



Valsts izglītības satura centrs

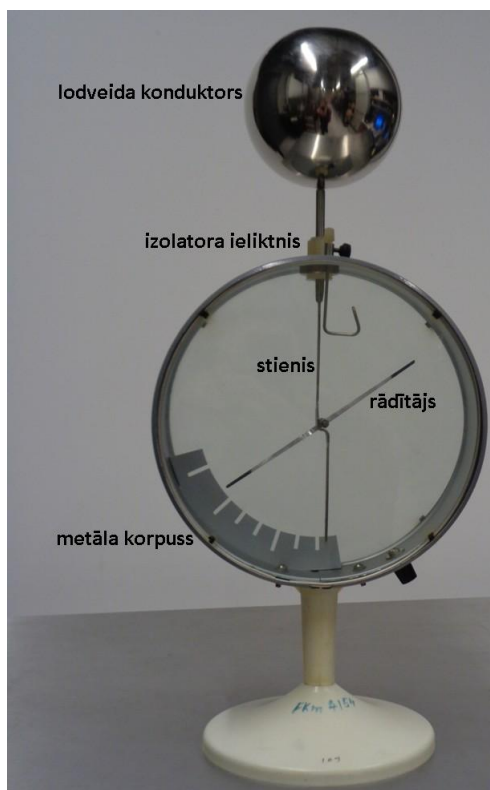
Valņu iela 2, Rīga, LV-1050, tālr. 67216500, fakss 67223801, e-pasts: vis@visc.gov.lv. www.visc.gov.lv

Fizikas Valsts 74. olimpiāde Otrā posma uzdevumi 11. klasei

11-D Elektrometru spēles (demonstrējums)

Video ar demonstrējumu var atrast: <https://youtu.be/0SgjtzFnSUc>

Elektrometrs sastāv no statīvā nostiprināta cilindriskā metāla korpusa, kas no abām pusēm noslēgts ar stiklu. Korpusa augšējā daļā izolatora ieliktnī nostiprināts stienis, kura augšgalā var piestiprināt lodveida vai cilindrveida elektrodu jeb konduktoru. Stieņa apakšējā daļā, kas atrodas korpusa iekšienē, kustīgi nostiprināta ass ar rādītāju. Ass elektriski savieno rādītāju un stieni, tie var elektrostatiski atgrūsties, rezultātā rādītājs var novirzīties no vertikālā stāvokļa. Neuzlādēts rādītājs vienmēr nostājas vertikāli, jo tā ass ir nedaudz augstāk par smaguma centru. Pirms katra eksperimenta elektrometrs ir izlādēts. Arī pats eksperimentators ir izlādēts, jo periodiski noliek rokas uz iezemētā metāla galda.



Vēro video, katram eksperimentam (A, B, C, D, E un F) un īsi apraksti katru ievēroto efektu un pēc iespējas izsmelošāk izskaidro, kāpēc elektrometri, ko uzrāda vai nerāda (ar kādas zīmes lādiņiem uzlādējas stienis ar rādītāju un konduktoru, korpuss; vai un kā mainās lādiņu sadalījums uz tiem, uz kuriem pārvietojas elektroni)! Zemāk doti vēroto eksperimentu apraksti.

- A. (1 punkts) Izlādēta elektrometra lodveida konduktoram no vieniem sāniem pietuvina elektrizētu ebonīta nūju, bet nepieskaras, attālina un vēlreiz pietuvina. Tad uz īsu brīdi pieskaras pretējiem konduktora sāniem ar roku. Vispirms roku un pēc tam nūju no konduktora attālina. Ebonīta nūju tuvina konduktoram atkārtoti.

Atrisinājums:

Šajos eksperimentos galvenā novērojamā fizikālā parādība ir polarizācija, kuru vēsturiski kādreiz iesaukuši par elektrostātisko indukciju. Abi šie nosaukumi jāuzskata par sinonīmiem un jāakceptē, vērtējot darbus.

Eksperiments A šeit skaidrots pārlietu detalizēti. Bet pārējie ne tik detalizēti, bet lai var saprast par ko skolēniem varētu dot maksimālos punktus.

Tuvinot elektrometra lodveida konduktoram negatīvu uzlādētu ebonīta nūju, ir vērojama polarizācija jeb elektrostātiskā indukcija. Nūja elektronus atgrūž. To koncentrācija uz konduktora virsmas pie nūjas samazinās, bet pretējā sānā un lejā pie rādītāja palielinās. Rādītājs, atvirzoties no vertikālā stāvokļa, parāda, ka tajā un tam blakus esošajā stieņa apakšgalā abu zīmju lādiņi nav vienādās koncentrācijās – negatīvo ir vairāk.

Pieskaroties konduktora otram sānam ar roku, šajā vietā un stieņa lejā pārsvaru veidojošie elektroni aizplūst uz roku. Rādītājs taisās atgriezties vertikālā stāvoklī, taču strauji dodas atpakaļ, uzrādot ko mazāku, nekā iepriekš, un paliek tādā stāvoklī arī pēc rokas attālināšanas. Tas liek noprast, ka rādītājā un stieņa apakšdaļā tagad ir pretējs un mazāks lādiņš. Roka ir ne vien aizvadījusi tos elektronus, kas bija tai blakus uz konduktora virsmas pieskaršanās brīdī, bet uzlādējusi konduktoru vēl vairāk pozitīvi, jo polarizācija šai brīdī darbojās arī uz roku un visu eksperimentatoru.

Attālinot nūju, elektrometrs palielina uzrādīto elektrizāciju, neejot caur nulli, kas apstiprina rādītāja un stieņa pozitīvo lādiņu. Attālinot nūju, blakus tai konduktorā bijušais elektronu iztrūkums (pozitīvais lādiņš) izretinās pa visu konduktoru un stieni ar rādītāju. Elektrometra konduktors, stienis un rādītājs ir uzlādēti pozitīvi. Par to liecina rādījumu samazināšanās līdz nullei, atkārtoti tuvinot elektrizētu ebonīta nūju, jo tad elektronu iztrūkums atkal vairāk koncentrējas blakus nūjai un stieņa lejasgalā tas izzūd, polarizācijai tur pilnīgi kompensējot rokas piešķirto pozitīvo lādiņu. (1 punkts)

Eksperimentos B un C lieto metāla statīvos balstītus elektrometrus. Līdz ar to korpusi ir iezemēti un savienoti kopā.

- B. (2 punkti) Diviem elektrometriem uzlikti cilindruveida konduktori, kuru gali saskaras. Uzlādētu ebonīta nūju pietuvina vienam konduktoram virknes galam, bet nepieskaras. Otru elektrometru attālina no pirmā. Ebonītu attālina no konduktoriem, tad no augšpuses lēni katram no tiem nepieskaroties tuvina un attālina. Vēlāk otro elektrometru piebīda klāt pirmajam, konduktori atkal saskaras.

Atrisinājums:

Pietuvinot negatīvi uzlādētu ebonīta nūju konduktoru virknei, tajā esošie brīvie elektroni atgrūžas no nūjas un pārvietojas pēc iespējas tālāk. Konduktoru virkne ir polarizējusies, nūjas tuvumā esošajā galā elektronu iztrūkuma dēļ izveidojot pozitīvi lādētu apgabalu, bet tālākajā galā – negatīvi lādētu. Elektrometri uzrāda nedaudz atšķirīgus lādiņus stieņu apakšgalos un rādītājos, jo pirmā elektrometra stienis ir stipri polarizēts. Tādi tie saglabājas arī pēc otrā elektrometra atbīdīšanas. Bet, attālinot nūju no pirmā konduktora, šī elektrometra rādījums iziet caur nulli un pēc tam kļūst vienāds ar otra elektrometra rādījumu. Tagad elektrometru lādiņi ir ar pretējām zīmēm. (1 punkts)

To apstiprina arī nūjas atkārtota tuvināšana pirmajam konduktoram - vispirms samazina pirmā elektrometra rādījumu līdz nullei (polarizācijai pilnīgi kompensējot stieņa un rādītāja iegūto lādiņu – atjaunojot normālu elektronu koncentrāciju tajos), bet pēc tam palielina un pat pārspēj iepriekšējo rādījumu. Tas liecina par pirmā elektrometra pozitīvo lādiņu. Attālinot nūju viss atkārtojas atpakaļgaitā. Tuvinot nūju otrajam konduktoram, tā rādījums tikai palielinās. Tātad polarizācija šeit darbojas uz vienu roku ar paša elektrometra lādiņu, un šis lādiņš ir negatīvs. Sabīdot elektrometrus atkal kopā, to lādiņi izlīdzinās un abiem kļūst vienādi ar nulli, jo virkne bija tikai polarizēta, nevis kopumā uzlādēta. (1 punkts)

- C. (1 punkts) Iesāk kā iepriekš, bet pēc nūjas pietuvināšanas ar otru roku pieskaras otra konduktora tālākajam galam. Tad roku attālina, pēc tam attālina arī uzlādēto ebonītu. Elektrometrus savstarpēji attālina un atkal katram konduktoram no augšas lēni tuvina un attālina nūju nepieskaroties. Tad elektrometrus atkal sabīda kopā, lai konduktoru gali saskaras.

Atrisinājums:

Nūjas pietuvināšana konduktoru virkni un pirmā elektrometra stieni polarizē, par ko liecina rādījumi. Abos rādītājos un stieņu lejasgalos ir elektronu pārpalikums, ko elektrometri arī uzrāda. Bet, pieskaroties ar roku, polarizējamajā virknē ieslēdzas pats eksperimentators, vairumu elektronu “ņemot uz sevi”, par ko signalizē arī elektrometri, neko neuzrādot. Rokas noņemšana un attālināšana neko neizmaina, jo polarizācijas izstumtie elektroni jau ir nonākuši eksperimentētājā. Toties nūjas attālināšana parāda, ka elektrometri abi ir vienādi uzlādēti. Otrā elektrometra atbīdīšana neko nemaina. Nūjas atkārtota tuvināšana uzrāda, ka abu elektrometru lādiņš ir pozitīvs. Arī elektrometru sabīdīšana ar konduktoriem kopā rādījumus nevar izmainīt, jo tie ir vienādi gan pēc absolūtās vērtības, gan zīmes. (1 punkts)

Turpmākos eksperimentus veic ar plastmasas statīvos nostiprinātiem elektrometriem. Tas nozīmē, ka korpusi ir izolēti no galda un savā starpā.

- D. (1 punkts) Izlādēta elektrometra konduktoram, pēc tam korpusam nepieskaroties pietuvinā elektrizētu ebonīta nūju un uz brīdi pieskaras korpusa pretējiem sāniem ar roku. Roku un pēc tam nūju attālina no korpusa. Atkārtoti tuvina elektrizēto nūju korpusam un pēc tam konduktoram.

Atrisinājums:

Sākumā tuvinot nūju gan konduktoram, gan korpusam, elektrometrs nūjas veiktās polarizācijas stienī dēļ, uzrāda attiecīgi negatīva un pozitīva lādiņa pārsvaru rādītājā un stieņa lejasgalā. Pietuvinot negatīvi lādētu ebonīta nūju korpusam un pieskaroties citai korpusa malai uz brīdi ar roku, mēs korpusu uzlādējam pozitīvi, līdzīgi kā konduktoru A eksperimentā.

Šāds korpusa lādiņš izraisa stieņa polarizāciju. Elektrometra stieņa apakšgalā un rādītājā elektronu koncentrācija kļūst lielāka, jo korpusss tos pievelk, bet augšā, lodveida konduktorā mazāka.

Atkārtota ebonīta nūjas tuvināšana korpusam rādījumus samazina (nūjas polarizējošā iedarbība daļēji kompensē korpusa iedarbību). Bet tuvināšana konduktoram palielina, jo korpusss pa stieni elektronus velk uz leju, bet nūja no augšas stumj uz leju. Attālinot ebonītu, rādītājs paliek novirzījies no vertikālā stāvokļa, bet mazāk. Tas liecina tikai par elektronu palielinātu koncentrāciju rādītājā un stieņa lejasgalā korpusa veiktās stieņa polarizācijas dēļ, taču kopumā konduktors un stienis nav uzlādēti. Uzlādēts ir tikai korpusss. (1 punkts)

- E. (2 punkti) Izlādēta elektrometra korpusam bez pieskaršanās pietuvina elektrizētu ebonīta nūju, pieskaras tā otriem sāniem ar roku, attālina roku, tad nūju. To pašu veic arī ar elektrometra lodveida konduktoru. Tad ar roku pieskaras korpusam. Pēc brīža konduktoram uzliek roku, tad to noņem. Tālāk video ir piemontēts izlādēšanas variants citā secībā: konduktoram uzliek un noņem roku, pieķeras ar rokām korpusam un atlaiž, tad ar vienu roku pieskaras korpusam un otru vienlaicīgi uzliek konduktoram.

Atrisinājums:

Tuvinot korpusam un konduktoram negatīvi lādētu ebonīta nūju un brīdi pieskaroties ar roku, mēs gan konduktoru, gan korpusu uzlādējam pozitīvi. Rādītāja vertikālais stāvoklis šajā brīdī liecina tikai par to, ka elektrizētā korpusa radītā polarizācija rādītājā un stieņa apakšgalā ir samazinājusi elektronu iztrūkumu līdz nullei, bet augšā (konduktorā) palielinājusi. Taču gan elektrods, gan stienis ir pozitīvi lādēti. (1 punkts)

Ja vispirms izlādējam (pieskaroties ar roku) korpusu, polarizācijas radītā kompensācija izbeidzas, un elektrometrs uzrāda nelielu lādiņu konduktorā, stienī un rādītājā. Uzliekot roku konduktoram, viss ir izlādēts, un rādītājs nostājas vertikāli.

Bet otrajā izlādēšanas mēģinājumā redzams, ka, pieskaroties vispirms konduktoram ar roku, eksperimentators tam pievada trūkstošos elektronus ar uzviju, jo pozitīvi lādētais korpusss tos pievelk. Stieņa leja un rādītājā to kļūst vairāk, nekā pozitīvo lādiņu nesēju, tādēļ rādītājs stipri novirzās no vertikālā stāvokļa. Stipri tādēļ, ka konduktors ar stieni un rādītāju ir arī uzlādēti negatīvi. Šis negatīvais lādiņš saglabājas arī pēc rokas noņemšanas no konduktora. Par to liecina mazefektīvā korpusa izlādēšana – rādītājs tikai nedaudz samazina leņķi ar vertikāli. Tikai pēc vienlaicīgās pieskaršanās korpusam un konduktoram elektrometrs ir pilnīgi izlādēts. (1 punkts)

- F. (3 punkti) No diviem izlādētiem elektrometriem vispirms labās puses elektrometram uzlādē gan korpusu, gan konduktoru, pieskaroties ar ebonīta nūju. Kreisajam arī uzlādē abas daļas, taču tikai

tuvinot nūju, bet pieskaroties ar roku. Atkārtoti tuvina nūju katram konduktoram un katram korpusam. Tad vairākkārt savieno savā starpā konduktorus, tad korpusus, utt.

Atrisinājums:

Labās puses elektrometram gan korpusu, gan konduktoru uzlādē negatīvi, bet kreisajam pozitīvi. Pie tam katram elektrometram korpusu uzlādē tieši tik, lai tas polarizējot precīzi kompensētu rādītāju un stieņa apakšgalu lādiņus. Tādēļ abi elektrometri neko neuzrāda. Arī atkārtotā ebonīta tuvināšanā gan konduktoriem, gan korpusiem abi elektrometri uzvedas vienādi; un tā, it kā būtu izlādēti. Taču savstarpēja konduktoru savienošana izraisa ļoti lielus rādījumus abos elektrometros. Un tas nav tāpēc, ka droši vien to uzlādēšanas pakāpe nav bijusi vienāda. (1 punkts)

Galvenais cēlonis ir dubultā polarizēšana. To veic abi korpusi. Tie polarizē vadītāju virkni: rādītājs ar stieņa lejasgalu – stienis – konduktors – savienotājs – otrs konduktors – otrs stienis – otrs rādītājs ar otra stieņa lejasgalu. Tā kā korpusi ir pretēji lādēti, tie katrs no sava gala polarizē šo virkni kopīgi vienā virzienā. Tādēļ radītie rādījumi ir tik lieli. Savienotāja noņemšana pēc tam neko nemaina. (1 punkts)

Katrs konduktors ar stieni un rādītāju ir ļoti stipri uzlādēts. To lādiņi ir pretēji. Un pretēji katra sākotnējiem lādiņiem. Korpusu savienošana tikai nedaudz samazina elektrometru rādījumus. Tas nozīmē, ka šie korpusi kopīgiem spēkiem ir elektrometrus uzlādējuši daudz stiprāk, nekā katra atsevišķa korpusa izraisītā polarizācija atsevišķā elektrometrā to spētu. Tāpēc, ka abi vienlaicīgi. Tāpēc, ka katrs no sava gala. Un tāpēc, ka polarizējamā virkne kopā iznāca daudz garāka.

Atkārtota konduktoru savienošana daudz būtiskāk samazina abu rādījumus. Daudzkārtēja abu korpusu un abu konduktoru savienošana beidzot pilnīgi izlādē elektrometrus. Šajā procesā var pamanīt, ka sākotnēji elektrometriem piešķirtie lādiņi nav bijuši vienādi. Kreisajā vēl konstatējams lādiņš noturas ilgāk. (1 punkts)

11-E Aukliņas apskāvienos (eksperiments)

Darba materiāli un mērinstrumenti

- Plastmasas caurule;
- tieva aukliņa (gan mērījumu veikšanai, gan grafiku analizēšanai);
- uzgrieznis, kura masa 1 g;
- dinamometrs;
- milimetru papīrs;
- diagrammu papīrs ar logaritmisko skalu uz vienas no asīm;
- tabula ar normāllogaritma vērtībām (dota uzdevuma beigās).

Eksperiments Iesien aukliņas vienā galā uzgriezni, otrā galā dinamometru! Nedaudz aptin aukliņu ap plastmasas cauruli! Izpēti, kā mainās spēks, ar kādu jāvelk aukliņa, lai tā vienmērīgi slīdētu pa cauruli, ja mainām aukliņas vijumu skaitu ap to!

Ieteikumi

- Lieto gan veselu vijumu skaitu, gan pusi, gan ceturtdaļu no vijuma!
- Atkarībā no dinamometra novietojuma veida, ieregulē tā skalā atbilstošu nulles atzīmes stāvokli! To var viegli paveikt, grozot skrūvēti un nostiprinot tās stāvokli ar uzgrieznīti uz skalas.
- Pievērs uzmanību, lai aukliņas vijumi nesaskartos savā starpā, citādi to savstarpējā berze neļaus izmērīt berzi ar cauruli! Ieteicams uztīt aukliņu nedaudz izstieptākā spirālē!

Uzdevums Izpēti, kā mainās spēks, ar kādu jāvelk aukliņa, lai tā vienmērīgi slīdētu pa cauruli, ja mainām aukliņas vijumu skaitu ap to!

- A. (2 punkti) Uzņem vilcējspēka atkarību no aukliņas vijumu skaita ap cauruli! Iegūtos mērskaitļus reģistrē mērījumu tabulā! Pievērs uzmanību, lai mērījumu daudzums un diapazons būtu pietiekams detalizētu grafiku veidošanai!

Atrisinājums:

Darba piederumi un dinamometrs ļauj veikt aptuveni 15 pilnvērtīgus vilcējspēka mērījumus diapazonā no 1 līdz 4,5 vijumiem. Var izmantot arī mazāku mērījumu skaitu, bet ir svarīgi, lai spēku attēlojot logaritmiskā mērogā, grafiks būtu pārliecinoši aproksimējams ar taisni. Tas ir būtiskākais vērtēšanas kritērijs (1 punkts).

Vēl var pārliecināties, ka, palielinot vijumu skaitu, vilcējspēks pieaug vai vismaz nesamazinās. Tas liecinās, ka mērījumi ir veikti pietiekoši rūpīgi un arī nekļūdīgi reģistrēti. Jānorāda arī pareizās mērvienības. (1 punkts)

- B. (2 punkti) Mērījumu rezultātus attēlo tādā grafikā (vai vairākos), kas ļautu analizēt eksperimenta rezultātus uzdevuma divās pēdējās daļās (D un E).

Atrisinājums:

Ja skolēns jau veicot mērījumus un aizpildot tabulu saprot, kāda veida sakarība veidojas, viņš var vilcējspēku uzreiz attēlot logaritmiskajā skalā. Ja uzreiz to nepamana, var vispirms attēlot sakarību lineāri uz milimetru papīra un ieraudzīt, ka grafiks izskatās pēc eksponentes. Tad var par to pārliecināties, lietojot logaritmisko diagrammu papīru (1 punkts).

Caur tajā atliktajiem punktiem jaspēj aptuveni novilkt vai iedomāties taisni. Skaidrs, ka tai jāiet caur logaritmiskā papīra asu krustpunktu, jo $mg = 0,01 \text{ N}$. Visiem mērījumiem nav jāaprēķina logaritma vērtības. Taisne ir pareizā atslēga divām pēdējām uzdevuma daļām (skat. grafika piemēru). (1 punkts)

- C. (1 punkts) Izskaidro, kāpēc iegūtā sakarība nav lineāra!

Atrisinājums:

Iegūtā sakarība varētu būt lineāra tikai tad, ja aukliņas sastiepuma spēks visā tās garumā būtu nemainīgs. Tā nav. Saskaroties ar cauruli un radot uz to spiediena spēku, aukliņas berzes spēks pret cauruli liek sastiepuma spēkam līdzsvarot arī to, ne tikai sākotnējo uzgriežņa smaguma spēku, lai aukliņa varētu vienmērīgi slīdēt. Šis palielinātais sastiepuma spēks rada nākamajā aukliņas posmā vēl lielāku berzes spēku. Tāpēc virzienā pa aukliņu no uzgriežņa uz dinamometru aukliņas sastiepuma spēka pieaugums kļūst arvien straujāks, lai gan berzes koeficients visur ir vienāds. Rezultātā iegūstam eksponenciālu līkni. (1 punkts)

- D. (3 punkti) Izveido eksperimentā iegūtās atkarības matemātisko aprakstu, kas atklātu tās cēloņus un dotu iespēju izveidotajā grafikā ieraudzīt, kāds ir berzes koeficients starp aukliņu un cauruli!

Ieteicams aukliņas vijumu skaitu izteikt radiānos mērītos loka leņķos α – piem., $\frac{\pi}{2}$, π , $\frac{3\pi}{2}$, 2π , $\frac{5\pi}{2}$ utt.

Matemātiskā modeļa veidošanu ir racionāli sākt no aukliņas sastiepuma spēku salīdzināšanas galos un vietās starp tiem. Izdevīgi pievērst uzmanību ļoti sīkiem aukliņas posmiem, caurules virsmas reakcijas spēkam uz tiem un nonākt līdz berzes spēkam, beigās iegūstot vienādojumu.

Ja pēc dotā apraksta nevari iegūt analītiski formulu berzes koeficienta aprēķināšanai, piedāvā formulu, kas aprakstītu sastiepuma spēka atkarību no leņķa α , balstoties uz eksperimentālajiem datiem. Mēģini iegūt formulu ar pēc iespējas mazāk parametriem (konstantēm), kas jānosaka no eksperimentālajiem datiem.

Atrisinājums:

Jāvadās pēc klasiskās sakarības starp virsmas reakcijas spēku F_r un berzes spēku F_b neaizmirstot, ka tie abi virzienā uz dinamometru pieaug arvien straujāk.

$$F_b = \mu F_r$$

Auklas sastiepuma spēkam T jābūt skaitliski vienādam ar $F_b + mg$ līdz apskatāmajai auklas vietai. Arī to pieaugumam jebkurā mazā aukliņas posmā, kas ap cauruli veido mazu loku ar leņķi $d\alpha$, jābūt vienādiem:

$$dT = \mu dF_r,$$

kur μ ir berzes koeficients. No otras puses skatoties, varam rakstīt arī, ka $dF_r \approx T d\alpha$, jo aukliņas gabaliņa katra gala sastiepuma spēkam T auklas lokā ir radiālā komponente $T \frac{d\alpha}{2}$. α ir jāizsaka radiānos. (1 punkts).

Apvienojot līdzšinējos spriedumus, iegūstam diferenciālvienādojumu:

$$dT = \mu T d\alpha \text{ vai } d \ln T = \mu d\alpha \text{ (1 punkts)}$$

$$\text{un } \mu = \frac{d \ln T}{d\alpha}$$

Tas ir logaritmiskās līknes slīpums jeb virziena koeficients. Berzes koeficienta noteikšanai pietiek aprēķināt logaritma vērtību tikai diviem punktiem. Šo izvedumu var veikt arī ar galīgi (nevis bezgalīgi) maziem lielumiem δT ; δF_p ; $\delta \alpha$; $\delta \ln T$, ja skolēns nezina diferenciāļus un diferenciālvienādojumus. (1 punkts)

- E. (2 punkti) Pēc iespējas precīzāk nosaki dinamisko slīdes berzes koeficientu starp aukliņu un cauruli no grafika, izmantojot iepriekšējā punktā veikto procesa matemātisko analīzi. Parādi rezultāta aprēķinus! Rezultāta iespējamo kļūdu vienkārši novērtē kā pieredzējis fiziķis bez aprēķiniem!

Ja iepriekšējā jautājumā formulu iegūvi no eksperimenta datiem, tad pēc iespējas precīzāk nosaki konstantes formulā un novērtē šo konstanšu kļūdas.

Atrisinājums:

μ aprēķināšanai var ņemt neapstrīdamo asu krustpunktu un kādu tālāku taisnes punktu (skat. grafika piemēru). 4 vijumi ir 8π radiāni.

$$\ln 2.5 - \ln 0.01 = 0.916 - (-4.605) \approx 5.52$$

$$\mu = \frac{5.52}{8\pi} \approx 0.22$$

Var ņemt arī jebkurus divus punktus, kas atrodas uz taisnes vai arī ir izkārtējušies tai paralēli: 1 vijums ir 2π radiāni.

$$\ln 0.9 - \ln 0.2 = -0.105 - (-1.609) \approx 1.50$$

$$\mu = \frac{1.50}{2\pi} \approx 0.24 \text{ (1 punkts)}$$

Uzdevuma autoram iznāca $\mu = 0.23$ (+0.07 - 0.03) maksimālā kļūda

Ja skolēna rezultāts iekļaujas šajās robežās (nepieskaitot vēl skolēna kļūdu robežas), tad piešķirams vēl (1 punkts).

Papildus informācija Ja nepieciešams noteikt $\ln x$ vērtības, vari izmantot arī doto tabulu.

x	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
lnx	-4.605	-2.996	-2.303	-1.609	-1.204	-0.916	-0.693	-0.511	-0.357

x	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
lnx	-0.223	-0.105	0.000	0.095	0.182	0.262	0.336	0.405	0.470

x	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
lnx	0.531	0.588	0.642	0.693	0.742	0.788	0.833	0.875	0.916

x	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4
lnx	0.956	0.993	1.030	1.065	1.099	1.131	1.163	1.194	1.224

x	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3
lnx	1.253	1.281	1.308	1.335	1.361	1.386	1.411	1.435	1.459

x	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0
lnx	1.482	1.504	1.526	1.548	1.569	1.589	1.609