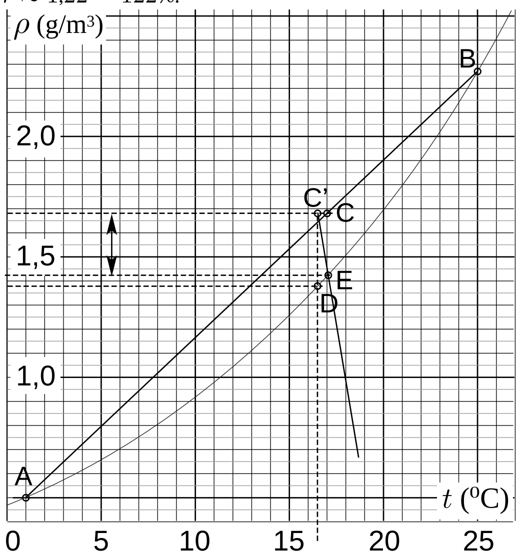
1. Kuivatamine

1) Olgu sooja ja külma õhu moolide hulgad ν_1 ja ν_2 ning ühe mooli soojusmahtuvus konstantsel ruumalal C_V. Siis summarne siseenergia muut $\Delta U = C_V[\nu_1(T-T_1)+\nu_2(T-T_2) = (C_V p_0/R)(V-V_1-V_2)$ (ideaalse gaasi olekuvõrrandit kasutades). SIseenergia muut peab võrduma rõhumisjõudude tööga: $(C_V p_0/R)(V-V_1-V_2) = p_0(V-V_1-V_2)$, millest $V-V_1-V_2$ (sest $C_V/R \neq 1$).

2) Gaasi koguhulk moolides $(p_0/R)(V_1/T_1 + V_2/T_2) = (p_0/R)(V_1+V_2)/T_*$, millest $T_* = (V_1+V_2)/(V_1T_1^{-1}+V_2T_2^{-1})$, st $t_* \approx 16{,}5\,^\circ\mathrm{C}$.

3) Auru mass $m_a = \rho_a(t_1)V_1 + \rho_a(t_2)V_2$, küllastunud auru mass antud temperatuuril $m_{ak} = \rho_a(t_*)(V_1+V_2)$. Suhteline niiskus $r = m_a/m_{ak}$, sest fikseeritud temperatuuril on rõhk võrdeline tihedusega. Niisiis, $r = \tilde\rho_a/\rho_a(t_*)$, kus aurutiheduste kaalutud keskmine $\tilde\rho_a = [\rho_a(t_1)V_1+\rho_a(t_2)]/(V_1+V_2)$ — selle väärtuse saame leida graafikult punkti C koordinaadina: tõmbame sirge $at+b$, mis ühendab graafiku punkte A ja B ning võtame lugemi $at_{**}+b \approx 1{,}68\,\mathrm{g/m^3}$ punktis C ($t_{**} = 17\,^\circ\mathrm{C}$), mis jagab lõigu $[t_2;t_1]$ vahekorras $V_1 : V_2$. Küllastunud auru tiheduse antud temperatuuril leiame punkti D koordinaadina: $p_a(t_*) \approx 1{,}38\,\mathrm{g/m^3}$. Lõpptulemuseks saame $r \approx 1{,}22 = 122\%$.



4) Et leida kondenseeruva vee hulga, paneme kirja seose $c_p\rho_0\Delta t = q[\tilde\rho_a - \rho_a(t_*+\Delta t)]$, kus Δt on kondenseerumise tulemusel toimunud temperatuuri muut. Tähistame $t_*+\Delta t = \tau$ ja kirjutame eelmise seose ümber kujul $\rho_a(\tau) = \tilde\rho_a - c_p\rho_0(\tau-t_*)/q$. Niisiis tuleb leida graafikul kõvera $\rho_a(\tau)$ lõikepunkt E sirgega $\tilde\rho_a - c_p\rho_0(\tau-t_*)/q = \tilde\rho_a - 0{,}478\,\mathrm{g\cdot m^{-3}K^{-1}}\cdot(\tau-t_*)$ (joonisel $C'E$). Kasutades graafikut leiame, et vastav aurutiheduse muut $\Delta\rho \approx 0{,}25\mathrm{g/m^3}$ — see on nooltega varustatud vertikaallõigu pikkus. Seega, kondenseerunud vee mass $\Delta m = \Delta\rho(V_1+V_2) \approx 7{,}5$g.

Niisiis, kui meteoroloogid räägivad, et külma ja sooja õhu kokkupuute piirkonnas on suured sajud, siis nähtust seletab antud ülesanne.

2. Pildistamine

Paneme tähele, et joonise allosas on paar selgete piirjoontega rõngakujulist heledat laiku piirkonnas, mis on muidu hägune ja ebaselgete piirjoontega. Need saavad olla ainult fookusest väljas oleva punktvalgusallika tekitatud, vt joonis. Olgu joonlaua kaugus objektiivist l ja sensori ning fookuse vahekaugus x. Siis vastavalt Newtoni valemile $x(l-f) = f^2$, kus f on fookuskaugus, millest $\frac{l-f}{f} = \frac{f}{x}$. Olgu laigu diameeter δ. Siis läätse diameeter $d = \delta\frac{f}{x} = \delta\frac{l-f}{f}$. Olgu joonlaua kujutise suurus a ning joonlaua enese suurus — A. Siis $A = a\frac{l}{x+f}$. Läätse valemist $\frac{1}{x+f} = \frac{l-f}{fl}$, seega $A = a\frac{l-f}{f}$. Võrreldes eelmise tulemusega leiame $d = \delta A/a$, st läätse diameeter on võrdne laigu diameetriga, kui kasutada joonlaua kujutist mõõtkavana. Jooniselt leiame $d = 17$ mm.

3. Imemine

1) Olgu x horisontaalteljeks ja y — laengut läbivaks vertikaalteljeks. Vedeliku pinnal on vedeliku ruumalaühiku potentsiaalne energia kõikjal üks ja sama (et vedelik ei hakkaks madalama energia poole voolama). Seega on vedeliku pinna kõrgus $\chi(x)$ määratud valemiga $\Pi_{vp} = \rho_m g\chi - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\rho_e q/r = 0$, kus $r = \sqrt{x^2+(\chi-H)^2}$ on vaadeldava punkti kaugus laengust. Tähistagem $\chi_0 \equiv \chi(0)$. Eelmisest valemist saame (arvestades, et $x=0$ korral $r = H-\chi_0$) võrrandi $\chi_0(\chi_0-H) + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\rho_e q}{\rho_m g} = 0$. Tähistagem $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\rho_e q}{\rho_m g} = A$. Siis

$$\chi_0 = \frac{1}{2}(H - \sqrt{H^2-4A}).$$

2) On selge, et laengule voolamine algab punktis $x = 0$, kus vedeliku pind on kõige kõrgem. Voolamine algab, kui see pinnapunkt [koordinaatidega $(0,\chi_0)$] on potentsiaalse energia maksimumiks liikumisel piki y-telge laengu suunas, st funktsioonil $\Pi(y) = \rho_m g y - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\rho_e q/(h-y)$ on maksimum punktis $y = H_0$. Niisiis saame kaks võrrandit:

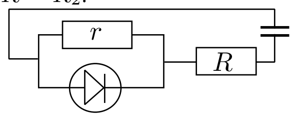
$$\rho_m g\chi_0 - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\rho_e q/(h-\chi_0) = 0,$$
$$\rho_m g - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\rho_e q/(h-\chi_0)^2 = 0.$$

Neid võrreldes näeme, et $h = 2\chi_0$ ning $\chi_0^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\rho_e q/\rho_m g$, seega

$$h = \sqrt{\rho_e q/\pi\varepsilon_0\rho_m g}.$$

4. Elektri eksperiment

Alustuseks laadime kondensaatori (kusjuures me ootame piisavalt kaua, umbes sama kaua alljärgnevad kui tühjaks laadimise katsed — tagamaks, et kondensaator laadub elektromotoorjõu pingeni). Seejärel tühjendame ta kahel takistil ja dioodil vastavalt juuresolevale skeemile; dioodiga pralleelselt on tundmatu takistus r. Teostame kaks katset kasutades jadamisi lülitatud takistina mõlemat tuntud takistit, $R = R_1$ ja $R = R_2$.



Kondensaatori algpinge on $U_0 = \mathcal{E}$; seni kuni diood põleb, on tal konstantne pinge — nagu pingeallikal. Seetõttu läheneb kondensaatori pinge eksponentsiaalselt sellele väärtusele:

$$U - U_c = (\mathcal{E} - U_c)e^{-t/RC}.$$

Diood lakkab põlemast, kui kogu vool $I = (U-U_c)/R$ läheb läbi tundmatu takisti, st $I = U_c/r$. Seega saame kustumishetkel ($t = \tau$):

$$r(\mathcal{E} - U_c)e^{-\tau/RC} = RU_c.$$

Kirjutades selle seose välja mõlema takisti jaoks saame

$$r(\mathcal{E} - U_c)e^{-\tau_1/R_1C} = R_1U_c.$$
$$r(\mathcal{E} - U_c)e^{-\tau_2/R_2C} = R_2U_c.$$

Jagades need seosed läbi ning võttes logaritmi leiame:

$$C = \left(\frac{\tau_2}{R_2} - \frac{\tau_1}{R_1}\right)/\ln\frac{R_1}{R_2}.$$

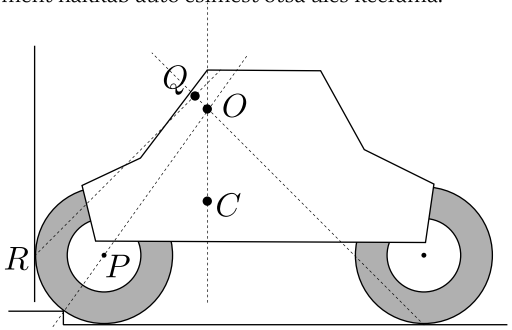
Teostades mõlema katse jaoks 3–5 mõõtmist ning leides mõõtmiste keskmised ($\tau_1 \approx 37$ s, $\tau_2 \approx 32{,}4$ s), leiame $C \approx 13\,\mu$F.

5. Tühi kott

1) Rõhk põrandale on $P = p + \sigma g$, seega $\sigma L g = (p + \sigma g)c$, millest $c = L/(\frac{p}{\sigma g} + 1)$.
2) Esitame siinkohal sellise lahenduse, mis ei kasuta tekstis toodud vihjet (jättes vihjet kasutava lahenduse igaühe enese leida). Omagu pinge mingis alumises, põranda vahelises punktis P_0 väärtust T_0. Vaatleme punktide P ja P_0 vahelise kotiriide lõigu sellise väikese virtuaalse nihke juures energia balanssi, kus alt antakse kotiriiet juurde pikkuse δ-võrra ja ülevalt tõmmatakse sama palju ära, st kus iga kotiriide punkt nihkub piki oma puutujat ja riide kuju säilib. Selle kotiriide tüki potentsiaalne energia muutub (koti pikkusühiku kohta) $\sigma\delta g x$ võrra (sest kotiriide jupp pikkusega δ satub põrandalt kõrgusele x); tööd tehakse $(T - T_0)\delta$-jagu. Energia balanss annab $T = \sigma g x + T_0$, seega $\alpha = \sigma g$.
3) Koti mõttelise vasaku ja parema poole vahelise tasakaalu tingimuse saab kirja panna kujul $T_1 + T_0 = pa$. Arvestades, et $T_0 = T_1 - \sigma g a$ Neist kahest võrrandist on lihtne leida $T_1 = (p + \sigma g)\frac{a}{2}$.
4) Koti ülemise- ja alumise mõttelise poole vahelise tasakaalu tingimus: $2T_2 + L_1\sigma g = pb$, kus T_2 on pinge kõige laiemas kohas ja $L_1 \approx L/2$ — ülemise kotipoole pikkus. Et pinge T kasvab lineaarselt kõrgusega ja kõige laiem koht on enam-vähem poolel kõrgusel, siis $2T_2 \approx T_1 + T_0 = pa$; asendades esimesse avaldisse leiame $p(b - a) = L\sigma g/2$. Arvestades, et kott on peaaegu ümmargune, võime kirjutada $\pi(b + a) \approx 2L$, mille asendamisel saame lõplikult $\varepsilon \approx \frac{\pi g \sigma}{4p}$.

6. Auto

1) Vaatleme üle tõkke veeremist alustava auto jõudude tasakaalu projektsiooni horisontaalteljele. Ainus sellist projektsiioni tekitav jõud saaks olla nurgas rattale toimiv hõõrdejõu ja rõhumisjõu resultant, mis tasakaalu tõttu peab samuti olema null. Seega peab see resultant olema suunatud otse üles ning järelikult $H = \frac{d}{4}(2 - \sqrt{2}) \approx 15$ cm.
2) Vaatleme jõumomentide tasakaalu tagumise ratta puutepunkti rakendatud hõõrdejõu ja rõhumisjõu resultandi pikenduse ja masskeskmest tõmmatud vertikaalsirge lõikepunkti O suhtes. Tasakaalu puhul peab esimese ratta ja nurga puutepunkti rakendatud rõhumisjõud minema läbi selle sama punkti, st esimese ratta ja sirge OP lõikepunkt annab nurga asukoha (P on esimese ratta keskpunkt). Mõõtkava kasutamine annab $H \approx 10$ cm.
3) Vaatleme jõumomentide tasakaalu tagumise ratta puutepunkti rakendatud hõõrdejõu ja rõhumisjõu resultandi pikenduse ning esimese ratta ja seina puutepunkti rakendatud hõõrdejõu ja rõhumisjõu resultandi pikenduse lõikepunkti Q suhtes. Et Q asub masskeskmest vasakule, siis summarne jõumoment hakkab auto esimest otsa üles keerama.



7. Mass-spektromeeter

1) Magnetväljas liigub laetud osake mööda ringjoont, mille raadius on $R = l/\sqrt{2}$. Lorentzi jõud annab kesktõmbe kiirenduse, $Bev = Mv^2/R$, millest $BeR = p$. Arvestades, et $p^2 = 2MUe = B^2e^2R^2$, saame

$$M = B^2l^2e/4U.$$

2) Nüüd võib trajektoori raadius olla $R \pm r$. Ligikaudse arvutuse abil saame $\Delta R/R = r\sqrt{2}/l \approx \Delta M/2M$, millest $\Delta M \approx Mr2\sqrt{2}/l$, st

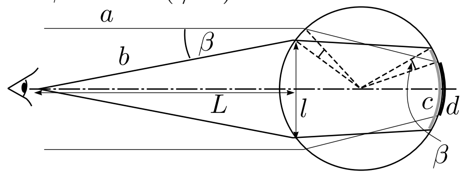
$$\Delta M = B^2lre/\sqrt{2}U.$$

3) Ioon väljub magnetväljast vahemaa r võrra ennem (või hiljem), kui veerand ringist läbitud. Seega $\Delta\varphi \approx r/R = r\sqrt{2}/l$.
4) Iooni teatav algenergia kT tähendab seda, et lõppenergia on $Ue + kT = e(U + kT/e)$, mis on ekvivalentne pinge muutusega $\delta U = kT/e$. Kasutades ligikaudset arvutust ja esimese küsimuse vastust saame $\delta M = \frac{dM}{dU}kT/e$, st

$$\delta M = B^2l^2kT/4U^2.$$

8. Optika eksperiment

1) Kaugelt pudeli poole vaadates on näha, et millimeeterskaala paistab pudeli keskosas pärispidisena, aga serva lähedal muutub pööratuks; see pöördepunkt vastab skaala nähtava osa ühele otspunktile (teine otspunkt vastab pöördepunktile pudeli teises servas). Lähedalt vaadates näeme me mõnevõrra pikemat skaala osa (joonisel hall joon c), kui paistaks hästi kaugelt (must joon d). Hästi kaugelt vaatmisel äärmine kiir murdub pudelisse sisenemisel teatud nurga võrra (joonisel a); lähemalt vaatamisel on üks pudelisse sisenevatest kiirtest selle sarnane (murdub sama nurga võrra) — joonisel märgitud tähega b. Need kaks kiirt saadakse üksteisest pööramisel nurga β võrra pudeli keskpunkti ümber. Niisiis on joonisel hallina märgitud skaalaosa igal juhul nähtav, st nähtav osa pikeneb vähemalt suuruse $2R\beta$ võrra (vt joonis). Sooritades mõõtmise võimalikult suure L väärtuse juures rakendame seda avaldist vastuse korrigeerimiseks. Nurga β leiame valemist $\beta = \arcsin(l/2L)$.



Alternatiivse lähenemisena võib teostada lõigu c mõõtmisi erinevate kauguste L juures ning esitada need graafikul, kus horisontaalteljeks on $1/L$. Sellisel juhul tuleb punkt $L = \infty$ koordinaatide alguspunktiks ja meil on võimalik graafikut selleni ekstrapoleerida)

Mõõtmistulemused annavad skaalalõigu pikkuseks $d \approx 22$ mm (raadiuse $R = 31$ mm juures).
2) Võrreldes eelmise küsimuse juures uuritud lõiku c ning kiirte käiku vikerkaares selgub, et kiirte käik on tegelikult sama ja kehtib seos $\frac{d}{2} = R\frac{\alpha}{2}$, vt joonis. Niisiis $\alpha = d/R$ Asendades eelmise osa arvandmed leiame $\alpha \approx 41°$.