

Atbilžu atslēga un skaidrojumi

BioGoHigher 2026 – Erudīcijas konkurss skolēniem – Fizika

1. daļa – testa jautājumi (pareizās atbildes un skaidrojumi)

1. Optiskais mikroskops un imersijas šķidrums

Pareizā atbilde: A. Izšķirtspēja uzlabojas, bet samazinās dziļuma ass.

Numeriskā apertūra ir

$$NA = n \sin \theta,$$

kur n ir starp objektīvu un preparātu esošā materiāla laušanas koeficients. Ja gaisu ($n \approx 1$) aizstāj ar šķidru imersiju ar lielāku n , tad NA palielinās. Jo lielāka NA, jo **labāka izšķirtspēja** (var saskatīt sīkākas detaļas).

Vienlaikus dziļuma ass (depth of field) ir aptuveni apgriezti proporcionāla NA^2 , t.i. pie lielākas NA **dziļuma ass samazinās**, jo fokuss kļūst seklāks.

2. IR termometrs un emisivitāte

Pareizā atbilde: A. Termometrs parādīs zemāku temperatūru.

Izstarotā jauda ideāliem melniem ķermeņiem:

$$P \propto \varepsilon \sigma T^4.$$

Patiesībā:

$$P = \varepsilon_{\text{istā}} \sigma T_{\text{istā}}^4,$$

kur $\varepsilon_{\text{istā}} \approx 0,20$. Termometrs rēķina temperatūru, pieņemot $\varepsilon_{\text{iest}} = 1$:

$$P = \varepsilon_{\text{iest}} \sigma T_{\text{mērītā}}^4 \Rightarrow T_{\text{mērītā}} = \left(\frac{\varepsilon_{\text{istā}}}{\varepsilon_{\text{iest}}} \right)^{1/4} T_{\text{istā}} = (0,20)^{1/4} T_{\text{istā}} \approx 0,67 T_{\text{istā}}.$$

Tātad termometrs rādīs zemāku temperatūru nekā patiesā.

3. Mēness pazūd – paisuma spēks

Pareizā atbilde: C. Pēc 1,3 sekundēm.

Gravitācijas lauka izmaiņas izplatās ar gaismas ātrumu c . Gaismas ceļš no Mēness līdz Zemei ir apmēram 1,3 s. Tātad Zemei “pazūd” Mēness gravitācijas ietekme (un līdz ar to paisuma spēks) pēc $\approx 1,3$ sekundēm.

4. Rentgenstaru vājināšana ar diviem slāņiem

Pareizā atbilde: A. Secībai nav nozīmes.

Pie absorbcijas:

$$I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} e^{-\mu_2 x_2}.$$

Reizināšana ir komutatīva,

$$e^{-\mu_1 x_1} e^{-\mu_2 x_2} = e^{-\mu_2 x_2} e^{-\mu_1 x_1},$$

tāpēc slāņu secībai nav nozīmes, ja notiek tikai absorbcija (bez izkliedes).

5. Slidotājs pievelk rokas

Pareizā atbilde: A. Muskuļi izdara darbu.

Bez ārēja momenta leņķiskais impulss saglabājas:

$$L = I\omega = \text{konst.}$$

Samazinot inerces momentu I (pievelkot rokas), leņķiskais ātrums ω pieaug. Rotācijas kinētiskā enerģija:

$$E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$$

pieaug, tātad kaut kur jārodas papildu enerģijai. To dod **sportista muskuļi**, kuri veic darbu, pievelkot rokas pret centrifugālo efektu.

6. Cilvēks staigā pa laivu

Pareizā atbilde: A. Laiva pabīdās pretējā virzienā.

Ja ārējie horizontālie spēki ir niecīgi, **masas centrs** (cilvēks+laiva) paliek nekustīgs. Ja cilvēks iet uz priekšu, lai masas centrs nekustētos, laivai jāpabīdās pretējā virzienā.

7. Zvaigznes mirgo, planētas gandrīz nē

Pareizā atbilde: D. Zvaigznēm ir mazāks šķietamais izmērs.

Zvaigzne ir gandrīz punktveida avots ar ļoti mazu leņķisko izmēru. Atmosfēras turbulences stipri ietekmē šādu šauru staru kūli, radot mirgošanu. Planētām ir daudz lielāks redzamais disks – turbulences efekti dažādās diska daļās vidējas, tāpēc mirgošana ir daudz vājāka.

8. Divi trokšņa avoti pa 80 dB

Pareizā atbilde: A. Aptuveni 83 dB.

Decibeli:

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right).$$

Ja katrs avots dod 80 dB, intensitāte ir I . Diviem kopā:

$$I_{\text{kopa}} = 2I.$$

Tad

$$L_{\text{kopa}} = 10 \log_{10} \left(\frac{2I}{I_0} \right) = 10(\log_{10} 2 + \log_{10} \frac{I}{I_0}) \approx 10 \cdot 0,301 + 80 \approx 83 \text{ dB}.$$

9. EM viļņu ātrums vakuumā

Pareizā atbilde: D. Visi vienādi.

Visi elektromagnētiskie viļņi (radioviļņi, gaisma, rentgenstari) vakuumā izplatās ar vienādu ātrumu c .

10. Kāpēc rentgenā kauli ir gaišāki?

Pareizā atbilde: B. Kauli labāk absorbē starojumu.

Attēlā gaišāka vieta nozīmē, ka līdz detektoram nonāk mazāk starojuma. Kauliem ir lielāks blīvums un atomsvars, tāpēc tie **labāk absorbē X-starus** nekā mīkstie audi. Līdz detektoram tiek mazāk staru, tāpēc kauli izskatās gaišāki.

2. daļa – Uzdevumi un eksperimenti

1. Asinsvadu zarošanās noslēpums

(a) Mureja kubiskais likums

Ideja: dabai izdevīgi samazināt kopējās enerģijas izmaksas: gan sūkņēšanas jaudu (viskozitātes zudumus), gan audu uzturēšanu (asinsvada tilpumu). No šīs optimizācijas izriet likums

$$r_0^3 = r_1^3 + r_2^3.$$

Solis 1: Poiseijla likums.

Laminārā plūsmā cilindriskā caurulē spiediena kritums ir

$$\Delta P = \frac{8\mu LQ}{\pi r^4},$$

kur μ – viskozitāte, L – garums, Q – plūsma, r – rādiuss.

Solis 2: Jaudas (enerģijas) zudumi plūsmā.

Hidrauliskā jauda, kas izkliedējas berzē:

$$P_{\text{hid}} = \Delta P \cdot Q = \frac{8\mu LQ^2}{\pi r^4}.$$

Solis 3: Uzturēšanas izmaksas.

Pieņemam, ka asinsvada uzturēšanas izmaksas ir proporcionālas tā tilpumam vai šķērsriezuma laukumam:

$$C_{\text{uzt}} \approx \alpha Lr^2,$$

kur α ir konstante.

Solis 4: Kopējā “cena” vienam asinsvadam.

Apvienojam abas sastāvdaļas:

$$C(r) = k \frac{\mu LQ^2}{r^4} + \alpha Lr^2,$$

kur $k = 8/\pi$. Ērtības labad rakstām

$$C(r) = A \frac{Q^2}{r^4} + \alpha Lr^2,$$

kur $A = k\mu L$.

Solis 5: Minimējam izmaksas pēc rādiusa.

Pie fiksētiem Q un L kopējo izmaksu minimums tiek iegūts, ja

$$\frac{dC}{dr} = 0.$$

Aprēķinām atvasinājumu:

$$\frac{dC}{dr} = -4A \frac{Q^2}{r^5} + 2\alpha Lr.$$

Liekam vienādu ar nulli:

$$-4A \frac{Q^2}{r^5} + 2\alpha Lr = 0 \Rightarrow 4A \frac{Q^2}{r^5} = 2\alpha Lr.$$

Pārveidojam:

$$2AQ^2 = \alpha Lr^6 \Rightarrow r^6 \propto Q^2 \Rightarrow Q^2 \propto r^6 \Rightarrow Q \propto r^3.$$

Tātad katram asinsvadam optimālā režīmā

$$Q_i = Kr_i^3,$$

kur K ir konstante.

Solis 6: Zarojums un masas saglabāšana.

Zarojumā plūsma saglabājas:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2.$$

Aizstājam Q_i :

$$Kr_0^3 = Kr_1^3 + Kr_2^3 \Rightarrow r_0^3 = r_1^3 + r_2^3,$$

kas ir Mureja kubiskais likums.

(b) Jaudas zudumu pieaugums pie eksponenta $n = 2,8$ vai $3,2$

Ideja: Mureja likums ar eksponentu 3 dod minimālu jaudu. Ja eksponents ir mazliet citāds ($2,8$ vai $3,2$), radītie rādiusi vairs nav optimāli, un jauda nedaudz palielinās.

Pieņemsim simetrisku zarojumu:

$$Q_1 = Q_2 = \frac{Q_0}{2}, \quad r_1 = r_2 = r_d.$$

Vispārīgs likums:

$$Q \propto r^n.$$

Tad

$$r_0^n = r_1^n + r_2^n = 2r_d^n \Rightarrow r_0(n) = 2^{1/n}r_d.$$

Jaudas zudumi mātesvadā (proporcionāli):

$$P_0(n) \propto \frac{Q_0^2}{r_0(n)^4} = \frac{Q_0^2}{(2^{1/n}r_d)^4} = \frac{Q_0^2}{r_d^4} \cdot 2^{-4/n}.$$

Pie optimālā $n = 3$:

$$P_0(3) \propto 2^{-4/3}.$$

Pie $n = 2,8$:

$$P_0(2,8) \propto 2^{-4/2,8},$$

pie $n = 3,2$:

$$P_0(3,2) \propto 2^{-4/3,2}.$$

Dēlu asinsvados plūsmas un rādiusi paliek tādi paši, tātad to jaudas daļa nemainās; mainās tikai mātesvada daļa. Ja salīdzina $P_{\text{kopa}}(n)$ ar $P_{\text{kopa}}(3)$, izmantojot reālistiskus L un Q , konstatē, ka kopējā jauda pie $n = 2,8$ vai $3,2$ ir tikai par dažiem procentiem lielāka. Tas nozīmē, ka optimālais punkts ir *samērā plats* – nelielas novirzes no $n = 3$ nepadara sistēmu dramatiski neefektīvu.

(c) Eksperimentāla pārbaude dabā

Darba ideja: pārbaudīt, vai reālos zarojumos apmēram izpildās $r_0^3 \approx r_1^3 + r_2^3$.

Iespējamā pieeja:

- Atrodi vismaz 6 Y-veida zarojumus (lapu dzislojums, vēnas uz rokas, koka zari).
- Nofotografē katru zarojumu kopā ar lineālu (mēroga etalons).
- Izmēri mātesvadu rādiusu r_0 un zaru rādiusus r_1, r_2 (piemēram, ar programmu ImageJ, mēri diametrus un dala ar 2).

- Katram zarojumam aprēķini

$$S = r_1^3 + r_2^3,$$

un salīdzini ar r_0^3 .

- Procentuālā kļūda:

$$\%kļūda = \frac{|r_0^3 - (r_1^3 + r_2^3)|}{r_0^3} \cdot 100\%.$$

- Novērtē nenoteiktību, pieņemot, ka rādiusa mērījuma kļūda Δr ir, piemēram, $\pm 0,1$ mm, un izmanto aptuvenu formulu

$$\Delta(r^3) \approx 3r^2 \Delta r.$$

Praksē bieži redzēs, ka r_0^3 un $r_1^3 + r_2^3$ ir *pietiekami tuvu*, bet ar 10–30% izkliedi, kas norāda uz dabas variāciju un mērījumu kļūdām.

(d) Kāpēc asinis kapilāros plūst “vieglāk”?

Mazajos kapilāros darbojas Fērheiusa–Lindkvista efekts:

- eritrocīti koncentrējas plūsmas centrā;
- pie sienām veidojas plānāks, ar šūnām nabadzīgs slānis, kas ir mazāk viskozs;
- tādēļ **efektīvā viskozitāte** μ_{eff} plānās kapilāru caurulēs ir mazāka nekā lielākos asinsvados.

Hidrauliskie zudumi ir

$$P_{\text{hid}} \propto \frac{\mu_{\text{eff}}(r) Q^2}{r^4}.$$

Ja μ_{eff} samazinās, kad r samazinās, tad mazākiem asinsvadiem hidrauliskie zudumi pieaug mazāk strauji nekā prognozētu vienkāršais Poiseijla modelis ar konstanti μ . Tas var nedaudz mainīt optimālo eksponentu Mureja likumā: plūsma var skalēties ar r^n , kur n ir nedaudz mazāks par 3.

2. Kāds ir ideālais nerva šķiedras diametrs?

Pieņēmusi nemielinizētā aksonam:

$$v(d) \propto \sqrt{d}, \quad P(d) \propto d.$$

Izmaksu funkcija:

$$C(d) = ad + \frac{B}{v(d)}.$$

(a) Kāpēc $v(d) \propto \sqrt{d}$ un $P(d) \propto d$?

Vadīšanas ātrums. No kabeļa teorijas (“cable theory”):

- gareniskā pretestība $R_{\text{ax}} \propto 1/\text{šķērsgrīzuma laukuma} \propto 1/d^2$;
- membrānas kapacitāte uz garuma vienību ir aptuveni proporcionāla perimetram $\propto d$;
- vadīšanas ātrums v ir saistīts ar šiem parametriem, un praktiskos nemielinizētos aksonos empīriski bieži novēro likumu

$$v(d) \propto \sqrt{d}.$$

Enerģijas izmaksas. Membrānas virsma uz garuma vienību ir $\propto d$ (perimetrs). Jo lielāks diametrs, jo lielāka membrānas virsma jāapkalpo (jonu sūkņu darbs, lai atjaunotu potenciālu). Tāpēc

$$P(d) \propto d.$$

(b) Optimālais diametrs d^*

Pieņemsim

$$v(d) = k\sqrt{d},$$

tad

$$C(d) = ad + \frac{B}{k\sqrt{d}}.$$

Meklējam minimumu:

$$\frac{dC}{dd} = a - \frac{1}{2} \frac{B}{k} d^{-3/2} = 0.$$

Tātad

$$a = \frac{1}{2} \frac{B}{k} d^{-3/2} \Rightarrow d^{-3/2} = \frac{2ak}{B} \Rightarrow d^{3/2} = \frac{B}{2ak}.$$

No šejienes:

$$d^* = \left(\frac{B}{2ak} \right)^{2/3}.$$

Svarīgais secinājums:

$$d^* \propto \left(\frac{B}{a} \right)^{2/3},$$

t.i. jo lielāks ir “sods” par lēnumu B un jo mazāka ir uzturēšanas cena a , jo biežāks ir optimālais aksons.

(c) Mielinizēts aksons

Pieņemam mielinizētām:

$$v_m(d) = k_m d,$$

un enerģijas izmaksas uz garuma vienību ir m reizes mazākas, tātad:

$$C_m(d) = \frac{a}{m}d + \frac{B}{v_m(d)} = \frac{a}{m}d + \frac{B}{k_m d}.$$

Meklējam minimumu:

$$\frac{dC_m}{dd} = \frac{a}{m} - \frac{B}{k_m d^2} = 0 \Rightarrow \frac{a}{m} = \frac{B}{k_m d^2} \Rightarrow d^2 = \frac{Bm}{ak_m}.$$

Tātad optimālais diametrs mielinizētam aksonam:

$$d_{\text{myel}} = \sqrt{\frac{Bm}{ak_m}}.$$

Salīdzinot ar nemielinizēto d^* (pieņemot vienkāršībai $k = k_m$):

$$d^* = \left(\frac{B}{2ak}\right)^{2/3}, \quad d_{\text{myel}} = \left(\frac{Bm}{ak}\right)^{1/2}.$$

Mielinizētam aksonam optimālais diametrs palielinās aptuveni kā $\sqrt{m}$, tātad, ja mielinizēti ļoti samazina enerģijas izmaksas (liels m), var atļauties relatīvi biežus un ļoti ātrus aksonus.

(d) Kad B ir liels, kad mazs?

Liels B (ātrums kritiski svarīgs):

- situācijas, kur nepieciešama ļoti ātra reakcija, piemēram, “cīnies vai bēdz” – bīstama situācija, kur izšķirošas ir milisekundes;
- motoneironi, kas vada signālus uz skeleta muskuļiem strauju kustību laikā (lēciens, bēgšana).

Šādos gadījumos dabai izdevīgi ir **biezāki un ātrāki aksoni**.

Mazs B (ātrums nav tik kritisks):

- iekšējo orgānu regulācija (zarnu peristaltika, dziedzeru sekrēcija), kur svarīgāka ir energoefektivitāte;
- lēni, modulējoši signāli smadzenēs, kur laika skala ir sekundēs vai ilgāk.

Šeit parasti ir vairāk **tievo, lēno, bet energoefektīvo** šķiedru.

3. VIDEO uzdevums: plūsma “asinsvadu” tīklā

Šeit nav vienas “pareizās” skaitliskās atbildes, bet svarīgi ir pareizi noorganizēt eksperimentu un analīzi.

(a) Video saturs

Video (līdz 5 min) vajadzētu skaidri parādīt:

- Y-veida salmiņu vai cauruļu modeli (viens “mātes” zars, divi “meitas” zari);
- kā tiek nodrošināts gandrīz konstants spiediena kritums (piem., ūdens tvertne noteiktā augstumā);
- kā tieši tiek mērītas plūsmas: savāktais tilpums noteiktā laikā, izmantojot mērglāzi vai cilindru.

(b) Eksponents n likumā $Q \propto r^n$

- Izmēri katra zara rādiusu r (vai diametru) un plūsmu Q .
- Izveido tabulu ar pāriem (r, Q) .
- Aplūko relāciju

$$\ln Q = n \ln r + \text{konst.}$$

- Uzzīmē $\ln Q$ pret $\ln r$ un veic lineāru aproksimāciju; slīpums dod eksponentu n .

Teorētiski Poiseijla likums paredz $n \approx 4$, ja L (garums) nemainās.

(c) Salīdzinājums ar teoriju un Mureja likumu

No Poiseijla:

$$Q \propto \frac{r^4}{L}.$$

Pie vienādiem garumiem:

$$\frac{Q_A}{Q_B} \approx \left(\frac{r_A}{r_B} \right)^4.$$

Praktiski salīdzini mērīto Q_A/Q_B ar šo teorētisko vērtību.

Ja iespējams, izmēri arī r_0, r_A, r_B un pārbaudi, vai aptuveni izpildās

$$r_0^3 \approx r_A^3 + r_B^3.$$

(d) 70:30 plūsmas attiecība ar nemainīgu kopējo plūsmu

Likums:

$$Q_i \propto \frac{r_i^4}{L_i}.$$

Lai iegūtu $Q_A : Q_B \approx 70 : 30$, var:

- nedaudz palielināt r_A vai samazināt r_B ;
- vai mainīt garumus L_A, L_B (garāks zars dod mazāku plūsmu).

Mērķis: panākt $\frac{Q_A}{Q_A+Q_B} \approx 0,7$, bet kopējā plūsma $Q_A + Q_B$ mainās mazāk par $\pm 10\%$.

(e) Sistemātiskās kļūdas

Iespējamie avoti:

- **Spiediena kritums nav vienāds laikā:** tvertnē ūdens līmenis krītas.
- **Burbuļi vai turbulences:** sākumā plūsma nav stacionāra.
- **Rādiusa mērīšanas kļūdas:** salmiņi var nebūt perfekti cilindriski.
- **Noplūdes savienojumos:** daļa šķidruma var iztecēt krāna vietā.
- **Laika mērīšanas kļūdas:** neprecīzs start/stop brīdis.

Katram no tiem būtu jāapraksta, kā mēģināts mazināt ietekmi (liels rezervuārs, atkārtoti mērījumi, labāk noslēgti savienojumi u.tml.).

4. Alveolu stabilitāte

Laplace likums:

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r}.$$

(a) Kurš alveols ir nestabils pie konstanta γ ?

Pie konstanta virsmas sprieguma γ mazākam rādiusam r atbilst lielāka spiediena starpība:

$$\Delta P \propto \frac{1}{r}.$$

Tātad **mazs alveols** (mazs r) ir ar lielāku iekšējo spiedienu. Ja divi alveoli ir savienoti, gaiss plūdis no mazā (ar lielāku spiedienu) uz lielo. Mazais alveols saplok, lielais turpina piepūsties. Tādēļ mazs alveols ir *nestabils*.

(b) $\gamma(r)$ likums stabilitātei

Reālajās plaušās ir surfaktants, kas samazina virsmas spriegumu īpaši tad, kad alveols ir mazs. Vienkāršots modelis:

$$\gamma(r) = \begin{cases} \gamma_0 \frac{r}{r^*}, & r \leq r^*, \\ \gamma_0, & r \geq r^*. \end{cases}$$

Tad pie $r \leq r^*$:

$$\Delta P(r) = \frac{2\gamma(r)}{r} = \frac{2\gamma_0}{r^*},$$

t.i. *gandrīz konstanta* spiediena starpība neatkarīgi no rādiusa. Tā rezultātā mazs un liels alveols var pastāvēt līdzās ar līdzīgu iekšējo spiedienu, neveidojot vienvirziena gaisa plūsmu, kas kolapsētu mazāko.

(c) Skaitliskais piemērs

Pieņemam $\gamma_0 = 0,030 \text{ N/m}$, $r^* = 0,20 \text{ mm}$.

Lielais alveols: $r = 0,20 \text{ mm} = 2,0 \times 10^{-4} \text{ m}$.

$$\gamma(0,20) = \gamma_0, \quad \Delta P = \frac{2 \cdot 0,030}{2,0 \times 10^{-4}} = \frac{0,060}{2 \times 10^{-4}} = 300 \text{ Pa}.$$

Mazais alveols: $r = 0,10 \text{ mm} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}$.

$$\gamma(0,10) = \gamma_0 \frac{0,10}{0,20} = 0,015 \text{ N/m}, \quad \Delta P = \frac{2 \cdot 0,015}{1,0 \times 10^{-4}} = \frac{0,030}{10^{-4}} = 300 \text{ Pa}.$$

Abiem alveoliem

$$\Delta P = 300 \text{ Pa},$$

tātad tie var mierīgi līdzās pastāvēt – nav spiediena starpības, kas liktu vienam sabrukt un otram izplesties.

(d) Līdzsvars ar sienas elastību

Papildus virsmas spriegumam alveola siena ir elastīga un rada pretspiedienu $p_{\text{siena}}(r)$, kas **pieaug** ar rādiusu (jo vairāk izstieptas sienas, jo lielāks elastīgais spiediens).

Līdzsvara nosacījums:

$$\Delta P(r) = p_{\text{siena}}(r).$$

Grafiski:

- $\Delta P(r)$ – gandrīz horizontāla līnija (ja surfaktants samazina γ pie maziem r).
- $p_{\text{siena}}(r)$ – augoša funkcija no r (piemēram, līnija ar pozitīvu slīpumu).
- Krustpunkts starp šīm divām līknēm dod **stabilo rādiusu** r_{eq} – pie tā iekšējais spiediens (virsmas spriegums) ir tieši līdzsvarots ar sienas elastīgo pretspiedienu.

(e) Rekrutēšana, derekrutēšana un histērese P–V līknē

Elpošanas laikā:

- Pie ieelpas (inflation) pie zemiem spiedieniem daļa alveolu ir slēgtas vai ļoti mazas. Palielinot spiedienu, sākas **rekrutēšana** – vienas pēc otras alveolas atveras, un kopējais tilpums V strauji pieaug noteiktā spiediena intervālā.
- Pie izelpas (deflation) alveolas **nesaploka pie tiem pašiem spiedieniem**, pie kuriem atvērās; tās aizveras pie zemākiem spiedieniem – **derekrutēšana**.

Spiediena–tilpuma (P–V) diagrammā tas nozīmē:

- Ieelpai un izelpai ir dažādas līknes – veidojas **histēreses cilpa**: pie viena un tā paša spiediena P tilpums V ieelpas laikā ir mazāks nekā izelpas laikā.

- Redzamas divas “pārejas zonas”, kur V strauji mainās: viena pie ieelpas rekrutēšanas, otra pie izelpas derekrutēšanas.

Pazīmes $P-V$ līknē:

1. Piltuvveida cilpa – atsevišķa līkne ieelpai, cita līkne izelpai.
2. Atšķirīgi “sliedzē” spiedieni, pie kuriem sāk masveidā atvērties vai aizvērties alveolas.