UiO : Universitetet i Oslo

Norsk Fysikklærerforening
I samarbeid med Skolelaboratoriet, Fysisk institutt, UiO

Fysikkolympiaden - Norsk finale 2021

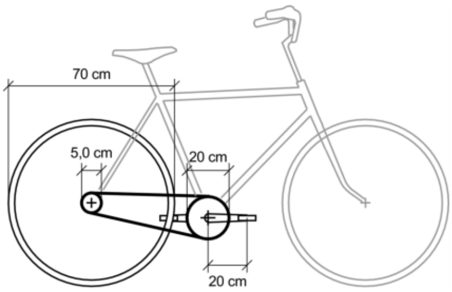
Torsdag 25. mars kl 12.00 til 14.30

Hjelpemidler: Lommeregner og utdelt formelark (2)
Oppgavesettet består av 3 sider og det er 6 oppgaver.
Alle deloppgaver gir 4 poeng.

Lykke til!

Oppgave 1

Du skal ut og sykle, og legger hele din vekt på den ene pedalen, som er plassert som på figuren (rett fram fra akslingen). Målene på sykkelen er gitt på figuren, sykkelen veier 10 kg, og vi antar at du veier 70 kg. Forklar eventuelle antagelser eller tilnærminger du gjør-



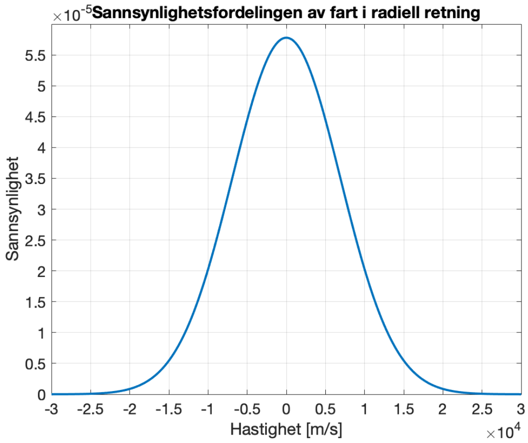
Finn sykkelens akselerasjon idet du tråkker ned pedalen (i startøyeblikket).

Oppgave 2

En meteor er på vei mot jorden. For å stoppe meteoren blir det bestemt at den skal sprenges i biter. Meteoren er helt rund, har en radius på 1 km og en tetthet på 10^3 kg/m^3. Når meteoren skal sprenges er det ønskelig at alle partiklene unnslipper meteorens gravitasjonsfelt slik at ingen deler av meteoren faller tilbake mot hverandre og samler seg. Hvor mye energi vil dette minst kreve? Anta at bitene av meteoren skal bli veldig små.

Oppgave 3

Figuren viser hastighetsfordelingen til hydrogenatomer i solatmosfæren. Det som er vist er hastigheten langs synsretningen.



Selv om atomer kun kan absorbere lys ved bestemte bølgelengder har Fraunhofer-linjene i sollys en ikke ubetydelig bredde. Linjebredden skyldes i stor grad doppler-effekten. F.eks. når et hydrogenatom beveger seg mot et foton vil fotonet blåskiftes sett fra atomets perspektiv, som da kan absorbere fotoner med lavere energi enn det ville i ro. La oss definere bredden på Fraunhofer-linjene som differansen mellom de to bølgelengdene der fotoner absorberes 10 ganger sjeldnere enn ved den bølgelengden der flest fotoner absorberes. Hva vil da bredden på Fraunhofer-linjen ved 656.3 nm være? Hint: Du må bruke grafen! Vi oppgir formelen for relativistisk dopplereffekt

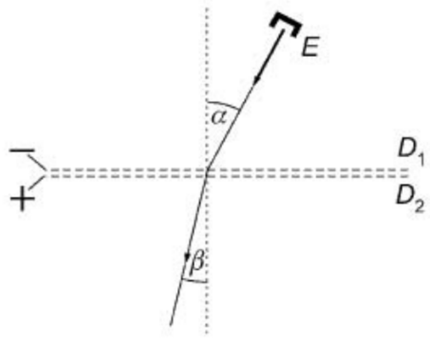
$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}}$$

der λ_0 er bølgelengden til lyset sett fra en observatør i ro i fohold til kilden, mens λ er bølgelengden sett fra en observatør med hastighet v langs lysbanen i forhold til kilden.

Oppgave 4

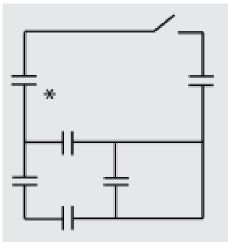
En tett varmluftballong har volumet $5,7 \cdot 10^3$ m^3. Lufta utenfor ballongen har temperaturen 0° C og tettheten 1,3 kg/m^3. Lufta inni ballongen har temperaturen 100° C. Hvor mye kan ballongen løfte (massen til ballong pluss last)?

Oppgave 5



Vi har to parallelle metallnett med en potensialforskjell U, som vist på figuren. De to nettene virker som en kondensator, men elektroner kan passere gjennom dem. Elektroner fra kilden E kommer til det første nettet, D_1, med farten v. Vis at elektronstrålen brytes idet den passerer nettene på samme måte som når en lysstråle går fra et medium til et annet. Det vil si at forholdet $\sin\alpha/\sin\beta$ er uavhengig av innfallsvinkelen α (Snells brytningslov). Bestem hvordan dette forholdet avhenger av farta v.

Oppgave 6



I denne kretsen er alle kondensatorene like. Opprinnelig er bryteren åpen, og bare den kondensatoren merket med * er ladet opp. Bryteren lukkes, og etter at ladningene har nådd ny likevekt har kondensatoren merket med * fått en ladning Q. Hva var den opprinnelige ladingen Q_0 på denne kondensatoren?

Fysikkolympiaden – Norsk finale 2021
Løsningsforslag

Oppgave 1

Vi kaller lengden av pedalen d, radien i det store tannhjulet (foran) R, radien i det lille tannhjulet (bak) r og radien i hjulet R_0. Krafta på pedalen kaller vi F_p og friksjonskrafta mellom hjulet og veien F. Massen til syklisten er M og massen til sykkelen m. Vi antar at massen til pedaler, tannhjul og sykkelhjul har så små treghetsmoment at vi kan se bort fra det kraftmomentet som skal til for å sette dem i rotasjon. Da er summen av kraftmoment både på det fremre tannhjulet og på sykkelhjulet lik null, som gir oss likningene

$$F_p d = SR$$
$$Sr = FR_0$$

der S er krafta i kjedet. Dette gir

$$F = \frac{rd}{RR_0} F_p = \alpha F_p.$$

Hvis vi tenker at hele vår vekt legges på pedalen kan vi anta at $F_p = Mg$, og da blir akselerasjonen

$$a_0 = \frac{F}{M+m} = \alpha \frac{Mg}{M+m} = 1,2 \text{ m/s}^2.$$

Når vi setter $F_p = Mg$ har vi gjort en antagelse om at massesenteret til syklisten ikke akselereres nedover, slik at summen av kreftene på syklisten i vertikal retning er null. Det betyr at vi må starte med beinet bøyd, og rette det ut i takt med at pedalen akselererer nedover. Hvis vi isteden antar at vi står med et stivt bein vil massesenteret akselerere nedover med samme akselerasjon a_p som pedalen. Da blir

$$F_p = M(g - a_p).$$

Vi har at $a_p = \alpha a$, og da blir akselerasjonen

$$\frac{1}{1 + \alpha^2 \frac{M}{M+m}} a_0 = 1,2 \text{ m/s}^2.$$

Forskjellen mellom de to antagelsene er altså liten.

Oppgave 2

Vi må regne ut hvor stort arbeid vi må gjøre for å fjerne alle delene uendelig langt fra hverandre. Vi kan tenke oss at vi gjør det med en liten del med massen dm av gangen. Massen til det som er igjen til enhver tid kaller vi m og radien i den gjenværende kula r. Den opprinnelige radien er R, og den totale massen er M. Vi har at

$$m = \rho V = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho,$$

og

$$\frac{dm}{dr} = 4\pi r^2 \rho$$

Det nødvendige arbeidet er

$$W = \gamma \int_0^M \frac{m dm}{r^2} = \frac{16\pi^2\rho^2\gamma}{3} \int_0^R r^4 dr = \frac{16\pi^2\rho^2\gamma}{15} R^5 = 7,0 \cdot 10^{11} \text{ J}.$$

Oppgave 3

Fra grafen ser vi at hastigheten til atomer der sannsynligheten for denne hastigheten er 10 ganger mindre enn null hastighet er omtrent $v = 1,5 \cdot 10^4$ m/s. Disse vil absorbere stråling på bølgelengden

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} = 656,333 \text{ nm}$$

der $\lambda_0 = 656,3$ nm er senterfrekvensen. Det gir linjebredden

$$\Delta\lambda = 2(\lambda - \lambda_0) = 66 \cdot 10^{-12} \text{ m}.$$

Oppgave 4

Vi kaller volumet til ballongen V, tettheten til lufta utenfor ballongen ρ, temperaturen utenfor ballongen T_1 og inni ballongen T_2. Oppdriften er lik tyngden til den fortrengte lufta, altså $F = \rho V g$. Vi trenger å finne tyngden til lufta inni ballongen, men vi kjenner ikke tettheten. La oss isteden tenke oss at vi tar den lufta og kjøler ned til samme temperatur som utenfor og se hvor stort volum V' den da får. Trykket er konstant, så $V' = V\frac{T_1}{T_2}$. Tyngden til lufta er da $G = \rho V' g = \rho V \frac{T_1}{T_2} g$. Massen den kan løfte er

$$\frac{F - G}{g} = \rho V \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) = 2,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

Oppgave 5

Vi kaller initialfarten v med komponentene v_X (parallelt med platene) og v_y (vinkelrett på platene). For innfallsvinkelen har vi da

$$\sin\alpha = \frac{v_x}{v}$$

Mellom platene er det et elektrisk felt som gir akselerasjon i y-retningen, mens farten i x-retningen er uforandret lik v_x. Energibevaring gir at farten v' etter passering av platene er gitt fra

$$\frac{1}{2}mv'^2 = \frac{1}{2}mv^2 + eU$$

som gir

$$v' = \sqrt{v^2 + \frac{2eU}{m}}.$$

Da blir

$$\sin\beta = \frac{v_x}{v'}$$

og

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \sqrt{1 + \frac{2eU}{mv^2}}$$

som vi ser er uavhengig av α, men varierer med v.

Oppgave 6

Kondensatoren på den vertikale lederen nederst i midten er kortsluttet og kan fjernes. Den nedre delen av figuren er da en parallellkobling av en kondensator og to kondensatorer i serie. Det gir en kapasitans på $\frac{3}{2}C$, der C er kapasitansen til en enkelt kondensator. Det er en seriekobling mellom den nedre parallelkoblingen og kondesatoren til høyre, med totalkapasitans $\frac{3}{5}C$. Kretsen er altså ekvivalent med den stjernemerkede kondesatoren (kapasitans C) i serie med resten (kapasitans $C_T = \frac{3}{5}C$) Når bryteren lukkes vil spenningen på de to bli like, og vi har oppgitt at ladningen p åden stjernemerkede er Q. Ladningen på resten er Q', og vi får

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q'}{C_T}.$$

Da blir

$$Q' = \frac{C_T}{C}Q = \frac{3}{5}Q.$$

Den opprinnelige ladningen må da ha vært

$$Q_0 = Q + Q' = \frac{8}{5}Q.$$