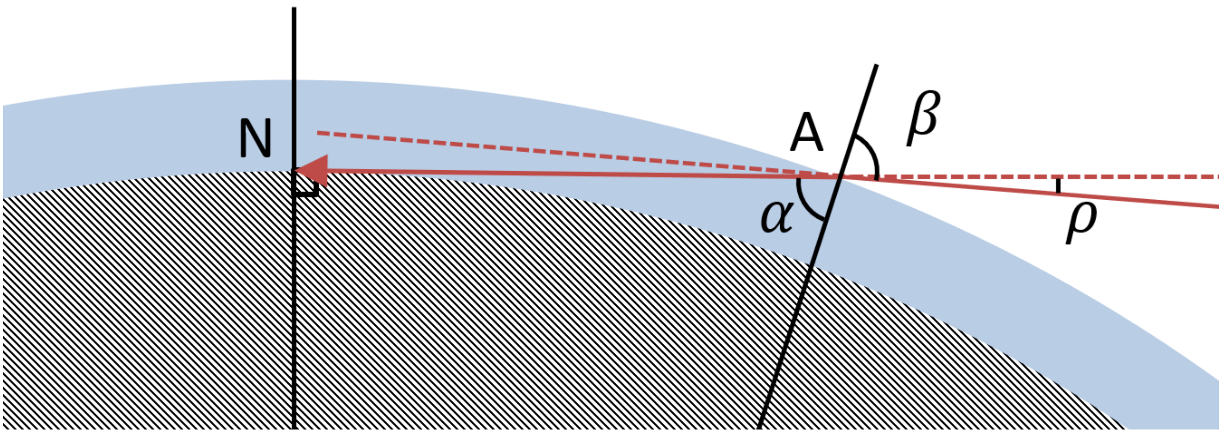
14. uzdevums.

“**Gaisa laušanas koeficients**” Zemes atmosfēras gaisa laušanas koeficients ir tikai nedaudz lielāks par vienu, taču ar gaismas laušanu gaisā pietiek, lai ietekmētu redzamās debess spīdekļu pozīcijas, ja tie atrodas tuvu horizontam. Kad Saule lec vai riet, mēs to redzam aptuveni par 0,5 grādu augstāk, nekā tā īstenībā ir. Novērtējiet no šīs vērtības gaisa laušanas koeficientu tuvu jūras līmenim! Novērtējumam pieņemiet, ka atmosfēra satur tikai vienu 5 km augstu slāni, kura laušanas koeficients ir konstants. Zemes rādiuss ir 6370 km.

«**Коэффициент преломления воздуха**» Коэффициент преломления воздуха лишь немного превышает единицу, но даже этой небольшой разницы достаточно для изменения наблюдаемого положения небесных светил вблизи горизонта. При восходе и закате Солнца мы наблюдаем его примерно на 0,5 градуса выше его истинного положения. Исходя из этой величины, оцените коэффициент преломления воздуха вблизи уровня моря. Приближённо примите, что атмосфера содержит только один слой высотой 5 км с постоянным коэффициентом преломления. Радиус Земли 6370 км.

Atrisinājums:

Kad Saule atrodas uz redzamā horizonta, tās stari sasniedz novērotāju (N) virzienā, kas ir perpendikulārs virzienam uz Zemes centru O (nav parādīts). Pieņemot, ka Zemes atmosfēra satur tikai vienu $h=5\text{km}$ biezu slāni, slāņa robežu šis stars krustos leņķī α, kura $\sin\alpha=\frac{R}{R+h}$, kur R ir Zemes rādiuss (no taisnstūra trijstūra ANO).



Laušanas likums saka, ka $n\sin\alpha=\sin\beta$. Šo leņķu starpība arī ir meklējama astronomiskā refrakcija pie horizonta:

$$\rho=\alpha-\beta=\arcsin\frac{R}{R+h}-\arcsin\left(n\frac{R}{R+h}\right)$$

Izsakot no tā gaisa laušanas koeficientu, iegūsim

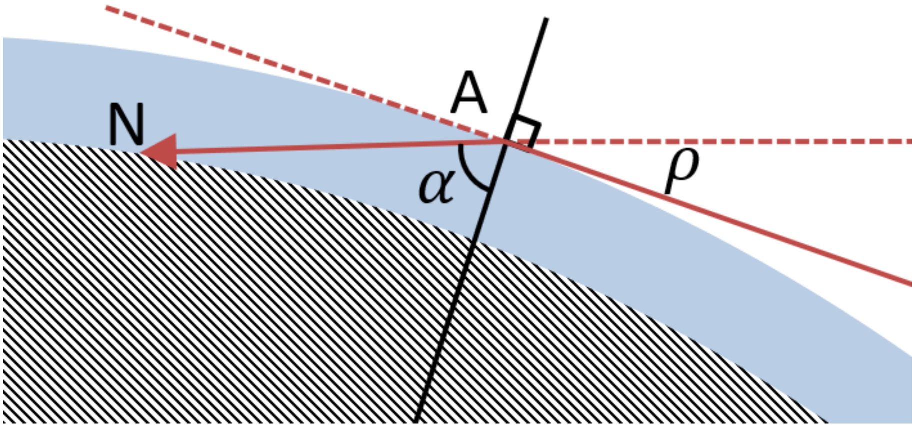
$$n=\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}=\frac{\sin(\alpha+\rho)}{\frac{R}{R+h}}=\frac{R+h}{R}\sin\left(\rho+\arcsin\frac{R}{R+h}\right)$$

Ievietojot skaitliskās vērtības, iegūsim

$$n=\frac{6375}{6370}\cdot\sin\left(0{,}5\,^\circ+\arcsin\frac{6370}{6375}\right)=\frac{6375}{6370}\cdot\sin(0{,}5\,^\circ+87{,}73\,^\circ)=1{,}00031$$

Literatūras vērtība ir 1,000293.

Ir iespējama arī cita risinājuma gaitā, kurā skolēns iedomājas citu ainu: stars, kas atnāk pa pieskari pie Zemes atmosfēras, un tad pēc laušanas tiek novērotāja acī.



Šajā gadījumā leņķi α nosaka no pilnīgās iekšējās atstarošanas izteiksmes $\sin\alpha=\frac{1}{n}$, bet no citas puses refrakcijas leņķis ir nosakāms kā $\rho=\frac{\pi}{2}-\alpha$. Līdz ar to gaisa laušanas koeficients ir

$$n=\frac{1}{\sin\alpha}=\frac{1}{\cos\rho}$$

Ievietojot skaitliskās vērtības, iegūst $n=\frac{1}{\cos 0{,}5\,^\circ}=\frac{1}{0{,}999962}=1{,}000038$, tas ir, tā atšķirība no viena ir aptuveni 8 reizes mazāka par īsto vērtību (0,000293).

Tam ir divi iemesli:

- Šajā shēmā objekts (Saule) neatrodas uz novērotāja horizonta
- Šajā shēmā gala atbilde ir daudz jutīgākā pret vertikālo atmosfēras struktūru.

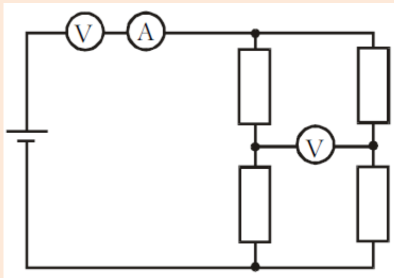
2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

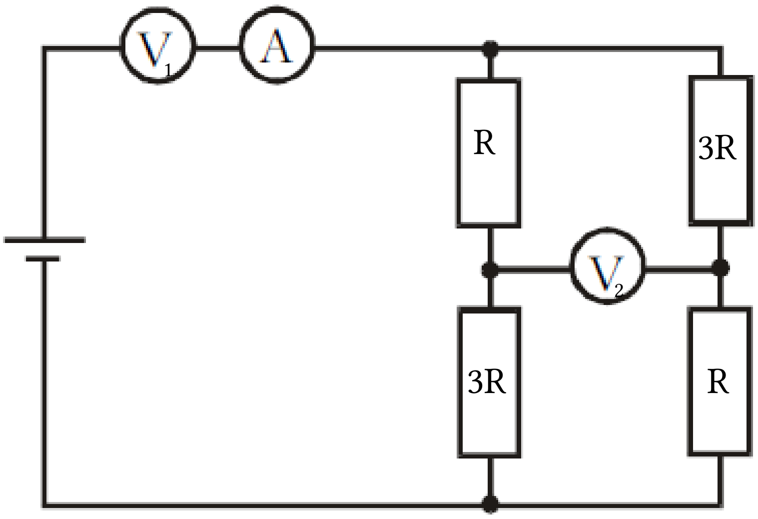
15. uzdevums.

“**Divi voltmetri**” Shēma, kas redzama attēlā, satur vienādus voltmetrus. Zināms, ka divu rezistoru pretestība ir *R*, taču divu citu pretestība ir 3*R*. No mērierīcēm var nolasīt sekojošus mērījumus – 2 mA, 3 V un 0,5 V. Atrodiet *R* vērtību!

«**Два вольтметра**» Из четырёх резисторов, показанных на схеме, сопротивления двух равны *R*, а двух других - 3*R*. Оба вольтметра одинаковы. Измерительные приборы показывают 3 В, 2 мА и 0,5 В. Найдите величину *R*.



Atrisinājums:



Acīmredzams, ka voltmetri nav ideāli, jo citādi ampērmetrs A un viens no voltmetriem būtu rādījis nulli. Var arī viegli saprast, ka

- Lielākais rādījums $U_1=3$ V ir uz “pirmā” voltmetra V_1, kas atrodas pie ampērmetra
- Katrā no zariem ir pa vienam rezistoram ar katru pretestību, pie tam tie ir novietoti dažādā kārtībā. Visi citi varianti noved pie nulles sprieguma U_2 uz “otrā” voltmetra V_2, kas atrodas starp rezistoriem.

Apzīmēsim strāvu, kas plūst caur A un V_1, par $I=2$ mA. Tad caur V_2 plūst strāva

$I_{V2}=I\cdot\frac{U_2}{U1}=\frac{1}{3}$ mA (jo neideālā voltmetra rādījums ir proporcionāls strāvai, kas caur to plūst).

No simetrijas ir skaidrs, ka strāva caur katru rezistoru R ir vienāda. Apzīmēsim tad strāvu caur rezistoru R kā $I_R=\frac{I}{2}+\Delta I$, bet caur rezistoru 3R kā $I_{3R}=\frac{I}{2}-\Delta I$.

Tad ir viegli iegūt, ka $I_{V2}=2\Delta I$ un $\Delta I=\frac{1}{6}$ mA, no kurienes $I_R=\frac{7}{6}$ mA un $I_{3R}=\frac{5}{6}$ mA.

Tagad atradīsim visas pretestības. Voltmetra pretestība ir $R_V=\frac{U}{I}=\frac{3\,V}{2\,mA}=1{,}5\,k\Omega$.

Voltmetra V_2 rādījums ir spriegumu kritumu $U_{3R}=I_{3R}\cdot 3R$ un $U_R=I_R\cdot R$ atšķirība:

$$U_2=\left(\frac{I}{2}-\Delta I\right)3R-\left(\frac{I}{2}+\Delta I\right)R=(I-4\Delta I)R,$$

no kurienes var izteikt mazākā rezistora pretestību $R=\frac{U_2}{I-4\Delta I}=\frac{0{,}5\ V}{(2-4/6)\ mA}=\frac{3}{8}\ k\Omega=375\,\Omega.$

2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

16. uzdevums.

"**Gaisa pretestība**" Lai pētītu garā diega krišanu, tam galā piestiprināja nelielu metālisko lodīti. Tā rezultātā diegs krišanas laikā izstiepās un palika vertikāls. Pēc kāda laika kopš krišanas sākuma, lodīte ar diegu sasniedza stacionāru krišanas ātrumu 15 m/s. Palielinot diega garumu divas reizes, tā stacionārais krišanas ātrums mainījās uz 9 m/s. Ar kādu ātrumu kristu lodīte ar ļoti garu diegu? Gaisa pieres (frontālo) berzes spēku neievērot; viskozās pretestības spēks ir proporcionāls krišanas ātrumam un diega garumam.

«**Сопротивление воздуха**» Для изучения падения длинной нити в воздухе к её концу привязали металлический шарик, чтобы нить при падении была вертикальной. Установившаяся скорость падения шарика с нитью составляла 15 м/с. Когда к шарику прикрепили вдвое более длинную нить, его скорость падения составила 9 м/с. Какая будет скорость падения шарика с очень длинной нитью? Силой лобового трения на шарик пренебречь; сила вязкого трения пропорциональна скорости падения и длине нити.

Atrisinājums:

Ja lodītes un diega sistēmas krišanas ātrums ir nemainīgs, tad gravitācijas pievilkšanas spēks $(M_l + m_d)g$ ir vienāds ar gaisa viskozās berzes spēku $F_{vb} = kvl$, kur k ir nezināms proporcionalitātes koeficients. Diega masa $m_d = \mu l$ arī ir proporcionāla diega garumam l; šeit μ ir diega masa uz garuma vienību. Tad vienkāršā diega krišanas ātrums tiek noteikts ar

$$(M_l + \mu l)g = k v_1 l$$

Bet divkāršā garuma diega ātrums tiek noteikts ar

$$(M_l + 2\mu l)g = k v_2 \cdot 2l$$

Atņemot pirmo vienādojumu no otrā, iegūsim, ka $\mu g = k(2v_2 - v_1)$

Ja diega garums L ir ļoti liels, tad lodītes masu var neievērot un līdzsvara ātruma nosacījums ir

$$\mu L g = k v_3 L$$

Izsakot meklējamo ātrumu, iegūsim, ka

$$v_3 = \frac{\mu g}{k} = 2v_2 - v_1 = 3\,\frac{m}{s}$$

2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

17. uzdevums.

"**Gāzes atspere**" Ideāla vienatomu gāze piepilda termiski izolētu trauku ar virzuli, kurš var kustēties gar sienām bez berzes. Ja šādā sistēmā paspiež vai pavelk virzuli, var sajust «elastības» spēku.

(a) Pierādiet, ka šādai sistēmai izpildās Huka likums.

(b) Atrodiet stinguma koeficientu un Junga moduli šādai «gāzes atsperei» pie mazām deformācijām, ja gāze atrodas cilindriskā traukā.

Piezīme: Tuvināti var pieņemt, ka $(1+x)^a \approx 1+ax$, ja $|ax| \ll 1$.

«**Пружина из газа**» Идеальный одноатомный газ заполняет теплоизолированный сосуд с поршнем, который может двигаться вдоль его стен без трения. Если в такой системе надавить или потянуть за поршень, то можно ощутить «упругие» силы.

(а) Покажите, что для этой системы выполняется закон Гука.

(б) Найдите коэффициент жёсткости и модуль Юнга такой «газовой пружины» при малых деформациях, если газ находится в цилиндрическом сосуде.

Примечание. Для $|ax| \ll 1$ выполняется приблизительное равенство $(1+x)^a \approx 1+ax$.

Atrisinājums:

Acīmredzami, ja kustīgais virzulis ir nekustīgs, tad sistēma atrodas spiedienu līdzsvaru stāvokļa: iekšējais gāzes spiediens p_0 tiek kompensēts vai nu ar virzuļa smaguma spēku, vai nu ar ārējās gāzes spiedienu, vai nu ar abiem kopā.

Tā kā trauks ir termiski izolēts, tad virzuļa kustība noved pie gāzes adiabātiskās saspiešanas vai izplešanas. Piemēram, izplešot gāzi (nedaudz kustinot laukuma S virzuli un palielinot apjomu no V_0 uz $V_1 = V_0 + \Delta V$, kur tilpuma izmaiņa ir $\Delta V = S \cdot \Delta x$), gāzes spiediens p_1 samazinās saskaņā ar adiabatas vienādojumu (vienatomu gāzei adiabatas indekss $\gamma = 5/3$):

$$p_0 V_0^\gamma = p_1 V_1^\gamma$$

Ārējā un iekšējā spiediena atšķirība radīs spēku, kas darbosies pret tilpuma izmaiņai. Šis spēks būs vienāds ar

$$F = (p_0 - p_1) S = p_0 S \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^\gamma\right) = p_0 S \cdot \left(1 - \left(1 + \frac{\Delta V}{V_0}\right)^\gamma\right) \approx -p_0 S \cdot \gamma \frac{\Delta V}{V_0}$$

$$F = \frac{-\gamma p_0 S^2}{V_0} \Delta x$$

Redzam, ka spēks ir proporcionāls nobīdei no līdzsvara stāvokļa un ir vērsts pretēji tai. Tas ir Huka likuma izpildīšanas nosacījums.

Sistēmas stinguma koeficients ir $k = \frac{|F|}{\Delta x} = \frac{\gamma p_0 S^2}{V_0}$. Kā arī sagaidāms, gāzes stingums palielinās pie lielākā ārējā spiediena, mazākā gāzes apjoma un lielāka virzuļa laukuma.

Cilindriskā traukā (tātad, $V_0 = xS$¿ esošās gāzes Junga modulis ir izrēķināms kā

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/S}{\Delta x/x} = \frac{\frac{\gamma p_0 S^2}{xS} \Delta x}{\Delta x} \cdot \frac{x}{S} = \gamma p_0$$

Kā redzams, pēc lieluma tas ir līdzīgs ārējam spiedienam.

2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

18. uzdevums.

“**Ūdeņraža sabrukšana**” Negatīvi ūdeņraža joni H- ielido perpendikulārā magnētiskā laukā, kas perpendikulārs to ātrumam un kura indukcija ir B = 40 T. Aprēķināt maksimālo ātrumu, pie kura šie joni neizjūk, ņemot vērā ka šī jona jonizācijas enerģija ir ap 0,75 eV, un attālums no elektroniem līdz kodolam sastāda ap 0.3 nm. Elektronvolts (eV) ir ārpussistēmas enerģijas mērvienība, 1 eV = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J.

«**Распад водорода**» Отрицательные ионы водорода H^- влетают в поперечное магнитное поле индукции B = 40 Тл. Оцените, при какой максимальной скорости они ещё не разрушаются магнитным полем. Энергия ионизации отрицательного иона водорода составляет около $1 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Atrisinājums:

Būs vēlāk.

2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

19. uzdevums.

“**Bērnu pistole**” Modelēsim bērnu pistoli kā masas M atsperi, kura ar vienu galu ir piestiprināta pie nekustīgās sienas. Kad šāda pistole šauj ar masas m lodīti, tās ātrums pēc izšaušanas ir v. Ja paņemt divreiz smagāku lodīti, tad tās ātrums būs $v\sqrt{2/3}$. Nosakiet ātrumu trīskāršās masas lodītei!

«**Пистолетик**» Представим себе механизм игрушечного пистолета в виде пружины массы M, одним концом прикреплённой к неподвижной стенке. Когда пистолет стреляет шариком массы m, то придаёт ему скорость v. Если же шарик заменить на вдвое более тяжёлый, его скорость после выстрела будет $v\sqrt{2/3}$. Определите скорость шарика массы $3m$.

Atrisinājums:

Lodītes paātrinājums turpinās līdz atsperes gala ātrums vairs nepalielinās. Apzīmēsim lodītes un atsperes gala ātrumu par v_l, lodītes masu par m_l, sākotnējo atsperē saglabāto enerģiju par E un pierakstīsim enerģijas nezūdamības likumu:

$$E=\frac{m_l v_l^2}{2}+k\frac{M v_l^2}{2}$$

Pēdējais loceklis satur atsperes kinētisko enerģiju lodītes atdalīšanas laikā. Proporcionalitātes koeficients k, vispārīgi sakot, nav zināms, bet ir vienāds ar ¼, ja atsperes daļu ātrums ir proporcionāls attālumam no nekustīgās sienas.

Apzīmēsim abu nezināmo kombināciju ar $\mu \equiv kM$. Tad, salīdzinot divus dotus gadījumus, izteiksim

$$\frac{m v^2}{2}+\frac{\mu v^2}{2}=\frac{2m\cdot\frac{2}{3}v^2}{2}+\frac{\mu\cdot\frac{2}{3}v^2}{2}$$

vai

$$m+\mu=\frac{4}{3}m+\frac{2}{3}\mu$$

No tā iegūsim sakarību $\mu=m$, vai $E=m v^2$. Atbilstoši, lodītes masai $3m$ dabūsim

$$m v^2=\frac{3m\cdot v_3^2}{2}+\frac{m v_3^2}{2}$$

$$v_3=\sqrt{\frac{1}{2}}\cdot v\approx 0{,}707\, v$$

2022. gada Latvijas atklātā fizikas olimpiāde

11.-12. klases komplekts.

20. uzdevums.

“**Nesteidzies!**” Astronauts stāv uz lodveida asteroīda ekvatora. Asteroīda blīvums ir 2,022 g/cm^3 un diametrs ir 2,022 km. Vai viņš spēs apiet apkārt šī asteroīda ekvatoram 2,022 stundu laikā? Vai ir kādi papildus nosacījumi?

Piezīme: šajos ciparos “,” ir decimāls komats.

«**Не торопись!**» Космонавт стоит на экваторе шарообразного астероида плотностью 2,022 г/см^3 и диаметром 2,022 км. Сможет ли он обойти астероид по экватору за 2,022 часа? Есть ли для этого дополнительные условия?

Примечание. в этих числах «,» - десятичный разделитель.

Atrisinājums:

Ātrums, kas ir nepieciešams, lai x stundās izietu πx kilometrus, ir π km/s, tātad, gājējam sasniedzams.

Taču sasniedzot šo ātrumu, var izrādīties, ka astronauts aizlidos no asteroīda, ja tas būs lielāks par 1. kosmisko ātrumu v_{1k} (riņķveida orbītas ātrumu).

Izvedīsim 1. kosmiskā ātruma izteiksmi no nosacījuma, ka gravitācijas pievilkšanas paātrinājums ir vienāds ar centrtieces paātrinājumu:

$$G\frac{M}{R^2}=\frac{v_{1k}^2}{R}$$

Iegūsim standarta 1. kosmiskā ātruma izteiksmi $v_{1k}=\sqrt{G\frac{M}{R}}$, vai, izsakot nezināmo rādiusu caur diametru $R=D/2$, un nezināmo asteroīda masu $M=\frac{1}{6}\pi D^3\rho=8{,}75\cdot 10^{12}$ kg caur tā blīvumu ρ,

$$v_{1k}=D\sqrt{\frac{\pi}{3}G\rho}.$$

Ievietojot skaitliskās vērtības,

$$v_{1k}=2022\,m\cdot\sqrt{\frac{3{,}1416}{3}\cdot 6.674\cdot 10^{-11}\frac{m^3}{kgs^2}\cdot 2022\frac{kg}{m^3}}=0{,}76\frac{m}{s}=2{,}74\frac{km}{h}$$

No Keplera likumiem seko, ka ķermeņa gravitācija nav pietiekami stipra, lai atļautu apriņķot asteroīdu ar lielāku ātrumu: gravitācija nevarēs nodrošināt kustībai nepieciešamo centrtieces paātrinājumu. Tāpēc astronauta soļa trajektorijas liekuma rādiuss būs lielāks par asteroīda rādiusu un, mēģinot kustēties pārāk ātri, astronauts aizlidos prom no asteroīda virsmas.

Ir divi relatīvi vienkārši veidi, kas varētu palīdzēt dotā laikā apriņķot asteroīdu.

1. Izmantot dzinējus, kas nodrošinātu papildus centrtieces paātrinājumu. Reaktīvam dzinējam būtu jābūt vērstiem radiāli prom no asteroīda centra.
2. Izmantot asteroīda rotāciju, ja tā ir pietiekami ātra. Ja ekvatora rotācijas ātrums ir lielāks par $(\pi - 2{,}74)\frac{km}{s} \approx 0{,}40\frac{km}{s}$, tad astronauts var pārvietoties pretēji asteroīda rotācijas virzienam, tādējādi paātrinot savu kustības virzienu pret virsmu, bet nepalielinot kustībai nepieciešamu centrtieces paātrinājumu, un apiet apkārt asteroīdam dotajā laikā.
   Šāds rotācijas ātrums nav pretrunā uzdevuma nosacījumam, jo tas atbilst virsmas kustības ātrumam, kas ir mazāks par 1. kosmisko ātrumu, tātad, astronauts tiešām varēs stāvēt uz ekvatora, kā pateikts nosacījumā.

   Arī praksē ir novērojami līdzīgie nelielo asteroīdu rotācijas ātrumi. Piemēram, labi izpētīts Zemei tuvs asteroīds Bennu, kura diametrs ir ap 490 metriem, rotē ar periodu 4.3 h. Tā ekvatora punktu rotācijas ātrums ir $v_{eq,Bennu} = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi \cdot 245\,m}{4.3 \cdot 3600\,s} = 0.10\frac{m}{s}$, bet 1. kosmiskais ātrums uz pola tikai nedaudz to pārsniedz un ir

$$v_{1k,Bennu} = \sqrt{G\frac{M}{R}} = \sqrt{6.674 \cdot 10^{-11}\frac{m^3}{kg\,s^2} \cdot \frac{7.33 \cdot 10^{10}\,kg}{245\,m}} = 0.141\frac{m}{s}$$

   Tātad, uz šī asteroīda ekvatora brīvās krišanas paātrinājums ir ievērojami mazāks, nekā uz pola. Lai no tā ekvatora sasniegtu 1. kosmisko ātrumu tā rotācijas virzienā, ir jākustas ar ātrumu 0.04 m/s pret virsmu, bet pretējā virzienā nepieciešamais ātrums ir 0.24 km/s.