

8.3.2.1./16/I/002

NACIONĀLA UN STARPTAUTISKA MĒROGA PASĀKUMU ĪSTENOŠANA IZGLĪTOJAMO TALANTU ATTĪSTĪBAI
Strūgu iela 4, Rīga, LV-1003, tālr. 67350966, e-pasts: info@832.visc.gov.lv

Fizikas Valsts 73. olimpiāde Trešā posma uzdevumi 10. klasei

10-D Uzdevums par balonu (demonstrējums)

Video ar demonstrējumu var atrast: <https://youtu.be/-dQQJsBsXRI>

Visos zemāk dotajos uzdevumos, ja nav norādīts citādi, burkas pamatne un pie balona piesietā pamatne var kustēties tikai pa horizontālu taisni, un burka netiek rotēta ap savu centru (gravitācijas spēka virziens ir perpendikulārs burkas pamatnei). Vari pieņemt, ka burkas diametrs ir pietiekami liels, lai korķis nesadurtos ar burkas malām.

- A. (2.5 punkti) Aplūkosim demonstrējumu ar balonu. Kā ir jākustina pamatne, lai leņķis, ko aukla veido ar pamatni būtu nemainīgs? Nosauc spēkus, kas darbojas uz balonu šādas kustības rezultātā un uzzīmē spēku diagrammu! Šajā uzdevumā pieņem, ka gaisa pretestības spēks pieaug, pieaugot kustības ātrumam.

Atrisinājums:

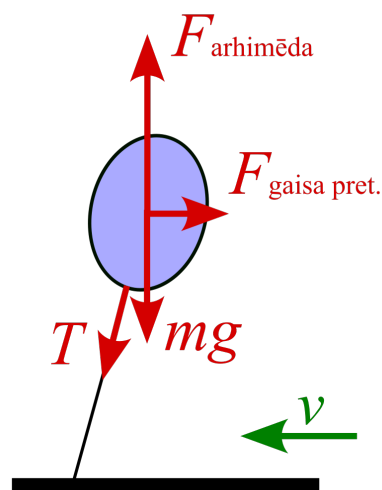
Leņķis, ko aukla veido ar pamatni, būs nemainīgs, ja uz balonu kopējais spēks ir vienāds ar nulli un paliek vienāds ar nulli (Ņūtona pirmais likums).

Iedomāsimies, ka balons atrodas šādā situācijā. Ievērosim, ka uz balonu darbojas gaisa pretestības spēks, kas ir proporcionāls ātrumam. Tāpēc, ja balona ātrums pēkšņi mainās, gaisa pretestības spēks mainīsies, un attiecīgi kopējais spēks uz balonu vairs nebūs vienāds ar nulli.

Varam secināt, ka, lai aukla veidotu konstantu leņķi ar pamatni, balonam ir jākustas vienmērīgi jeb pamatne ir jākustina vienmērīgi (ar nemainīgu ātrumu).

Uz balonu darbojas sekojoši spēki:

- Gravitācijas spēks ($-mg$) virzienā uz leju
- Gaisa pretestības spēks virzienā pretēji kustības virzienam
- Auklas radītais sastiepuma spēks, kas darbojas paralēli auklai
- Arhimēda spēks (ρVg) – virzienā pretēji gravitācijas spēkam



- B. (1 punkts) Nosauc būtisko atšķirību starp diviem demonstrējumiem (gaisā peldošu balonu un ūdenī peldošu korķi), kas nosaka, ka šīs sistēmas uzvedīsies citādāk, ja to pamatnes tiek kustinātas. Mini piemēru, kā “mājas apstākļos” var pārveidot sistēmu ar balonu tā, lai balons un aukla uzvestos tieši tā, kā korķis demonstrējumā ar burku!

Atrisinājums:

Būtiskā atšķirība starp šiem demonstrējumiem ir sekojoša. Demonstrējumā ar burku korķis peld ūdenī, un šis ūdens tiek kustināts līdzī burkai un korķim. Savukārt, demonstrējumā ar balonu, balons peld gaisā, bet gaiss paliek stacionārs laboratorijas atskaites sistēmā—tas nekustās līdzī ar balonu.

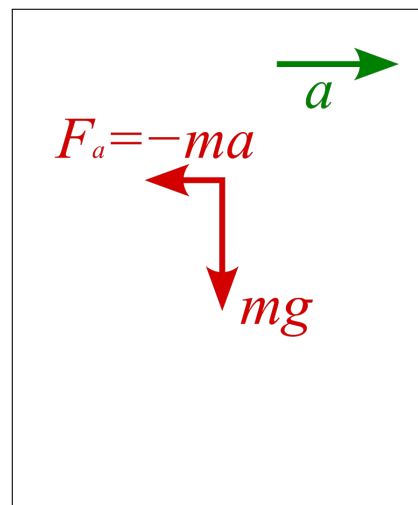
Lai atkārtotu līdzīgu eksperimentu kā ar korķi, gaiss, kurā peld balons, ir jākustina kopā ar platformu, pie kuras ir piesiets balons. Šo var veikt, piemēram, automašīnā, vilcienā, vai tramvajā. Tik tiešām, ja transportlīdzeklis paātrinās, tad auklā iesieti baloni transportlīdzekļa salonā lieksies paātrinājuma virzienā.

- C. (4 punkti) Tagad apskatīsim demonstrējumu ar burkā peldošu korķi. Nosauc pie kādām burkas kustībām demonstrējumā parādītā aukla ar korķi saliecas kustības virzienā, un paskaidro kāpēc!

Atrisinājums:

Aukla ar iesieto korķi saliecas leņķī, kad burka tiek kustināta paātrināti.

Ja burka tiek paātrināta horizontālā virzienā ar paātrinājumu, uz tās saturu darbojas smaguma spēks $F_a = -ma$, kas ir pretējs paātrinājuma virzienam¹ (paātrinājuma izraisītā spēka lielums nav nepieciešams demonstrējuma skaidrojumam; būtiski ir saprast tikai virzienu). Kopējais smaguma spēks sastāv no šī smaguma spēka un gravitācijas izraisītā smaguma spēka, mg . Tātad, ja burka tiek paātrināta, kopējais smaguma spēks vairs nav vērsts virzienā uz leju, bet gan ir nedaudz liekts virzienā pretēji tam, kurā burka tiek paātrināta.



Arhimēda spēks darbojas virzienā, kas ir pretējs kopējā smaguma spēka virzienam (tas skaidrojams ar to, ka spiediens šķidrumā pieaug smaguma spēka virzienā). Tātad, tas ir viegli liekts virzienā, kurā tiek paātrināta burka. Tā kā ūdens ir blīvāks par korķi, Arhimēda spēks, kas darbojas uz korķi, ir lielāks nekā kopējais smaguma spēks uz korķi, un attiecīgi kopējam spēkam, kas darbojas uz korķi, ir horizontāla komponente burkas paātrinājuma virzienā.

Pie vienmērīga burkas paātrinājuma korķis ir līdzsvarā (burkas atskaites sistēmā), ja aukla ir saliekusies tieši tādā leņķī, kurā darbojas kopējais smaguma spēks un Arhimēda spēks (tas ir, šie spēki darbojas pretēji sastiepuma spēka virzienam no auklas).

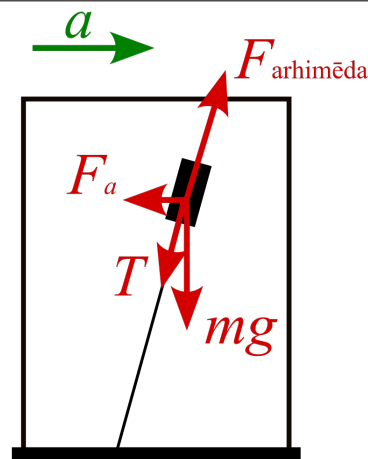
¹Klasisks piemērs šim fenomenam ir lifts, kas paātrinās uz augšu—esot šādā liftā, uz tevi darbojas papildus smaguma spēks virzienā uz leju, un kopējais smaguma spēks ir lielāks. Līdzīgi, iedomājies sevi sēžam automašīnā, kas paātrinās uz priekšu—tu izjūti papildus smaguma spēku, kas tevi spiež atpakaļ sēdekli.

- D. (1 punkts) Pie kādām burkas kustībām auklas leņķis ar pamatni ir nemainīgs? Kādā virzienā lieksies aukla ar korķi, ja burka tiek kustināta vienmērīgā riņķveida kustībā pa horizontālu plakni?

Atrisinājums:

Auklas leņķis ar pamatni ir nemainīgs tad, ja burka tiek kustināta ar vienmērīgu paātrinājumu (tas var būt arī vienāds ar nulli—tādā gadījumā aukla ir pārvērsta vertikāli).

Lai burku vienmērīgi kustinātu pa riņķi, tā ir vienmērīgi jāpaātrina riņķa centra virzienā. Tātad, aukla ar korķi būs saliekusies riņķa centra virzienā.

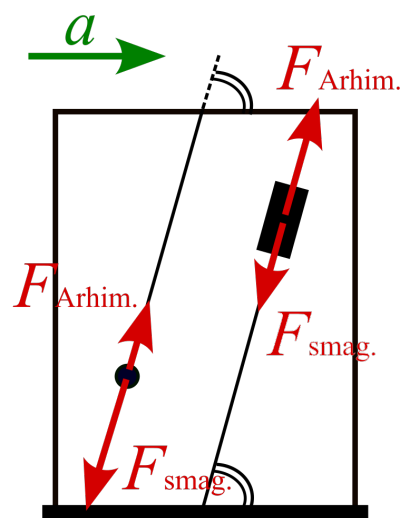


- E. (1.5 punkti) Burkā blakus korķim no burkas augšgala auklā tiek iekārta svina bumbiņa (vari pieņemt, ka korķis un svina bumbiņa nesaskaras, kā arī to auklas savstarpēji nepinās). Kā jākustina burka, lai aukla, kurā iekārta svina lodīte, vairs nekarātos vertikāli, bet gan saliektos? Vai šī aukla lieksies tajā pašā virzienā, kurā aukla ar iesieto korķi? Uzskicē kā lieksies aukla ar korķi un aukla ar lodīti šādu kustību rezultātā!

Atrisinājums:

Ar līdzīgu skaidrojumu kā atbildē uz C jautājumu var pamatot, ka lodīte nekarāsies vertikāli, ja burka tiks paātrināta horizontāli.

Ja ūdenī novietota objekta blīvums ir lielāks par ūdens blīvumu, tad kopējais smaguma spēks pārsniegs Arhimēda spēku, un objekts karāsies smaguma spēka virzienā. Šī ir situācija ar svina lodīti, jo svins ir blīvāks par ūdeni. Savukārt, ja ūdenī novietota objekta blīvums ir mazāks par ūdens blīvumu, tad Arhimēda spēks būs lielāks nekā smaguma spēks uz objektu, un objekts peldot “karāsies” Arhimēda spēka virzienā. Šī ir situācija ar korķi. Tātad, korķis lieksies paātrinājuma virzienā, savukārt lodīte lieksies pretēji paātrinājuma virzienam.

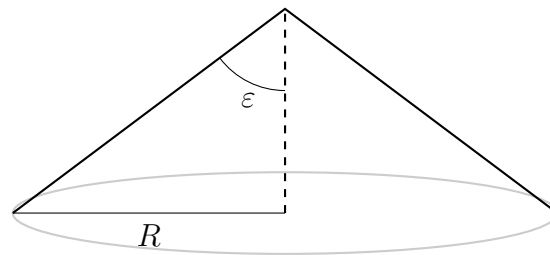


Pa labi ir uzskicēta situācija ar iezīmētiem Arhimēda un smaguma spēkiem (sastiepuma spēks nav iezīmēts). Kā papildus nosacījumu šim eksperimentam var ievērot, ka abas auklas—aukla, kurā ir iekārta lodīte, un aukla, kurā ir iekārts korķis—būs vienādā leņķī pret burkas pamatni.

10-E Konusa gaisa pretestība (eksperiments)

Darba materiāli un mērinstrumenti

- 25 cepamā papīra konusi (5 dažādi pamata laukumi (pamata rādiusi R atbilstoši 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm un 7 cm) un 5 dažādi virsotnes leņķi (atbilstošie konusa virsotnes šķēluma pusleņķi ir 30° , 40° , 50° , 60° un 70°). Skatīt attēlu.;
- Mērlenta;
- Hronometrs.



Šajā uzdevumā eksperimentāli centīsities izpētīt gaisa pretestības spēku, kas darbojas uz konusu gaisa plūsmā.

Darba mērķis Eksperimentāli iegūt sakarību, kas apraksta gaisa pretestības spēku uz konusu gaisa plūsmā.

Sniedzot atbildi uz jebkuru no sekojošajiem darba uzdevumiem norādi mērījumus un formulas, kuras tika izmantotas, lai nonāktu pie rezultāta! Konusiem ir paredzēts krist ar spīco galu uz leju (kritiens ar tukšo galu uz leju nav stabils). Ja nepieciešams, vari veikt augstuma atzīmes uz gaišās līmlentas, kas uzlīmēta uz kartona norobežojuma ārpusē. **Uz kartona nekādas atzīmes neveic!**

- A. (1 punkts) Ja konusu palaiž vaļā no nekustīga stāvokļa, tad sākuma momentā konusa ātrums mainīsies, bet pēc kāda attāluma (vai laika) konuss pārvietosies ar nemainīgu ātrumu. Novērtē, cik lielā attālumā no palaišanas vietas konuss krīt ar gandrīz nemainīgu ātrumu!

Atrisinājums:

Vispirms veic vienu mērījumu, kur izmēri, ka no paceltas rokas augstuma (apmēram 2 m) visspicākais konuss nokrīt apmēram 1 s laikā. tas nozīmē, ka vidējais krišanas ātrums ir apmēram 2 m/s. Ja objekts brīvi kristu, tad šis ātrums tiktu sasniegts veicot attālumu h , kur h var iegūt no kinemātikas sakarībām vai no mehāniskās enerģijas nezūdamības likuma:

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = \frac{2^2}{2 \cdot 10} = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm} \quad (1)$$

Uzziņai: Ja precīzi izrēķina vienādojumus, kas apraksta objekta brīvo krišanu ar pretestības spēku, kas proporcionāls ātrumam kvadrātā, tad var iegūt, ka:

$$v(h) = v_\infty \sqrt{1 - e^{-\frac{2gh}{v_\infty^2}}} \quad (2)$$

kur v_∞ ir nemainīgais kustības ātrums. Pie iepriekš veiktajiem pieņēmumiem $v = 2 \text{ m/s}$ un $h = 0.2 \text{ m}$ iegūstam $v = 1.59 \text{ m/s}$, kas ir gandrīz 80% no maksimālā ātruma. Lai sasniegtu 95% no maksimālā ātruma ir jāņem attālums $h = 47 \text{ cm}$

Komentārs labotājiem: Jebkura vērtība no $\approx 10 \text{ cm}$ līdz $\approx 50 \text{ cm}$ ir derīga gala vērtība. Ja ir labs pamatojums, tad var derēt arī vērtības ārpus šī intervāla, jo šis ir novērtēšanas uzdevums.

Ieteikums vērtēšanai (redzot reālus darbus šo var būt nepieciešamība rediģēt):

- Pamatojums: 0.5 punkti
- Aprēķinu formula: 0.2 punkti
- Vērtīgs skaitliskais rezultāts: 0.3 punkti

B. (1 punkts) Apraksti metodi, kā noteiksi, cik liels ir nemainīgais krišanas ātrums! Pamato izvēlēto metodi! Šajā darbā netiek prasīts aprēķināt kļūdas, tomēr, lai veiktu argumentētus secinājumus tālākajos uzdevumos, tev jāizdomā metode, kas pēc iespējas samazina rezultātu neprecizitāti.

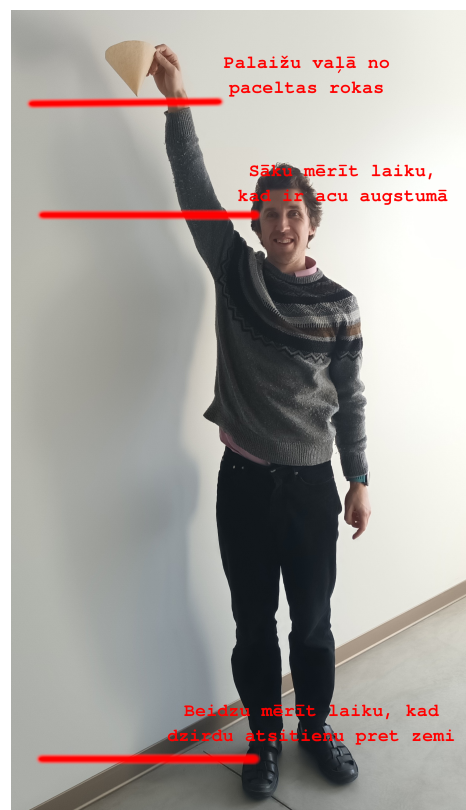
Atrisinājums:

Kā tika iegūts iepriekšējā jautājumā, tad, apmēram, pirmos 20 lidojuma centimetrus vajadzētu ņemt ārā no mērījuma. Lai samazinātu mērījuma kļūdu, kas rodas cilvēka reakcijas un mērinstrumentu sistemātisko kļūdu dēļ, jāizvēlas pēc iespējas garāks lidojuma attālums (neietverot pirmos 20 cm). Kā arī vajadzētu izvēlēties tādus augstuma punktus (kuros sākt un beigt mērīt), kurus viegli precīzi identificēt.

Konusa palaišanas vieta: virs galvas izstiepta roka (apmēram 20 cm to 50 cm virs acu līmeņa). Krišanas laiks tiek sākts mērīt: kad konusa apakšējā mala šķērso izvēlēto augstumu acu līmenī. Krišanas laiks tiek beigts mērīt, kad konuss pieskaras zemei (dzirdama skaņa). Uzstādījumu skatīt attēlā.

Ieteikums vērtēšanai:

- Neņem vērā sākuma posmu: 0.3 p
- Izvēlas precīzi nosakāmu sākuma punktu: 0.2 p
- Izvēlas precīzi nosakāmu beigu punktu: 0.2 p
- Attālums starp sākuma un beigu punktiem vismaz 1 m: 0.3 p



C. (3 punkti) Nosaki nemainīgā krišanas ātruma atkarību no konusa pamata laukuma rādiusa R un virsotnes pusleņķa ε (R un ε norādīti attēlā augstāk). Izveido mērījumu tabulu vai tabulas un veic mērījumus! Grafiski attēlo nemainīgā krišanas ātruma v atkarību no konusa pamata rādiusa R ! Vari zīmēt gan vienā grafikā visus mērījumus (dažādos virsotnes leņķus norādot ar dažādām krāsām), gan katram virsotnes leņķim zīmēt citu grafiku. Neaizmirsti par tabulu un grafiku noformējumu!

Atrisinājums:

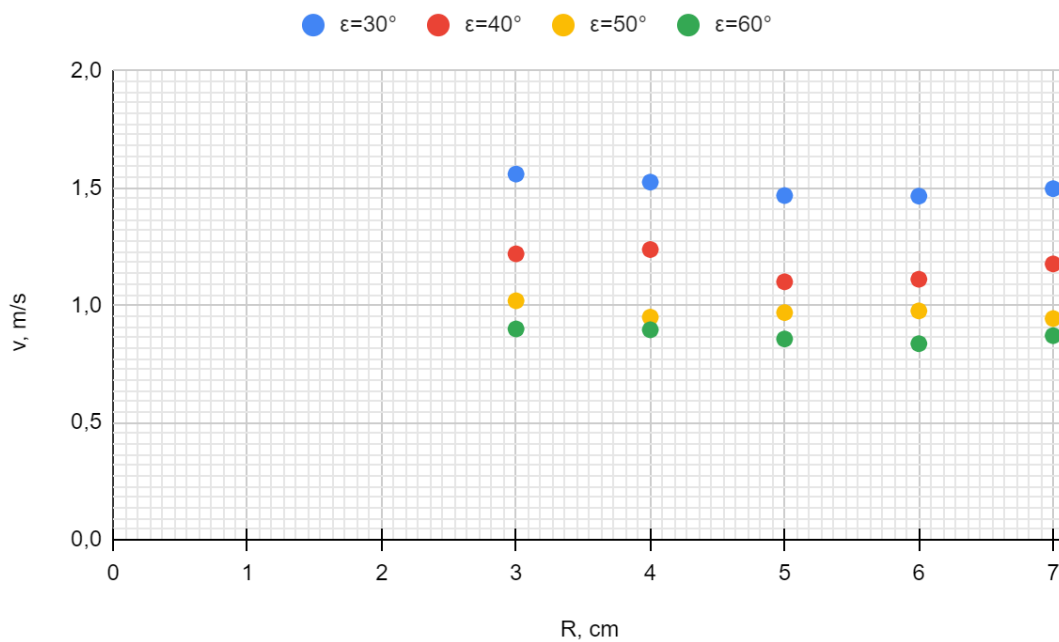
Lai pārliccinātos par mērījumu precizitāti, katrs konuss tika mests 5 reizes no izstieptas rokas. Laika mērīšana tika sākta 1.8 m augstumā (acu augstumā) virs zemes. Atbilstošās izmērītās

laika vērtības, laika vērtību vidējās vērtības, kā arī izrēķinātie krišanas ātrumi doti tabulās zemāk:

$\varepsilon = 30^\circ$				$\varepsilon = 40^\circ$			
r , cm	t , s	t_{vid} , s	v , m/s	r , cm	t , s	t_{vid} , s	v , m/s
7	0.99	1.2	1.5	7	1.44	1.53	1.18
	1.19				1.58		
	1.32				1.52		
	1.25				1.46		
	1.26				1.65		
6	1.1	1.23	1.47	6	1.65	1.62	1.11
	1.39				1.71		
	1.13				1.52		
	1.39				1.58		
	1.13				1.64		
5	1.19	1.23	1.47	5	1.71	1.64	1.10
	1.25				1.65		
	1.12				1.58		
	1.25				1.59		
	1.32				1.65		
4	1.13	1.18	1.53	4	1.45	1.45	1.24
	1.19				1.32		
	1.13				1.59		
	1.19				1.45		
	1.26				1.46		
3	1.19	1.15	1.56	3	1.38	1.48	1.22
	1.06				1.52		
	1.2				1.52		
	1.13				1.51		
	1.19				1.45		

$\varepsilon = 50^\circ$				$\varepsilon = 60^\circ$			
$r, \text{ cm}$	$t, \text{ s}$	$t_{\text{vid}}, \text{ s}$	$v, \text{ m/s}$	$r, \text{ cm}$	$t, \text{ s}$	$t_{\text{vid}}, \text{ s}$	$v, \text{ m/s}$
7	1.9	1.91	0.94	7	2.04	2.07	0.87
	2.04						
	1.72						
	1.91						
	1.97						
6	1.91	1.84	0.98	6	2,43	2.15	0.84
	1.91						
	1.91						
	1.78						
	1.71						
5	1.78	1.86	0.97	5	2.23	2.10	0.86
	1.91						
	1.84						
	1.78						
	1.98						
4	1.77	1.90	0.95	4	1.91	2.01	0.90
	1.91						
	1.85						
	1.97						
	1.98						
3	1.65	1.77	1.02	3	1.85	2.00	0.90
	1.71						
	1.65						
	1.97						
	1.85						

Attēlojot visus vidējos ātrumus vienā grafikā iegūstam:



Ieteikums vērtēšanai:

- Veikti mērījumi ar visiem 5 rādiusiem (vismaz vienam virsotnes leņķim): 0.5 p
- Veikti mērījumi visiem virsotnes leņķim (un visiem rādiusiem): 0.5 p
- Veikti vairāki (vismaz 3) mērījumi katram punktam: 0.5 p
- Dati apkopoti viegli uzskatāmā tabulā, kurā norādīti mērītie un aprēķinātie lielumi: 0.5 p
- Uzzīmēts grafiks (kopā 1 p), kur:
 - zīmēts uz milimetru papīra: 0.1 p
 - punkti atbilst izmērītajiem datiem: 0.3 p
 - tiek izmantots viss grafika pieejamais apgabals: 0.3 p
 - norādīti uz asīm atliekamie lielumi: 0.2 p
 - ir leģenda vai grafika nosaukums, kas identificē kuriem mērījumiem grafika punkti atbilst: 0.1 p

D. (2 punkti) No teorētiskiem apsvērumiem ir iespējamās divas dažādas pretestības spēka formulas:

$$F_{p1} = C_P \cdot \eta \cdot R \cdot v$$

vai

$$F_{p2} = C_P \cdot \rho_g \cdot R^2 \cdot v^2$$

kur R ir pamata rādiuss, v ir nemainīgais krišanas ātrums, $\rho_g = 1.23 \text{ kg/m}^3$ ir gaisa blīvums, $\eta = 1.83 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$ ir gaisa viskozitāte un C_P ir pretestības spēka koeficients, kuram nav mērvienības un kurš ir atkarīgs tikai no konusa virsotnes leņķa. No iegūtajiem mērījumiem pamato, kura no dotajām formulām apraksta pretestības spēku tavā eksperimentā. Šajā un tālākos jautājumos vari izmantot, ka lietotā cepampapīra "blīvums" ir $\lambda = 40 \text{ g/m}^2$ (pievērs uzmanību mērvienībai). Var noderēt, konusa sānu virsmas laukuma formula $S_{\text{sānu}} = \frac{\pi R^2}{\sin \varepsilon}$.

Atrisinājums:

Krītot ar nemainīgu ātrumu smaguma spēku kompensē pretestības spēks. Dotajai konfigurācijai smaguma spēku var izrēķināt:

$$F_{sm} = mg = \lambda S_{\text{sānu}} g = \lambda g \frac{\pi R^2}{\sin \varepsilon} \quad (3)$$

kur m ir konusa (sānu virsmas) masa un $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ir brīvās krišanas paātrinājums. Šo spēku pielīdzinot pretestības spēkam un izrēķinot ātrumu mēs iegūstam divas dažādas formulas.

Ja izmanto F_{p1} iegūst:

$$\lambda g \frac{\pi R^2}{\sin \varepsilon} = C_P \cdot \eta \cdot R \cdot v \quad \rightarrow \quad v = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot g}{\sin(\varepsilon) \cdot C_P \cdot \eta} \cdot R \quad (4)$$

Ja izmanto F_{p2} iegūst:

$$\lambda g \frac{\pi R^2}{\sin \varepsilon} = C_P \cdot \rho_g \cdot R^2 \cdot v^2 \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \pi \cdot g}{\sin(\varepsilon) \cdot C_P \cdot \rho_g}} \quad (5)$$

Kā redzams, tad eksperimentāli novērotajā gadījumā ātrums praktiski nemainās no pamata rādiusa, tapēc varam secināt, ka pareizā pretestības spēka formula ir F_{p2} .

Uzziņai:

Kuru no pretestības spēka formulām ir jālieto, nosaka Reinoldsa skaitlis $Re = \rho_g R v / \eta$. Ja $Re < 10$, tad plūsma ir lamināra un pretestības spēku nosaka viskozitāte, tātad jālieto F_{p1} , bet, ja $Re > 1000$, tad pretestības spēku nosaka gaisa sablīvēšanās konusa priekšgalā un jālieto F_{p2} . Pa vidu starp šīm vērtībām ir pārejas apgabals, kur pretestības spēka formulu nav iespējams uzrakstīt šādā vienkāršā veidā. No eksperimentālajiem datiem iegūstam, ka Re ir robežās no 1000 līdz 10 000, kas nozīmē, ka jālieto F_{p2} , ko arī esam ieguvuši no eksperimenta rezultātiem.

Ieteikums vērtēšanai:

- masa proporcionāla laukumam: 0.5 p
- izved ātruma formulu abos gadījumos: 0.3 (pirmā formula)+0.2 (otrā formula)= 0.5 p
- izvēlas F_{p2} : 0.5 p
- loģiski pamato savu izvēli: 0.5 p

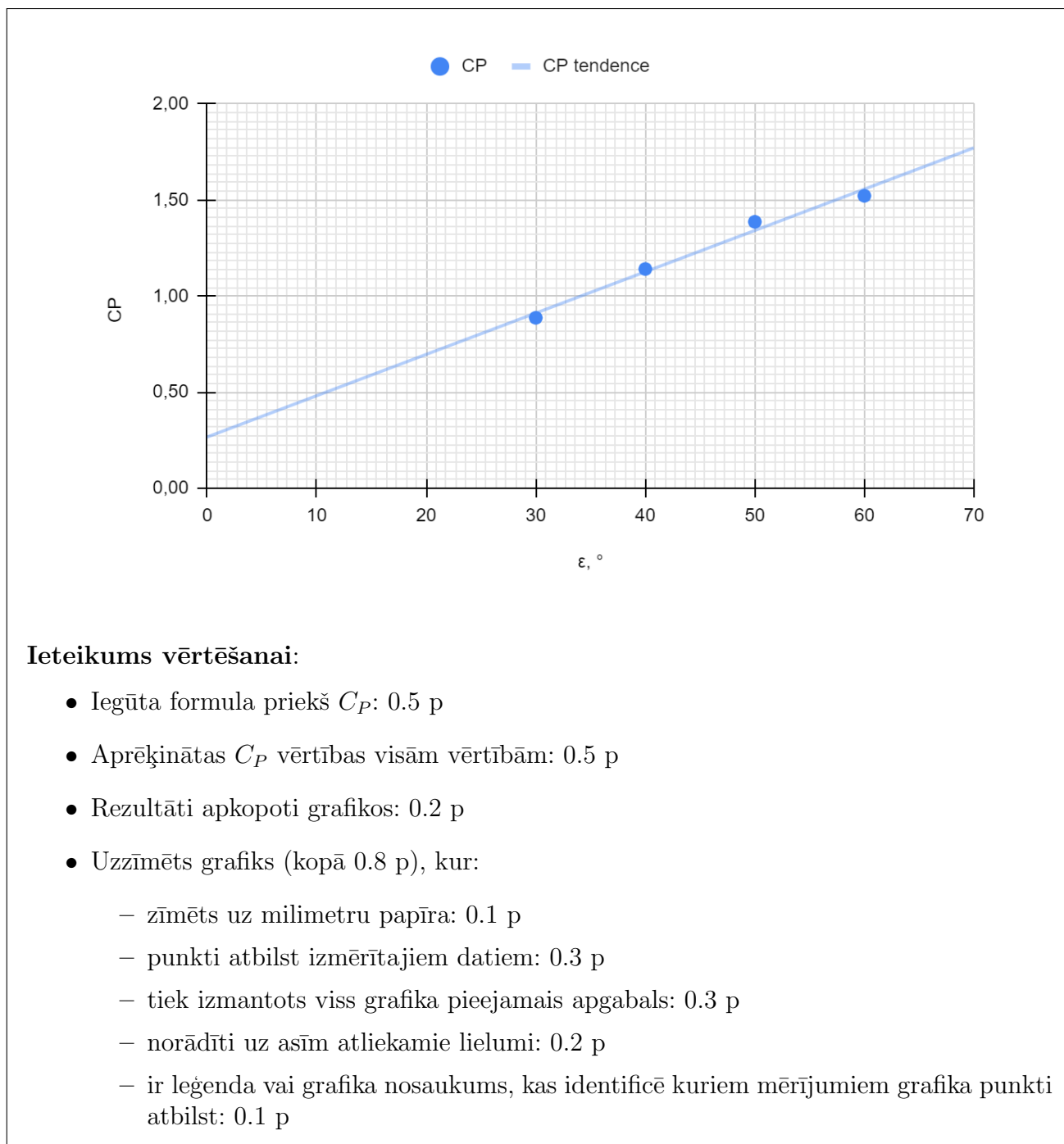
E. (2 punkti) Veic aprēķinus, ieraksti tos tabulā un uzzīmē grafiski, kā pretestības spēka koeficients C_P ir atkarīgs no konusa virsotnes pusleņķa ε !

Atrisinājums:

No iepriekšējā uzdevumā iegūtā vienādojuma varam izteikt $C_P = \frac{\lambda \pi g}{v^2 \sin(\varepsilon) \rho_g}$. Aprēķinot vidējo ātrumu katram virsotnes leņķim iegūstam, sekojošu tabulu:

$\varepsilon, ^\circ$	$v, \text{m/s}$	C_P
30	1.50	0.89
40	1.17	1.14
50	0.97	1.39
60	0.87	1.52

Ko attēlojot grafiski iegūstam:



F. (1 punkts) Iepriekšējā jautājumā iegūto grafiku apraksti ar lineāru taisni $C_P = k \cdot \varepsilon + C_0$ un no grafika nosaki lielumus k un C_0 !

Atrisinājums:

Novelkot taisni caur iegūtajiem punktiem, var redzēt, ka krustpunkts ar y asi ir punktā $C_0 = 0.25$. lai noteiktu slīpuma koeficientu izvēlamies vēl vienu punktu ar lielu ε vērtību, piemēram $\varepsilon = 60$ tendences liknei atbilst $C_P = 1.55$, kas dod, ka slīpuma koeficients ir $k = \frac{1.55 - 0.25}{60 - 0} = 0.022$.

Uzziņai:

Zinātniski veiktos eksperimentos (<https://aerospaceweb.org/question/aerodynamics/q0231.shtml>) ir noskaidrots, ka konusa pretestības koeficients C_D , kas nedaudz atšķiras no mūsu lietotā $C_P = \frac{\pi C_D}{2}$, mainās pēc likuma $C_D = 0.0112\varepsilon + 0.162$, kas šajā uzdevumā lietotos terminos dotu rezultātu $C_0 = 0.162\frac{\pi}{2} = 0.254$ un $k = 0.0112\frac{\pi}{2} = 0.0176$.

Ieteikums vērtēšanai:

- C_0 noteikts kā krustpunkts ar y -asi: 0.2 p
- C_0 iegūts robežās no 0 līdz 0.5: 0.2 p
- k noteikts izmantojot grafika slīpumu: 0.2 p
- k noteikšanai izmantoti punktu ar lielu $\Delta\varepsilon$: 0.2 p
- Iegūtā k vērtība ir robežās no 0.010 līdz 0.028: 0.2 p