

18-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
2-oji užduotis Nr. FT18-2 / 2024 07 31 – 2024 08 27

Skridiniai ir pasvarai

Sąlyga / FT18-2 ▼

Yra paeiliui išdėstyti trys lengvi skridiniai: du nekilnojamieji skridiniai, galintys laisvai sukstis apie nejudamai įtvirtintas pakabas, ir tarp jų įterptas kilnojamasis skridinys, sujungti tarpusavyje permestu lengvu ir netašiu siūlu. Čia yra ir trys pasvarai: ant kilnojamojo skridinio sukimosi ašies pakabintas $m_2 = 40$ g masės pasvaras, o ant permesto per skridinius siūlo galą – pasvarai, kurių masės $m_1 = 18$ g ir $m_3 = 22$ g.

Po pasvarų prilaikymo viename aukštyje šią sistemą paleidus judėti, kaip ir buvo tikėtasi, mažiausios masės pasvaras ėmė kilti aukštyn, o kiti pasvarai – leistis žemyn. Pateikite aiškinamąjį brėžinį, jame parodę pasvarus veikiančių jėgų bei jų pagreičių vektorius, ir raskite:

- 1) Siūlo įtempimo jėgą (mN);
- 2) Pasvarų pagreičius;
- 3) Jų poslinkius per laiko tarpą $t = 0,8$ s nuo judėjimo pradžios;
- 4) Pasvarų svorio jėgą, veikiančią nekilnojamųjų skridinių pakabas, ir palyginkite ją su nejudamai pakabintų pasvarų svoriu.

Atkreipę dėmesį į tai, kad $m_2 = m_1 + m_3$; $m_1 = 0,5m_2 - \Delta m$; $m_3 = 0,5m_2 + \Delta m$, o $\Delta m = 2$ g, aptarkite galimą judančių pasvarų svorio priklausomybę nuo lengvesnių pasvarų masių skirtumo $2\Delta m$, jei jis būtų kitoks, nei 4 g.

Gravitacinio lauko stipris $g = 9,8$ N/kg.

Užduotį parengė doc. dr. Stasys Tamošiūnas – Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Fotonikos ir nanotechnologijų instituto senjoras, mokyklos „Fizikos olimpas“ direktorius, steigėjų tarybos narys ir dėstytojas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2024 07 31.

Aiškinamasis sprendimas / FT18-2 ▼

Duota: $m_2 = 0,04$ kg; $m_1 = 0,018$ kg; $m_3 = 0,022$ kg; $t = 0,8$ s; $g = 9,8$ N/kg.

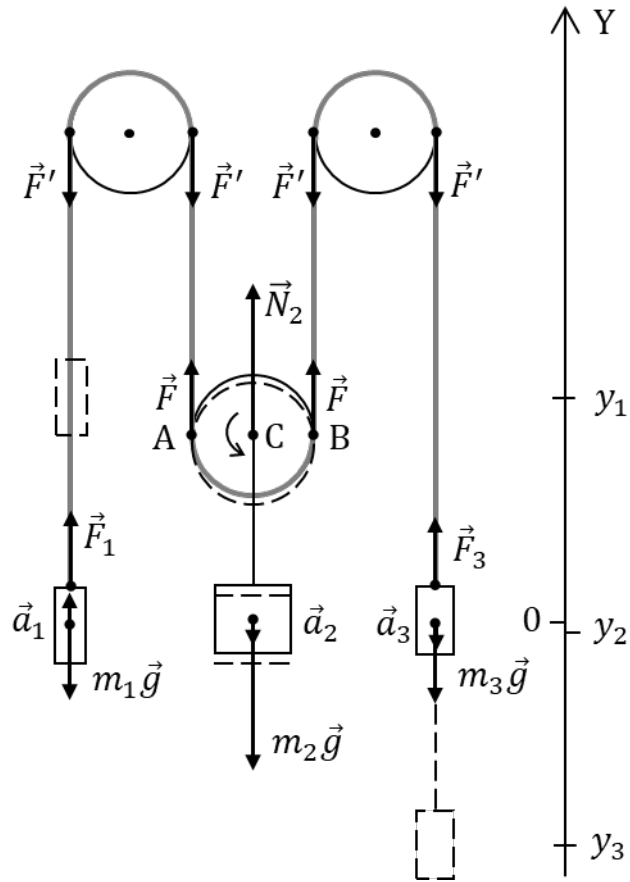
Rasti: F ; a_1 ; a_2 ; a_3 ; s_{1Y} ; s_{2Y} ; s_{3Y} ; P .

Pasvarus veikia sunkio jėgos $m_1\vec{g}$; $m_2\vec{g}$ ir $m_3\vec{g}$, siūlo įtempimo jėgos \vec{F}_1 ir \vec{F}_3 bei kilnojamojo skridinio sukimosi ašies reakcijos jėga \vec{N}_2 . Pagal antrąjį Niutono dėsnį:

$$m_1\vec{g} + \vec{F}_1 = m\vec{a}_1; \quad m_2\vec{g} + \vec{N}_2 = m_2\vec{a}_2; \quad m_3\vec{g} + \vec{F}_3 = m_3\vec{a}_3.$$

Skridiniai nesipriešina sukimui apie jų ašis (lengvi, tai į inertiškumą galima neatsižvelgti, o ir nėra duomenų apie trintį ašyse), tai siūlo įtempimo jėgos visur yra vienodos ($F_1 = F_2 = F_3 = F$), o ir $N_2 = 2F$. Įvertinę tai, o ir projektuodami vektorius į pasirinktą stačią ašį Y, turime tris lygtis:

$$-m_1g + F = m_1a_{1Y}; \quad -m_2g + 2F = m_2a_{2Y}; \quad -m_3g + F = m_3a_{3Y}.$$



Pasvarų pagreičių tarpusavio sąsają galime rasti nagrinėdami kilnojamojo skridinio greitėjančią sukimąsi apie jo ašį, taikydami pagreičių sudėties taisyklę, pagal kurią skridinio taško A pagreitis nejudančioje atskaitos sistemoje (Žemės atžvilgiu) $-\vec{a}_1$ (priešinga kryptis nei kylančio aukštyr lengviausio pasvaro pagreičio \vec{a}_1) lygus vektorinei sumai dviejų pagreičių – linijinio pagreičio \vec{a} (paveiksle neparodytas) sukimosi ašies C atžvilgiu (judančioje atskaitos sistemoje) ir pačios ašies (kartu su masės m_2 pasvaru) pagreičio nejudančioje sistemoje \vec{a}_2 :

$$-\vec{a}_1 = \vec{a} + \vec{a}_2.$$

Taip pat ir kilnojamojo skridinio taško B pagreitis nejudančioje atskaitos sistemoje $-\vec{a}_3$ (priešinga kryptis nei besileidžiančio žemyn trečiuoju paminėto pasvaro) lygus vektorinei sumai linijinio pagreičio $-\vec{a}$ ir ašies C pagreičio \vec{a}_2 :

$$-\vec{a}_3 = -\vec{a} + \vec{a}_2.$$

Iš šių dviejų vektorinių lygčių (jas sudėjus) randamas antrojo pasvaro pagreitis ir jo projekcijos į ašį Y sąsaja su kitų pagreičių projekcijomis:

$$\vec{a}_2 = -\frac{1}{2}(\vec{a}_1 + \vec{a}_3); \quad a_{2Y} = -\frac{1}{2}(a_{1Y} + a_{3Y}); \quad 2a_{2Y} + a_{1Y} + a_{3Y} = 0.$$

Siūlo įtempimo jėgą randame surašę čia pagreičių projekcijų išraiškas, gautas pagal antrąjį Niutono dėsnį:

$$\frac{4F}{m_2} - 2g + \frac{F}{m_1} - g + \frac{F}{m_3} - g = 0;$$

$$F = \frac{4m_1m_2m_3g}{4m_1m_3 + m_1m_2 + m_2m_3};$$

$$F = \frac{4 \cdot 0,018 \cdot 0,04 \cdot 0,022 \cdot 9,8}{4 \cdot 0,018 \cdot 0,022 + 0,018 \cdot 0,04 + 0,04 \cdot 0,022} \approx 195 \text{ (mN)}.$$

Pasvarų pagreičių ir poslinkių projekcijos į ašį Y:

$$a_{1Y} = \frac{F}{m_1} - g; \quad a_{1Y} = \frac{0,195}{0,018} - 9,8 \approx 1,03 \text{ (m/s}^2\text{)};$$

$$a_{2Y} = \frac{2F}{m_2} - g; \quad a_{2Y} = \frac{2 \cdot 0,195}{0,04} - 9,8 = -0,05 \text{ (m/s}^2\text{)};$$

$$a_{3Y} = \frac{F}{m_3} - g; \quad a_{3Y} = \frac{0,195}{0,022} - 9,8 \approx -0,94 \text{ (m/s}^2\text{)}.$$

$$s_Y = y - 0 = a_Y \frac{t^2}{2};$$

$$s_{1Y} = 1,03 \frac{0,8^2}{2} = 0,33 \text{ (m)}; \quad s_{2Y} = -0,05 \frac{0,8^2}{2} = -0,016 \text{ (m)}; \quad s_{3Y} = -0,94 \frac{0,8^2}{2} \approx -0,3 \text{ (m)}.$$

Lengvų nekilnojamųjų skridinių pakabas veikianti judančių pasvarų svorio jėga lygi keturių žemyn nukreiptų siūlo įtempimo jėgų \vec{F}' ($F' = F$, nes siūlas lengvas) sumai:

$$P = 4F; \quad P = 4 \cdot 0,195 = 780 \text{ (mN)}.$$

Ji yra mažesnė už tiesiogiai (be skridinių) pakabintų pasvarų svorį, kuris lygus jų sunkių sumai:

$$P_0 = (m_1 + m_2 + m_3)g; \quad P_0 = (0,018 + 0,04 + 0,022) \cdot 9,8 = 784 \text{ (mN)}.$$

Randame judančių pasvarų svorio priklausomybę nuo lengvesnių pasvarų masių skirtumo:

$$P(2\Delta m) = \frac{16(0,5m_2 - \Delta m)m_2(0,5m_2 + \Delta m)g}{4(0,5m_2 - \Delta m)(0,5m_2 + \Delta m) + (0,5m_2 - \Delta m)m_2 + m_2(0,5m_2 + \Delta m)} =$$

$$= \frac{16(0,25m_2^2 - \Delta m^2)m_2g}{4(0,25m_2^2 - \Delta m^2) + m_2^2} = 4m_2 \frac{m_2^2 - 4\Delta m^2}{2m_2^2 - 4\Delta m^2} g = 4m_2 \frac{1 - \left(\frac{2\Delta m}{m_2}\right)^2}{2 - \left(\frac{2\Delta m}{m_2}\right)^2} g.$$

$2\Delta m, \text{ g}$	0	4	8	16	24	32	36	40
$P, \text{ mN}$	784	780	768	716	611	415	250	0

Lentelėje pateikti skaičiavimo rezultatai rodo, kad didėjant tų pasvarų masių skirtumui $2\Delta m$ nuo 0 iki m_2 judančių pasvarų svoris P mažėja nuo $P_0 = 784 \text{ mN}$, kai nėra pagreičio, iki nesvarumo būsenos $P' = 0$, kai siūlas neįtemptas ($m'_1 = 0$) ir nebesiejami siūlu pasvarai, kurių masės $m'_3 = m_2$, krinta laisvai, veikiami tik sunkio jėgų.

Aiškinamąjį sprendimą pateikė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2024 09 16.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT18-2 ▼

Užduotį teisingai išsprendė trys turnyro dalyviai, kiti įvairiai klydo, analizuodami turimus duomenis ir skaičiuodami, o ir nepakankamai atsakė į pateiktus klausimus: brėžiniuose parodė ne

visas pasvarus veikiančias jėgas, neįvertino lengvesnių pasvarų pagreičių nevienodumo bei visų pasvarų svorio priklausomybės nuo tų pasvarų masės skirtumo, ypač kai jis yra didesnis, nei 4 g.

Du turnyro dalyviai nepateikė aiškinamųjų brėžinių, o kitiems šešiams jų fotonuotraukas, o ne kompiuteriu paruoštus brėžinius, pateikusiems dalyviams tenka priminti, kad brėžiniai gaunami braižant, o ne virpančia ranka suraitant mėgėjišką eskizą. Tiesias siūlo dalis tarp skridinių ir kryptines tiesių atkarpas (vektorius) tikrai pavyktų nubrėžti pasinaudojus paprastu fizikiniu prietaisu – liniuote.

Sprendimų aptarimą parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2024 09 16.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT18-2 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Aiškinamasis brėžinys	2
2.	Siūlo įtempimo jėga	2
3.	Pagreičiai ir poslinkiai	3
4.	Pasvarų svoris ir jo priklausomybė nuo masių skirtumo	3
5.	Nerodomi skaičiavimai	-1
6.	Netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr. 1-4)	iki (-1)
Didžiausias galimas sprendimų įvertinimas		10

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2024 09 16.