

Fysik 2014

Råd og vink til den skriftlige prøve

Fysik stx

Maj – juni 2014

Undervisningsministeriet
Kvalitets- og Tilsynsstyrelsen
Marts 2015



Indhold

1. Indledende bemærkninger	side 3
2. Censorernes bemærkninger til besvarelserne af årets opgaver	side 3
3. Elevernes besvarelser af sæt 1	side 3
4. Elevernes besvarelser af sæt 2	side 11
5. Generelle bemærkninger til eksaminandernes besvarelser	side 21
6. Taksonomi og prognose	side 22
7. Afsluttende bemærkninger	side 25



1. Indledende bemærkninger

Ved den skriftlige prøve i fysik (stx) sommeren 2014 blev der stillet to opgavesæt. Sættene er mærket 1STX141-FYS/A-23052014 og 2STX141-FYS/A-03062014 og findes på adressen <http://materialeplatform.emu.dk/eksamensopgaver/>.

Her følger nogle råd og vink til lærere og elever til arbejdet med den skriftlige dimension rettet mod den skriftlige prøve.

Sættene behandles hver for sig med nogle fælles generelle kommentarer.

2. Censorernes bemærkninger til besvarelsene af årets opgaver

På censormødet diskuterer fysikcensorerne de to sæt som helhed inden karakterfastsættelsen for de enkelte besvarelser. Hensigten er dels at etablere det bedst mulige grundlag for en ensartet bedømmelse af besvarelsene, dels at rådgive opgavekommissionen med hensyn til det fremtidige arbejde. Drøftelsen sker på basis af en samling skriftlige kommentarer fra censorerne til såvel de enkelte spørgsmål som til sættene som helhed samt en prognose for censorernes foreløbige evaluering af et antal besvarelser.

Prognosen fremkommer ved at censorerne indberetter deres foreløbige evaluering af et antal besvarelser. Hvert af de 15 spørgsmål tildeles her et pointtal mellem 0 og 10. I år omfattede denne indberetning 1316 besvarelser for sæt 1 og 622 besvarelser for sæt 2. Censorernes indberetninger udgør dermed en stikprøve på næsten 100 % af samtlige besvarelser

Pointtallene fra prognosen kan benyttes til at vurdere sværhedsgraden af de enkelte spørgsmål. Spørgsmål med pointtal 8-10 må således opfattes som umiddelbart lette, pointtal 6-8 svarer til mere sammensatte spørgsmål, mens spørgsmål med pointtal under 6 kræver, at eksaminanden kan bruge eller opstille mere komplicerede modeller for den foreliggende problemstilling. Pointtallene for hver opgave fra prognosen er i det følgende angivet som *middelscore*.

3. Elevernes besvarelser af sæt 1

1. Poselukker

Spørgsmål 1a (Middelscore: 9,1)

Spørgsmålet klares fint af langt de fleste. Det sker enten ved kombination af to formler, eller ved indsættelse i $P = \frac{U^2}{R}$. Oplysningerne i opgaven er kun angivet med 2 cifre, så der gives ikke fuldt pointtal for besvarelser med mange betydende cifre.

Spørgsmål 1b (Middelscore: 7,1)

Man skal beregne energien, der medgår til opvarmning og dernæst smeltning af 31 mg frysepose, og endelig ud fra varmelegemet's effekt beregne tiden. Til vurderingen hører en antagelse om starttemperaturen for posen. Man kunne også forvente kommentarer om energi til omgivelserne, men yderst få nævner dette eksplicit, sådan som man ser det i besvarelsen nedenfor.

Almindelige fejl er, at kun den ene af de to energier indgår i beregningen, eller at enhederne håndteres forkert. Der kan fx ske fejl i omregning fra mg til kg og ikke mindst i temperaturforskellen, der vurderes 273 K for højt.

- b) Jeg antager, at posen fra starten af har temperaturen 20° C, at den del af posen der smeltes netop ender på 110° C, og at intet varme går tabt til omgivelserne eller andre dele af posen. Da skal der til opvarmningen fra 20° C til 110° C tilføres energien:

$$E_1 = m \cdot c_{pose} \cdot (\Delta T) = 31 \text{ mg} \cdot 2,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 90^\circ \text{C} = 6,42 \text{ J}$$

Til smeltningen af posen skal der tilføres:

$$E_2 = m \cdot L_{pose} = 31 \text{ mg} \cdot 116,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 3,61 \text{ J}$$

I alt skal der altså tilføres energien, $E = 6,42 \text{ J} + 3,61 \text{ J} = 10,03 \text{ J}$. Med effekten 3,5 w tager dette tiden:

$$t = \frac{E}{P} = \frac{10,03 \text{ J}}{3,5 \text{ w}} = 2,87 \text{ sek.}$$

2. Galaksesuperhoben BAS11

Spørgsmål 2a (Middelscore: 7,2)

Afbøjningsvinklen beregnes ved hjælp af gitterligningen. Men først skal man bestemme gitterkonstanten ud fra de 800 spalter pr. mm, hvilket volder problemer for en del elever. Nogle elever bruger tallet 800 som gitterkonstant, fx $d = 800 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

Eksemplet nedenfor viser, hvordan et regneværktøj kan hjælpe med enhederne. Mellemresultatet $d = 0,000001 \text{ m}$ giver ikke afrundingsfejl, da det rigtige tal er gemt i variabelen d .

Jeg starter med at finde gitterkonstanten: $d := \frac{1}{800} \cdot \text{mm} \rightarrow 0,000001 \cdot \text{m}$

Jeg finder afbøjningslinjen ved: $\theta = \sin^{-1} \left(\frac{n \lambda}{d} \right)$

$$\sin^{-1} \left(\frac{1 \cdot 520,16 \cdot 10^{-9} \cdot \text{m}}{d} \right) \rightarrow 24,5904$$

Afbøjningsvinklen til 1. orden af H_γ for BAS11 er 24,6 grader

Spørgsmål 2b (Middelscore: 6,0)

De fleste elever kommer godt fra beregningen af rødforskydningen z . Da $z < 0,1$, kan man ud fra z beregne flughastigheden, som giver den nuværende afstand ved indsættelse i Hubbleloven.

En del elever er ikke fortrolige med de sidstnævnte relationer og kommer ikke væsentligt længere end til beregningen af z . Hubble konstanten fås i forskellige enheder, hvilket resulterer i facit med enhederne km, m, ly eller pc, som alle er i orden her.

Kun få elever bemærker, at betingelsen $z < 0,1$ er opfyldt.

Den nuværende afstand til galaksesuperhoben BAS11 bestemmes ud fra de to absorptionsspektre:

$$\text{Først udregnes rødforskydningen: } z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda}{\lambda} = \frac{520,16nm - 486,13nm}{486,13nm} = 0,07000185$$

Derefter beregnes flughastigheden:

$$v_0 = c \cdot z = 299792458 \frac{m}{s} \cdot 0,07000185 = 2,098603 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$$

Herefter kan den nuværende afstand beregnes:

$$v_0 = H_0 \cdot r_0 \Rightarrow r_0 = \frac{v_0}{H_0} = \frac{2,098603 \cdot 10^7 \frac{m}{s}}{2,3 \cdot 10^{-18} s^{-1}} = 9,124361 \cdot 10^{24} m$$

Den nuværende afstand er således bestemt til: $9,12 \cdot 10^{24} m$

3. Rammemaskine

Spørgsmål 3a (Middelscore: 8,7)

Langt de fleste elever kan anvende formlen for densitet til at få et korrekt resultat. Enkelte har vanskeligheder med omregning af enheden ton til kg. Det kan være fornuftigt at overlade omregningen til it-værktøjet, men man skal være opmærksom på, at 1 ton i mange værktøjer omregnes til 907 kg. Man skal bruge *metric ton* = 1000 kg, som kan hedde *_mton*, *[[tonne]]* eller andet. Ikke alle elever er sikre i beregningen af betonpælens volumen ud fra højden og sidelængden. En del elever angiver facit med alt for mange cifre; man kan se hele hold, hvor 4 – 6 cifre er det normale.

Spørgsmål 3b (Middelscore: 6,1)

Den kinetiske energi bestemmes lettest ud fra bevarelse af mekanisk energi, som i det viste elevsvar. Det er fint, at der som kontrol angives en slutfart – som af gode grunde er højere end startfarten.

Kun få bemærker, at man må forudsætte en friktionsfri bevægelse.

b) En rammemaskine kaster en jernklods med massen 4,1ton op i et lodret kast, hvor den i højden 0,11m over betonpælen har jernklodsens hastighed opad på $2,05 \frac{m}{s}$. Størrelsen af den kinetiske energi, jernklodsens har, når den rammer betonpælen udregnes ved at se på energier. Som udgangspunkt har jernklodsens ingen energi (højden ses som relativt til betonpælen), men på vej op får den både kinetisk og potentiel energi. Summen af de to slags energi efter kastet må blive til kinetisk energi i sidste ende, da maskinen formodes ikke at tilføre mere efter kastet:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Leftrightarrow E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot 4,1 \cdot 10^3 kg \cdot \left(2,05 \frac{m}{s}\right)^2 \approx 8615,125J$$

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \Leftrightarrow E_{pot} = 4,1 \cdot 10^3 kg \cdot 9,82 \frac{m}{s^2} \cdot 0,11m \approx 4428,82J$$

$$E_{kin_{slut}} = E_{kin} + E_{pot} \Leftrightarrow E_{kin_{slut}} = 8615,125J + 4428,82J \approx 13043,95J$$

Ved berøring med betonpælen har jernklodsens kinetiske energi på 13000J, hvilket svarer til en fart på omkring $2,5 \frac{m}{s}$.

Mange elever kaster sig ud i formler for bevægelse med konstant acceleration, herunder formler, hvor tiden indgår, hvilket komplicerer problemstillingen. Det fører i en del tilfælde til små og store fejl, som fx fortegnstegn, ringe forståelse for de indgående størrelser i formlerne eller banale regnefejl. Mange elever har åbenbart ikke rutine i at regne på bevægelse med konstant acceleration.



Som det alt for ofte ses i computerbesvarelser, tegner næsten ingen en figur til forklaring og som god selvhjælp til analyse af problemstillingen.

Spørgsmål 3c (Middelscore: 4,6)

Man skal bestemme arealet under den viste graf, og kranens arbejde fås ved at lægge tilvæksten i potentiel energi til.

Mange elever overser helt det vigtige bidrag fra tyngdekraften, og ikke så få har vanskeligheder med at omsætte informationerne i det viste diagram til noget brugbart. Dermed placerer det spørgsmål 3c som et af sættets sværeste, kun overgået af 6b.

Arealet beregnes let som arealet af en trekant, men en del elever anvender rutinemæssigt tælle-tern metoden, hvilket komplicerer sagen og giver anledning til fejl hos mange. I de svageste præstationer regnes uden videre med, at kraften er konstant, fx 6,7 kN.

Nedenfor ses et af de få hæderlige elevsvar, man savner omtale af friktion og afrunding af facit.

c) En betonpæl, der er banket 7,5m ned i jorden, skal trækkes op igen af en kran. Kranen skal modvirke gnidningskraften og tyngdekraften. På bilag 1 findes arealet under grafen, da der gælder, at $A = F \cdot \Delta s$. Hvert helt tern svarer til $500N \cdot m$, og da der tælles 50 tern, bliver der for at modvirke gnidningen udført et arbejde på $A_g = 25000N \cdot m$. Arbejdet udført, der modvirker tyngdekraften og det samlede arbejde udregnes:

$$F_t = m \cdot g \Leftrightarrow F_t = 1,8 \cdot 10^3 kg \cdot 9,82 \frac{m}{s^2} \approx 17676N$$

$$A_t = 17676N \cdot 7,5m \approx 132570N \cdot m$$

$$A_{i \text{ alt}} = A_t + A_g = 132570N \cdot m + 25000N \cdot m \approx 157570 \cdot m \cdot N$$

Arbejdet, kranen udfører, når pælen skal trækkes 7,5m meter op ad jorden, er $157570N \cdot m$.

4. Kryptonlampe

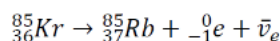
Spørgsmål 4a (Middelscore: 8,3)

De fleste elever opskriver et korrekt reaktionsskema for henfaldet af ^{85}Kr . Det forventes, at man angiver både nukleontal og ladningstal for de indgående kerner. Også når eleverne bruger et CAS-værktøj, skal notationen være korrekt.

Nedenfor ses et fint elevsvar med god forklaring.

Opstil reaktionsskemaet for henfaldet af $^{85}_{36}\text{Kr}$.

Da der for ^{85}Kr er tale om et β^- -henfald må reaktionsskemaet kunne opstilles:



Her ses det at $^{85}_{36}\text{Kr}$ henfalder til Rubidium, en elektron og en anti-elektronneutrino. Rubidium fremkommer da krypton af giver en elektron. Antineutrinoen er tilstede da der skal være leptontalsbevarelse.

Spørgsmål 4b (Middelscore: 7,0)

Denne problemstilling er helt standard, og de fleste elever kender da også i hovedtræk vejen til en løsning.



Problemstillingen rummer på den anden side en del kilder til fejl, som udfordrer eleverne. Der skal slås op i Databogen, enheder skal omregnes, og endelig skal man huske at bruge henfaldsloven til at bestemme massen efter 5 år.

Elevsvaret nedenfor viser bl.a., hvordan henfaldsloven fungerer med tidsenheden år.

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_1}}$$

$$A = ?$$

$$A_0 = 2,0 \text{ kBq} = 2000 \text{ Bq}$$

$$t = 5 \text{ år}$$

$$T_1 = 10,7 \text{ år} - \text{fra databogen}$$

$$A = 2000 \text{ Bq} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5 \text{ år}}{10,7 \text{ år}}} = 1446,64 \text{ Bq} \approx 1447 \text{ Bq}$$

Dvs. aktiviteten af $^{85}_{36}\text{Kr}$ er lig 1447 efter 5 år.

Herfra kan vi beregne antallet af $^{85}_{36}\text{Kr}$ -atomer efter 5 år ved

$$A = k \cdot N = \frac{\ln 2}{T_1} \cdot N$$

$$A = 1446,64 \text{ Bq}$$

$$k = \frac{\ln(2)}{10,7 \cdot 365,24 \cdot 24 \cdot 60^2 \text{ s}} = 2,05281 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$$

$$N = ?$$

$$N = \frac{A}{k} = \frac{1446,64 \text{ Bq}}{2,05281 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}} = 7,04712 \cdot 10^{11}$$

Dvs. antallet af $^{85}_{36}\text{Kr}$ -atomer er lig $7,04712 \cdot 10^{11}$.

Da massen af et $^{85}_{36}\text{Kr}$ -atom er $m_{\text{atom}} = 84,9125 \text{ u}$, og $1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, kan vi beregne massen:

$$m = N \cdot m_{\text{atom}} = 7,04712 \cdot 10^{11} \cdot 84,9125 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ = 9,93624 \cdot 10^{-14} \text{ kg} \approx 9,9 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$$

Dvs. massen af $^{85}_{36}\text{Kr}$ i lampen 5 år efter produktionen er lig $9,9 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$

5. RHIC

Spørgsmål 5a (Middelscore: 9,0)

Omløbstiden beregnes let ved at dividere omkredsen med farten.

Den høje fart får enkelte til at regne relativistisk og fejlagtigt inddrage γ -faktoren. Andre beregner acceleratorens radius og bruger denne til at bestemme omkredsen. De fleste får 3834 m, men nogle få laver fejl i denne nytteløse beregning.

En del elever afrunder rutinemæssigt facit til 2 cifre, hvilket ikke er i orden her, hvor 4 cifre er naturligt.

Spørgsmål 5b (Middelscore: 5,2)

For at beregne farten skal man vide, at tilvæksten i kinetisk energi fås som $U \cdot q$, og undervejs finde korrekte værdier for guldionernes ladning og masse.



Den omtalte formel er langt fra kendt af alle eksaminander. Nogle kender formlen, men indsætter fx elektronens masse eller ladningen 1 C i stedet for en elementarladning. Når massen er meget lille, fås en fart langt over lysets fart, hvilket burde give anledning til en kommentar.

Nedenfor ses et sikkert elevsvar med god forklaring undervejs.

b) Da hver guldion kun har fået fjernet én elektron må dennes ladning være $+q$, altså $q := +e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$. Spændingsfaldet $u := 14 \cdot 10^6 \text{ V} = 1.4 \times 10^7 \text{ V}$ defineres.

Partiklens tilførte kinetiske energi beregnes med

$$\Delta E_{\text{kin}} = U \cdot q$$

Da ionerne starter i hvile svarer dette til den samlede energi

$$E_{\text{kin}} := U \cdot q = 2.243 \times 10^{-12} \text{ J}$$

Massen af det mest normale guldatom er

$$m := 196.9 \text{ amu} = 3.2696 \times 10^{-25} \text{ kg} \text{ (hvor amu står for units)}$$

Partiklernes fart beregnes med formlen for kinetisk energi

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$\text{solve}\left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, v\right) \rightarrow v = 3.7041 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ or } v = 3.7041 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Guldionernes fart når de rammer foliet er $3.7 \cdot 10^6 \text{ m/s}$, et godt stykke under den fart som de til sidst skal op på.

Spørgsmål 5c (Middelscore: 5,2)

Som i 5b skal man her kende en bestemt formel, nemlig $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin(\phi)$, hvor B beregnes, typisk med SOLVE.

Som middelscoren viser, er denne formel langt fra kendt af alle. En meget almindelig fejl er, at ladningen sættes til 1 og ikke 79 elementarladninger.

Som det sker i elevsvaret nedenfor forventes det, at vinklen kommenteres.

Lorentzkraften på en partikel med ladning q og hastighed $\vec{v}$ i et magnetfelt $\vec{B}$ er givet ved:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Da magnetfeltet står vinkelret på bevægelsesretningen, har vi blot $F = q \cdot v \cdot B$. Her er $q = 79 \cdot e = 1,266 \cdot 10^{-17} \text{ C}$, da guldatomerne har mistet alle 79 elektroner. Dette giver:

$$B = \frac{F}{q \cdot v} = \frac{12,995 \cdot 10^{-9} \text{ N}}{1,266 \cdot 10^{-17} \text{ C} \cdot 2,997 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3,425 \text{ T}$$

Magnetfeltet har altså en størrelse på 3,425 Tesla.

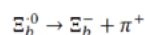
6. Ξ_b^{*0} baryonen

Spørgsmål 6a (Middelscore: 7,0)

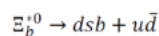
Kvarksammensætningen for Ξ_b^{*0} baryonen er bestemt af bevarelsen af flavour i en stærk vekselvirkning som i den viste reaktion. Man skal derudover finde kvarksammensætningen for π^+ mesonen i Databogen. Se elevsvaret nedenfor.

En del elever prøver tilsyneladende slet ikke at besvare dette spørgsmål. Nogle elever argumenterer uden anvendelse af bevarelsen af flavour og viser dermed en ringe forståelse for det fundamentale i partikelfysikken.

Reaktionsskemaet er opgivet til



Ved opslag i databogen og ved oplysningen fra opgaven ses følgende kvarksammensætning:

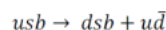


Der skal udover baryon-, kvark- og elektrisk ladningsbevarelse også være flavour bevarelse.

Pga. denne bevarelse kan det bestemmes til at Ξ_b^{*0} baryonen består af:



Dermed bliver kvarksammensætningen:



Spørgsmål 6b (Middelscore: 3,8)

Besvarelse af dette spørgsmål forudsætter en antagelse om henfaldet af J/Ψ mesonen. De fleste elever gør den rimelige antagelse, at J/Ψ mesonens energi deles ligeligt mellem de to myoner. I den gode besvarelse argumenteres fx med, at dens energi 3117 MeV kun er lidt større (0,65 %) end dens masse $\cdot c^2$.

Myonernes masse findes i Databogen, og deres bevægelsesmængde, 1555 MeV/c, kan nu beregnes.

Nogle få elever antager lige så rimeligt, at summen af myonernes bevægelsesmængde med fortegn skal være det samme som J/Ψ mesonens bevægelsesmængde, hvilket svarer til, at de udsendes i retninger parallelt med J/Ψ mesonens bevægelsesretning. Det giver en væsentlig mere kompleks beregning med resultaterne 1382 MeV/c og 1735 MeV/c.

Nogle censorer bemærkede, og de viste resultater dokumenterer dette, at spørgsmålet nok burde lyde: "Vurder størrelsen af bevægelsesmængden af hver af myonerne".

En stor del af eleverne prøver slet ikke at besvare dette spørgsmål. Enkelte antager, at én myons energi er den samme som J/Ψ mesonens energi, men får dog vist, at de kender sammenhængen mellem energi, masse og bevægelsesmængde. Enkelte andre antager, at J/Ψ mesonens bevægelsesmængde deles ligeligt mellem myonerne, men overser her, at bevægelsesmængden skal regnes med fortegn.

Yderst få er klar over og kommenterer direkte, at myonernes bevægelsesmængde afhænger af de retninger, som de udsendes i.

Nedenfor ses et fornuftigt elevsvar, hvor det dog kniber med argumentationen for den gjorte antagelse.

Da de to myoner har samme hvilemasse, $m_\mu = 105,7 \frac{\text{MeV}}{c^2}$, får de hver halvdelen af den samlede energi. Dermed har hver myon den totale energi, $E = \frac{3117 \text{ MeV}}{2} = 1558,5 \text{ MeV}$.

Regner vi relativistisk, gælder der følgende sammenhæng mellem totalenergien, E , bevægelsesmængden, p , og hvilemassen, m_0 :

$$E^2 = (p \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2$$

Vi kan derfor udregne myonernes bevægelsesmængde:

$$p \cdot c = \sqrt{E^2 - (m_\mu \cdot c^2)^2} = \sqrt{(1558,5 \text{ MeV})^2 - \left(105,7 \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot c^2\right)^2} = 1554,9 \text{ MeV}$$

Hver myon har derfor en bevægelsesmængde på $1554,9 \frac{\text{MeV}}{c}$.

7. Bodyflight

Spørgsmål 7a (Middelscore: 5,4)

Dette spørgsmål er en såkaldt "åben" opgave, hvor eleverne selv skal antage rimelige værdier for relevante størrelser – bl.a. ud fra det viste billede.

Langt de fleste kan afkode problemstillingen og ser, at man skal inddrage formelen for luftmodstand. I det gode svar bemærkes eksplicit, at der er kraftligevægt mellem tyngdekraften og luftmodstanden. Fint er det også, når den fundne fart sammenlignes med farten personen ville få i et frit fald.

Det forventes, at der argumenteres for de tildelte værdier, fx ved at personens areal beregnes som højde gange bredde eller, at formfaktoren findes for en cylinder eller andet relevant legeme.

Enkelte elever kommer ikke længere end til vurdering af tyngdekraften på personen eller antager helt urimeligt, at denne modsvares af luftens opdrift.

I elevsvaret nedenfor gives en acceptabel forklaring til de gjorte antagelser.

Når personen hænger stille i luften, betyder det, at tyngdekraften bliver udlignet af luftmodstanden. Tyngdekraften er givet ved $F_t = m \cdot g$, hvor m er personens masse, og $g = 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ er tyngdeaccelerationen. Luftmodstanden er givet ved $F_{\text{luft}} = \frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$, hvor c_w er formmodstanden, $\rho \approx 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ er luftens densitet, A er overfladearealet, og v er luftstrømmens fart.

Sætter vi $m = 70 \text{ kg}$, $c_w = 0,7$ ligesom en cylinder med længde/bredde forhold 5, og overfladearealet $A = 0,5 \text{ m}^2$, får vi følgende udtryk:

$$\begin{aligned} F_t &= F_{\text{luft}} \\ m \cdot g &= \frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \\ v &= \sqrt{\frac{m \cdot g}{\frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A}} = \sqrt{\frac{70 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\frac{1}{2} \cdot 0,7 \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,5 \text{ m}^2}} = 55,18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Luftstrømmen har altså ca. farten 55 m/s. Dette er selvfølgelig under antagelse af at personen vejer 70 kg, har formfaktoren 0,7 og overfladearealet $0,5 \text{ m}^2$, og at det foregår ved et normalt tryk. Skal man holde en person svævende med nogle andre betingelser end disse, bliver man nødt til at tilpasse farten af luftstrømmen.



4. Elevernes besvarelser af sæt 2

1. Sol-opdriftstårn

Spørgsmål 1a (Middelscore: 8,7)

Det er en lille komplikation, at man selv skal finde luftens densitet. Det er ikke afgørende, om man finder den ved 0 °C eller 20 °C, derimod er den kritiske densitet $0,311 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ikke anvendelig. Enkelte har problemer med omregning af enheder, fx fra L til m^3 .

Man skal tolke situationen korrekt, og det er ikke i orden at lade det opgivne areal være det samlede areal for en cylinder.

Spørgsmål 1b (Middelscore: 7,1)

De fleste elever kan anvende formlen for nyttevirkning korrekt, og kombinere denne med formlen for tilført varme.

Den største udfordring er her at beregne de to energier i det samme tidsinterval. Enkelte elever omregner temperaturstigningen fra 13 °C til (13 + 273 K).

Nedenfor ses et udførligt elevsvar, hvor CAS-værktøjets mulighed for at regne med enheder ikke helt udnyttes.

$$m_{\text{luft}} = 22.5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{kg} \rightarrow 22500 \cdot \text{kg}$$

$$\Delta t = 13 \cdot \text{°C} \rightarrow 13 \cdot \text{°C}$$

$$\text{Nyttevirkning beregnes som: } \eta = \frac{e_{\text{nytte}}}{e_{\text{tilført}}}$$

Den udnyttede energi kan beregnes vha. af formlen: $\Delta E = m \cdot c \cdot \Delta T$ fra varmelæren, der tager udgangspunkt i specifik varmekapacitet. Massen er massen af luften, der strømmer op igennem tårnet hvert minut, mens tilvæksten i temperaturen er de oplyste 13°C.

$$c := 1 \cdot \frac{\text{J}}{\text{gm} \cdot \text{°C}} \rightarrow 1000 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \quad (\text{Kilde: Databog fysik kemi 09 (ved konstant tryk)})$$

$$e_{\text{nytte}} = m_{\text{luft}} \cdot c \cdot \Delta t \rightarrow 2.925 \text{E}8 \cdot \text{J}$$

For at beregne den tilførte energi skal den samlede effekt, hvormed anlægget modtager strålingsenergi fra solen kendes. Det gøres ved at gange effekten pr. m^2 med det samlede areal.

$$p_{\text{pr_m2}} = 300 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \rightarrow 300 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}^3}$$

$$p_{\text{samlettilført}} = p_{\text{pr_m2}} \cdot a \rightarrow 1.41 \text{E}7 \cdot \text{W}$$

Omskrives definitionen af effekt: $P = \frac{E}{t} \Leftrightarrow E = P \cdot t$, fås en formel hvormed den samlede tilførte energi kan beregnes.

Tiden vil være et minut, da massen ved den udnyttede energi var fundet som massen af luft, der strømmede igennem tårnet hvert minut.

$$t := 1 \cdot \text{min} \rightarrow 60 \cdot \text{s}$$

$$e_{\text{tilført}} = p_{\text{samlettilført}} \cdot t \rightarrow 8.46 \text{E}8 \cdot \text{J}$$

Derefter udregnes nyttevirkningen blot.

$$\eta := \frac{e_{\text{nytte}}}{e_{\text{tilført}}} \rightarrow 0.345745$$

Nyttevirkningen ved omdannelsen af strålingsenergi til termisk energi vurderes altså til 35%.

2. Lungeundersøgelse

Spørgsmål 2a (Middelscore: 8,6)

Til et fuldstændigt svar hører et reaktionsskema med angivelse af nukleontal og atomnummer samt i dette tilfælde en antineutrino. I mange svar gives kun lidt eller slet ingen forklaring. Nedenfor ses et korrekt elevsvar, hvor der gives god forklaring med henvisning til relevante bevarelseslove.

Der inhaleres en gas, som indeholder isotopen $^{133}_{54}\text{Xe}$, ved en lungeundersøgelse.

- a) $^{133}_{54}\text{Xe}$ er radioaktivt og henfalder ved β^- -henfald². Ved β^- -henfald udsender $^{133}_{54}\text{Xe}$ -kernen en elektron og en antineutrino, hvorved den omdannes til en stabil $^{133}_{55}\text{Cs}$ -kerne. Henfaldsskemaet ser ud som følger: $^{133}_{54}\text{Xe} \rightarrow ^{133}_{55}\text{Cs} + ^0_{-1}e + \bar{\nu}_e$.

I opskrivning af reaktionsskemaet blev følgende bevarelseslove brugt:

- Samlet nukleontal: Nukleontallet forbliver det samme på højre og venstre side af reaktionspilen, da $133=133$
- Samlet leptontal: Leptontallet er det samme på begge sider af reaktionspilen, da leptontallet på venstre side af pilen er 0 og leptontallet på højre side er $1-1=0$
- Samlet elektrisk ladning: Den elektriske ladning er den samme på begge sider af reaktionspilen, da $54=55-1$

Spørgsmål 2b (Middelscore: 7,4)

De fleste elever kan genkende problemstillingen, som er set i tidligere opgaver med små variationer, og mange kommer helt igennem til et facit.

Der er dog mange, som regner forkert et eller flere steder.

Man skal lave en korrekt håndtering af enhederne, da Databogen giver halveringstiden i dage. I beregningerne regner flere videre med alt for få cifre, fx: $k = 0,000002 \text{ s}^{-1}$. De fleste finder fint atommassen i Databogen, men nogle vælger at trække elektronmasserne fra – eller lægger dem til. Andre anvender blot molmassen for Xe eller beregner en masse ud fra 54 protoner og 79 neutroner. Dette er alle eksempler på fejl, som har betydning for bedømmelsen.

Resultatet skal angives i en SI-enhed, det er ikke i orden at bruge enheden u her.

- a) Reaktionsskemaet for henfaldet af $\text{Xe}-133$ kan ses på bilag 2

Startaktiviteten af $\text{Xe}-133$ ved produktion af en kilde, $A_0 := 740 \cdot 10^6 \cdot \text{s}^{-1}$
(Enheden burde angives i Bq, men dette har ingen betydning for resultatet)

Halveringstiden for $\text{Xe}-133$, $T_{\text{halv}} := 5,25 \cdot \text{day}$ (DATABOG s. 204)

Massen af ét $\text{Xe}-133$ atom, $m_{\text{Xe}} := 132,9059107 \cdot \text{amu}$ (DATABOG s. 229)

- b) Bestemmelse af massen af den resterende mængde $\text{Xe}-133$ i en kilde $t := 10 \cdot \text{day}$ efter produktionen:

Først bestemmes aktiviteten i kilden efter de 10 dage ved hjælp af henfaldsloven:

$$A := A_0 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T_{\text{halv}}}} \rightarrow 1,97625 \text{E}8 \cdot \text{Hz} \text{ (Enheden burde igen angives i Bq)}$$

Til højre ses et godt elevsvar, hvor $k = 0,00002 \text{ Hz}$ ikke er den værdi, der anvendes i de videre beregninger.

Her illustreres også nogle af de udfordringer eleverne stilles overfor, når de skal levere en god besvarelse med det anvendte CAS-værktøj.

Jeg kan nu bestemme henfaldskonstanten ud fra halveringstiden:

$$k := \frac{\ln(2)}{T_{\text{halv}}} \rightarrow 0.000002 \cdot \text{Hz} \text{ (Igen forkert enhed)}$$

Det er så muligt at bestemme antallet af $Xe-133$ kerner til tiden $t=10$ dage ud fra aktiviteten til dette tidspunkt:

$$A = k \cdot N \Leftrightarrow$$

$$N := \frac{A}{k} \rightarrow 1.29327E14$$

Da antallet af $Xe-133$ kerner svarer til antallet af $Xe-133$ der er tilbage i prøven kan massen af disse nu bestemmes:

$$m = N \cdot m_{Xe} \rightarrow m = 2.85419E-11 \cdot \text{kg}$$

Massen af den resterende mængde $Xe-133$ i kilden 10 dage efter produktionen er altså $2,85 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$

3. Zenerdiode

Spørgsmål 3a (Middelscore: 9,1)

Man skal aflæse et korrekt spændingsfald, U fra 5,7 V til 5,9 V er acceptabelt, og beregne effekten med korrekt enhed.

Det er en alvorlig fejl at forveksle præfikset m med M og anvende strømstyrken $34 \cdot 10^6 \text{ A}$.

Spørgsmål 3b (Middelscore: 3,0)

I denne problemstilling skal man kunne kombinere de tre vigtige elementer i forståelsen af simple elektriske kredsløb. Man skal vide, at strømstyrken er den samme overalt i det viste kredsløb, at spændingsfaldet over spændingskilden er summen af spændingsfaldene over de to komponenter, resistor og zenerdiode, samt anvende Ohms lov på resistoren.

Enkelte elever beregner en resistans for zenerdioden i den givne situation samt erstatningsresistansen for serieforbindelsen, hvilket også fører til et godt resultat.

Som middelscoren viser, var spørgsmålet vanskeligt for mange elever. Langt den hyppigste fejl består i, at man i Ohms lov indsætter et af de spændingsfald, 5,7 V og 6,1 V, som er angivet i opgaveteksten. Det er desværre meget få eksaminander, som kan se, at man skal indsætte 0,4 V i beregningen af resistansen.

Siden Dioden og modstanden er serieforbundet, vil spændingsfaldet over dem kunne lægges sammen og give spændingsfaldet over hele kredsløbet. Samtidig vil der være samme strømstyrke igennem begge to. Altså hvis vi kan sørge for at der ikke kommer en strømstyrke over 40mA igennem modstanden vil der heller ikke komme det igennem dioden.

Siden spændingen over spændingskilden varierer imelle 5,9V og 6,1V og spændingen over dioden er konstant 5,7V vil spændingen over modstanden variere imellem 0,2V og 0,4V. En større spænding giver en større strømstyrke, så modstanden skal give en strømstyrke mindre end 40mA ved 0,4V.

Siden det er en modstand gælder Ohms lov: $U=R \cdot I$.

$$u_{\text{modstand}} := 0.4 \cdot \text{V} \rightarrow 0.4 \cdot \text{V}$$

$$i_{\text{max}} := 40 \cdot 10^{-3} \cdot \text{A} \rightarrow 0.04 \cdot \text{A}$$

$$r := \frac{u_{\text{modstand}}}{i_{\text{max}}} \rightarrow 10 \cdot \Omega$$

Modstanden skal minst have en resistans på 10Ω , for at undgå at der kommer over 40mA igennem dioden.

4. Vandret faldskærm

Spørgsmål 4a (Middelscore: 7,3)

Det forventes at tabellens oplysninger bruges til at lave en lineær regression, hvor fjederkonstanten er hældningskoefficienten.

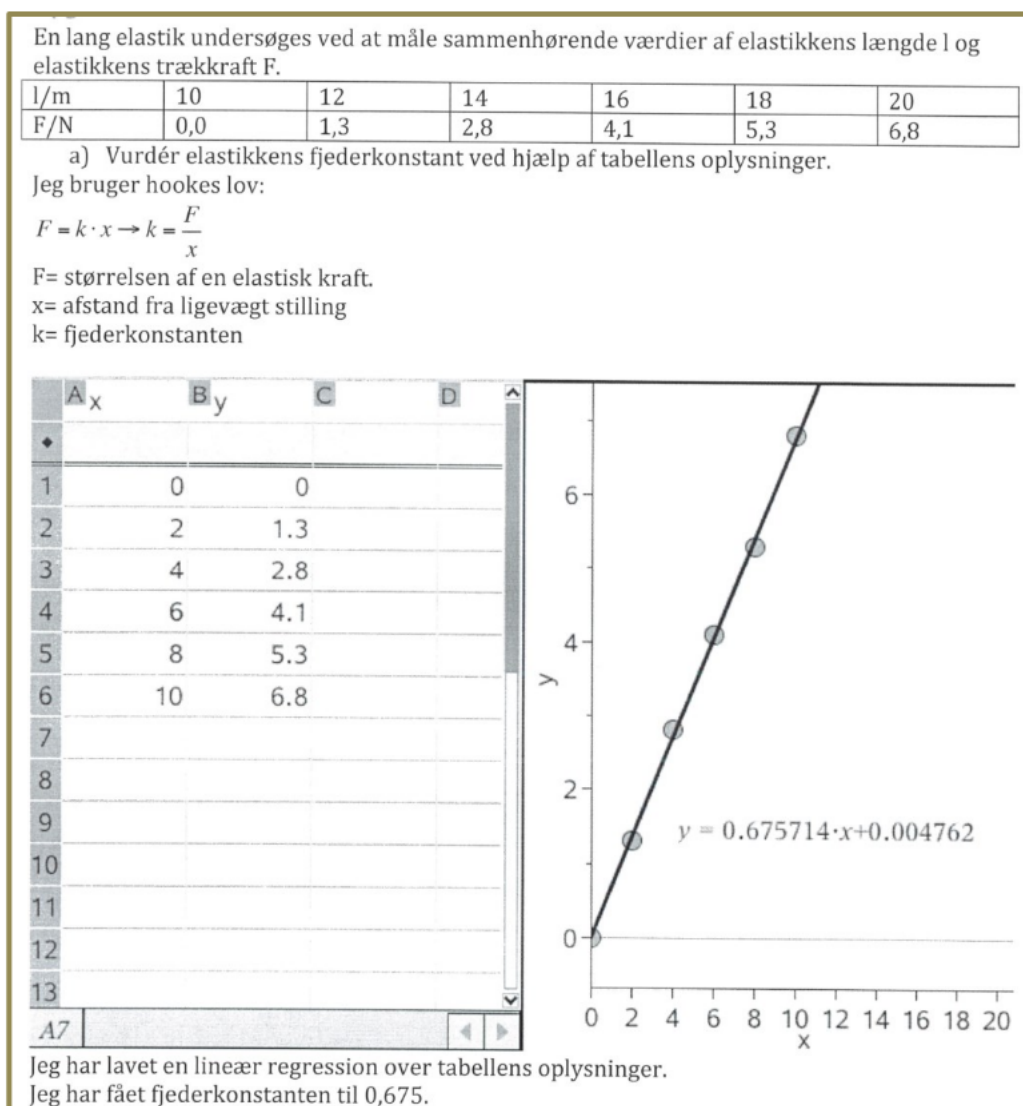
Enkelte elever beregner fjederkonstanten ud fra enkelte målepunkter og bruger gennemsnittet.

Det er generelt en mindre tilfredsstillende metode, ikke mindst her, hvor der ikke tages højde for elastikkens længde før udstrækning.

Til en tilfredsstillende forklaring hører et diagram, hvor man kan se målepunkter og regressionslinje.

Enkelte elever angiver regressionens konstant-led som fjederkonstant, mens andre bytter om på F og x , hvilket giver k^{-1} som facit.

I eksemplet nedenfor gives god forklaring, men det har betydning for bedømmelsen, at fjederkonstanten angives uden en korrekt enhed.



Spørgsmål 4b (Middelscore: 5,5)

Man skal bestemme den tilbagelagte strækning ved at bestemme et passende areal under hastighedsgrafen. Det kan fx ske ved at "tælle tern" eller tilnærme arealet med passende geometriske figurer, blot det sker med en rimelig nøjagtighed.

En del elever begår den alvorlige fejl, at de ikke udregner arealet for et tern i bilaget, men uden videre bruger værdien 1 m. Nedenfor ses et godt svar med en omhyggelig og veldokumenteret beregning af arealet jf. bilaget.

Givet:

$$t = 1,5 \text{ s}$$

$$l_0 = 20 \text{ m}$$

Farten v er givet ved $v = \frac{ds}{dt}$. Dermed er strækningen $s(t)$ en stamfunktion til fartfunktionen $v(t)$:

$$s(t) = \int_{t=0 \text{ s}}^{t=1,5 \text{ s}} v(t) dt$$

Strækningen kan således findes som arealet under kurven. Antallet af tern n vurderes på bilag 1:

$$n = 24 \text{ tern}$$

Hvert tern har arealet A_1 :

$$A_1 = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,25 \text{ s} = 0,25 \text{ m}$$

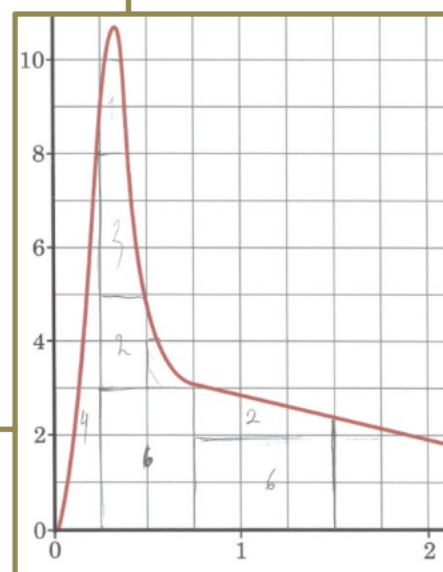
Den samlede strækning til tiden $t = 1,5 \text{ s}$ bliver da:

$$\Delta s = n \cdot A_1 = 24 \cdot 0,25 \text{ m} = 6 \text{ m}$$

Længden $l(1,5 \text{ s})$ af elastikken til dette tidspunkt bliver da:

$$l(1,5 \text{ s}) = l_0 - \Delta s = 20 \text{ m} - 6 \text{ m} = \underline{\underline{14 \text{ m}}}$$

Det er hermed vist, at elastikken er 14 m lang til tiden $t = 1,5 \text{ s}$.



Spørgsmål 4c (Middelscore: 3,9)

Det bør være oplagt for eleverne at tænke på Newtons 2. lov, når "den samlede kraft" F_{res} er i spil. Man bestemmer accelerationen som en tangenthældning på bilaget og beregner F_{res} .

En del elever er usikre på de faglige begreber og bruger i stedet en gennemsnitlig acceleration fra 0 s til 1,5 s.

Den anden halvdel af spørgsmålet rummer stor kompleksitet og er, som forventet, vanskeligt for eleverne, ikke mindst fordi yderst få tegner en simpel figur med et kraftdiagram. To vandrette pile, repræsenterende luftmodstanden og fjederkraften, hvis sum er den netop beregnede F_{res} , ville være en stor hjælp til at få overblik over fortegnene for de tre kræfter.

Størrelsen af fjederkraften fås lettest fra tabellen, og ved hjælp af kraftdiagrammet ses det, at man skal lægge størrelsen af den samlede kraft til for at få luftmodstanden.

For at bestemme formfaktoren skal man nu finde luftens densitet i Databogen, beregne faldskærmens areal samt aflæse dens fart i diagrammet. Det er kun de dygtigste elever, som kommer frem til et godt resultat for faldskærmens formfaktor.

Mange elever glemmer helt fjederkraften og anvender størrelsen af den samlede kraft som luftmodstanden. Noget bedre er de svar, hvor fjederkraften er i spil, selvom det i mange tilfælde ikke fører til en korrekt beregning af luftmodstanden.

Nogle elever vender opgaven rundt og indleder med en beregning af luftmodstanden ud fra en antagelse om størrelsen af formfaktoren. De får vist, at de kan håndtere formelen for luftmodstand,

men bliver på denne måde ikke konfronteret med de mere komplekse sider af problemstillingen. Det må anbefales, at man råder eleverne til at besvare en opgave i den rækkefølge spørgsmålene er stillet.

Elevsvaret nedenfor er tæt på at være eksemplarisk. Bemærk, at man fint kan tegne et kraftdiagram med blyant og papir sammen med en besvarelse fremstillet ved hjælp af et CAS-værktøj.

Den samlede kraft i vandret retning. Af bilag 1 kan tangenthældningen af læses, hvilket må være accelerationen. Jeg tegner tangenten, aflæser to punkter og finder hældningen.

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{1 \frac{m}{s} - 3,8 \frac{m}{s}}{3 s - 0 s} = -0,9333333333 \frac{m}{s^2}$$

Af Newtons anden lov følger at den resulterende kraft må være

$$|\vec{F}_{res}| = m \cdot |\vec{a}| = 0,116 kg \cdot 0,9333333333 \frac{m}{s^2} = 0,1082666667 N = 0,11 N$$

Den vil virke modsat bevægelsesretningen.

Der er to kræfter, der virker på faldskærmen: Fjederkraften og luftmodstanden. Altså er

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_{fjeder} + \vec{F}_{luft}$$

Det skal dog bemærkes at de to kræfter er modsatrettede. Jeg vælger retning mod manden (se tegning) positiv. Da der her opereres med størrelserne af kræfterne, kan det skrives

$$-|\vec{F}_{res}| = |\vec{F}_{fjeder}| - |\vec{F}_{luft}| = k \cdot x - \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

Jeg indsætter nu, for $t = 1,5 s$. Jeg finder luftens densitet i Fysik i Overblik (jeg antager at luften er $20^\circ C$ varm). Jeg finder tværsnitsarealet og aflæser farten til $t = 1,5 s$ på bilag 1. Jeg sætter størrelsen af den resulterende kraft negativ, da den virker i negativ retning (se evt. tegning, bilag 2).

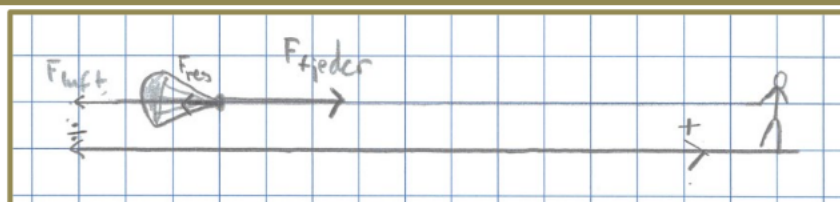
$$-0,1082666667 N = 0,68 \frac{N}{m} \cdot (14 - 10)m - \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot 1,205 \frac{kg}{m^3} \cdot (\pi \cdot (0,37 m)^2) \cdot (2,35 \frac{m}{s})^2$$



Ligningen løses for c_w vha. CAS-værktøjet WordMat.

$$c_w = 1,976397393$$

Formfaktoren bliver altså $c_w = 2,0$. Dette er en ret stor formfaktor, hvilket dog også er forventeligt da det er en faldskærm.



5. B mesoner

Spørgsmål 5a (Middelscore: 8,4)

Kvarksammensætningen kan findes ved opslag i Databogen, hvor man blot skal vide at antipartiklen $\bar{B}^0$ til mesonen B^0 ($d\bar{b}$) indeholder kvarkerne $b\bar{d}$. Det er en alvorlig fejl, hvis man i stedet angiver kvarksammensætningen for fx B^+ mesonen.



Spørgsmål 5b (Middelscore: 4,3)

Resultatet fås umiddelbart ved at benytte bevarelse af bevægelsesmængde. Bevægelsesmængden for elektron og positron beregnes ud fra deres energier. Yderst få elever har overblikket til at bruge disse partiklers meget lille masse til at argumentere for, at fx $p_{\text{elektron}} \approx \frac{E_{\text{elektron}}}{c}$.

Mange elever bruger ikke bevægelsesmængden, men trækker blot de to energier fra hinanden og får samme talværdi, som angivet i opgaven. Det er en alvorlig fejl således at opfatte energien som en vektor og samtidig demonstrere usikkerhed omkring de faglige begreber.

Nedenfor ses et godt svar, hvor eleven tilsyneladende ikke opdager, at massen $0,511 \text{ MeV}/c^2$ ingen praktisk betydning har i beregningen af bevægelsesmængden

b) Vis, at de dannede $\Upsilon(4S)$ mesoner har en bevægelsesmængde med størrelsen $5,872 \frac{\text{GeV}}{c}$

- Eftersom der skal være bevarelse af bevægelsesmængde, må den samlede bevægelsesmængde på højresiden være lig den samlede bevægelsesmængde på venstresiden:
 - $\vec{p}_e + \vec{p}_{e^+} = \vec{p}_{\Upsilon(4S)}$
- I og med, at elektronerne kolliderer frontalt med positronerne, er disse modsatrettede, hvormed ovenstående kan omskrives på følgende måde, hvor den positive retning vælges til at være elektronens retning:
 - $p_e - p_{e^+} = p_{\Upsilon(4S)}$
- Elektronernes og positronernes bevægelsesmængde findes:
 - "Massen" af en elektron og positroner er ifølge databogen $0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2}$.
 - Elektron:
 - $(E_e)^2 = (p_e \cdot c)^2 + (m_e \cdot c^2)^2 \Leftrightarrow (p_e \cdot c) = \sqrt{(E_e)^2 - (m_e \cdot c^2)^2}$
 - $p_e \cdot c = \sqrt{(8,992 \cdot 10^3 \text{ MeV})^2 - (0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot c^2)^2} \approx 8,992 \cdot 10^3 \text{ MeV}$
 - $\Rightarrow p_e \approx 8,992 \frac{\text{GeV}}{c}$
 - Positron:
 - $(E_{e^+})^2 = (p_{e^+} \cdot c)^2 + (m_{e^+} \cdot c^2)^2 \Leftrightarrow (p_{e^+} \cdot c) = \sqrt{(E_{e^+})^2 - (m_{e^+} \cdot c^2)^2}$
 - $p_{e^+} \cdot c = \sqrt{(3,120 \cdot 10^3 \text{ MeV})^2 - (0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot c^2)^2} \approx 3,120 \cdot 10^3 \text{ MeV}$
 - $\Rightarrow p_{e^+} \approx 3,120 \frac{\text{GeV}}{c}$
- $\Upsilon(4S)$ mesonernes bevægelsesmængde beregnes:
 - $p_{\Upsilon(4S)} = p_e - p_{e^+} = 8,992 \text{ GeV} - 3,120 \text{ GeV} = 5,872 \frac{\text{GeV}}{c}$
- $\Rightarrow p_{\Upsilon(4S)} = 5,872 \frac{\text{GeV}}{c}$

Spørgsmål 5c (Middelscore: 3,9)

For at vurdere den tilbagelagte strækning i laboratoriet forventes det, at eleverne beregner farten i laboratoriet ud fra bevægelsesmængden, hvor de fleste SOLVE'er og ganger med levetiden i laboratoriet, beregnet ud fra den angivne levetid $\Delta\tau$. Den meget skarpe elev ser måske, at der i beregningen indgår to γ -faktorer, som går ud i beregningen, der simplificeres til $\Delta s = \Delta\tau \cdot \frac{p_{B^0}}{m_{B^0}}$

Få elever bemærker, at denne vurdering forudsætter, at B^0 mesonen netop lever en middellevetid. En del elever forsøger slet ikke at svare på dette spørgsmål.

Nogle elever kommer tæt på et godt resultat, men laver den typiske fejl, at farten i laboratoriet ganges med den angivne levetid.

Nedenfor ses et godt elevsvar, hvor farten elegant regnes i enheder af c . Man savner en understregning af, at fart og levetid beregnes i laboratoriesystemet.



c) B^0 -mesonens afstand

Det oplyses, at hver af B-mesonerne har en bevægelsesmængde, der er halv så stor som $Y(4s)$'s bevægelsesmængde. Derfor er deres bevægelsesmængde:

$$p_{B^0} = \frac{5872 \frac{\text{MeV}}{c}}{2} = 2936 \frac{\text{MeV}}{c}$$

Dernæst slås massen af B-mesonen op i en tabel:

$$m_B = 5279,4 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

Herefter anvendes følgende formel til at bestemmes deres fart:

$$p = \gamma \cdot m_0 \cdot v$$

$$2936 \frac{\text{MeV}}{c} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot 5279,4 \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot v$$

Ligningen løses vha. CAS-værktøj, og farten fås til:

$$v = 0,486 \cdot c$$

Nu kan gammafaktoren så bestemmes, der kan bruges til at bestemme tidsforlængelsen:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,486 \cdot c)^2}{c^2}}} = 1,14$$

Nu bestemmes så mesonernes levetid:

$$t = \gamma \cdot t_0 = 1,14 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ s} = 1,824 \cdot 10^{-12} \text{ s}$$

Nu kan afstanden så bestemmes:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t = 0,486 \cdot 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,824 \cdot 10^{-12} \text{ s} = 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

6. Laserkøling

Spørgsmål 6a (Middelscore: 8,3)

Det er ikke vanskeligt at beregne atomernes fart forudsat, at man har massen i den korrekte enhed. Nogle elever har et regneværktøj, som hjælper med omregningen fra u til kg, men som i 2b er der flere, som ikke finder massen for den rigtige isotop af Rb eller anvender molmassen.

Nedenfor ses et elevsvar, hvor håndtering af enheder overlades til CAS-værktøjet.

Bevægelsesmængde er defineret som impuls, og vi skal derfor bruge formelen for impuls, som lyder $p = m \cdot v \Leftrightarrow v = \frac{p}{m}$ til at bestemme farten. I formelen er p impulsen, m er massen og v er farten. I databogen ses det, at massen af et rubidiumatom er 84.911794 u. Vi kan dermed udregne rubidiumatomernes fart inden kølingen

$$v = \frac{2,01 \cdot 10^{-25} \llbracket \text{kg} \rrbracket \cdot \frac{\llbracket \text{m} \rrbracket}{\llbracket \text{s} \rrbracket}}{84,911794 \llbracket \text{u} \rrbracket}$$

$$v = 1,425537502 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (6.1)$$

Dvs. rubidiumatomernes fart er 1.43 m/s inden kølingen. Facit angives med 3 betydende cifre, da bevægelsesmængden også er angivet med 3 betydende cifre

Spørgsmål 6b (Middelscore: 4,9)

Antallet af fotoner beregnes, ved at deres samlede bevægelsesmængde skal have samme størrelse som bevægelsesmængden for Rb-atomerne, antallet er 237 fotoner. Hvis man forudsætter, at fotonerne rammer lige imod Rb-atomerne, vil den samlede bevægelsesmængde være nul, også efter at de 237 fotoner er absorberet af et Rb-atom. Nogle elever gennemfører den rigtige beregning, men angiver ikke en relevant begrundelse eller forudsætninger, hvilket ikke er helt tilfredsstillende. Stort set ingen overvejer, hvad der sker med Rb-atomet imellem hver af disse 237 absorptioner.

Til trods for at Rb-atomernes bevægelsesmængde er angivet i opgaven, ser en del elever ikke, at den skal bruges i dette spørgsmål. De vælger i stedet at se på energibevarelse, hvilket ikke fører til et brugbart resultat.

Enkelte elever overvejer, om svaret skal være 236 eller 237. Det giver fine overvejelser, fx at 237 fotoner vil få atomet til at bevæge sig den anden vej, og at 236 fotoner skal suppleres med en foton med anden bølgelængde. Her overser man dog, at fotonen ikke uden videre kan forventes at blive absorberet i Rb.

Hvis rubidiumatomet skal bremses helt op, dvs. ligge stille, må det betyde, at atomets bevægelses mængde er nul. Da jeg kender fotonens bølgelængde på 780 nm, kan jeg beregne den bevægelsesmængde.

$$p_{\text{foton}} = \frac{h}{\lambda}$$

$$> p_{\text{foton}} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ [J}\cdot\text{s}]}{780 \text{ [nm]}} \stackrel{\text{simplify}}{=} p_{\text{foton}} = 8.494871795 \cdot 10^{-28} \left[\frac{\text{kg m}}{\text{s}} \right]$$

Fotoner vil være modsatrettede af atomet, og på den måde bremse det. Nu kan jeg finde ud af, hvor mange fotoner der skal til at bremse atomet.

$$N_{\text{fotoner}} = \frac{p_{\text{atom}}}{p_{\text{foton}}}$$

$$> N_{\text{fotoner}} = \frac{2.01 \cdot 10^{-25} \left[\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}} \right]}{8.494871795 \cdot 10^{-28} \left[\frac{\text{kg m}}{\text{s}} \right]} \quad N_{\text{fotoner}} = 236.6133414$$

Jeg har nu bestemt, at **237 fotoner** skal ramme rubidiumatomets for at bremse det helt op.

7. Fliselægning

Spørgsmål 7a (Middelscore: 2,9)

Man skal tildele en realistisk værdi for trykket inde i sugekoppen og vurdere dens areal. De fleste antager, at atmosfæretrykket er 1 atm og, at der er ligevægt mellem kraften fra sugekoppen og tyngdekraften. Flisens største masse kan nu beregnes, som man ser det i elevsvaret nedenfor. Luftens påvirkning nævnes af flere, som noget man ser bort fra, mens andre antager at sugekoppen er tæt.

I flere ellers hæderlige svar er det uklart, hvilket tryk der indgår i denne beregning af kraften.

Som middelscoren viser, er der en del elever, som ikke gennemfører den rigtige beregning af flisens masse. Tilsyneladende er mange elever ikke klar over, hvordan en sugekop fungerer. Mange elever inddrager slet ikke sugekoppen i beregningerne, idet de blot vurderer massen af flisen ud fra billedet eller i stedet ser på opdriften fra atmosfæren.

Det vides, at tryk er lig kraft divideret med areal, dvs., $p = \frac{F}{A}$. For at vurdere hvor meget massen af flisen må være, så skal vurderes hvor meget sugekoppen kan løfte. Dette gøres ud fra ovenstående formel, idet kraften som en overflade påvirkes med benyttes, dvs. $p = \frac{F}{A} \Leftrightarrow F = p \cdot A$. F vil være kraften som sugekoppen suger med, idet A er arealet af sugekoppen, mens p er trykforskellen mellem atmosfæren udenfor og inden i sugekoppen. Det vurderes, at sugekoppen er 0,1m i radius og at den er cirkulær, hvilket vil gøre, at den har et areal, der griber på:

$$A = r^2 \pi \Rightarrow A = (0,1m)^2 \pi = 0,03m^2$$

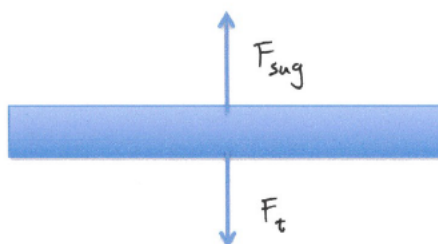
Det antages desuden, at sugekoppen kan pumpe til at der er en trykforskel på 50 kPa (altså omtrent til halvt tryk af jordens atmosfære). Ud fra disse antagelser kan en kraft nu beregnes, dvs.:

$$F = p \cdot A \Rightarrow F = 50 \cdot 10^3 Pa \cdot 0,03m^2 = 1571N = F_{sug}$$

Denne kraft kaldes F_{sug} . For nu at vurdere bæreevnen af sugekoppen, så skal tyngdekraften tages i betragtning, idet denne er givet som $F_t = m \cdot g$ hvor m er den ukendte maksimale masse og

$g = 9,82 \frac{m}{s^2}$ er tyngdeaccelerationen. Den maksimale masse der kan løftes vil nu være, hvor

$|F_{sug}| = |F_t|$, idet følgende tegning gælder; *idat kræfterne er modsatrettede:*



Derfor sættes $F_t = 1571N$, hvorefter m findes, dvs.:

$$F_t = m \cdot g = 1571N$$

$\Downarrow$

$$m = \frac{1571N}{g} \Rightarrow m = \frac{1571N}{9,82 \frac{m}{s^2}} = \underline{\underline{160kg}}$$

Det vurderes altså at flisens masse maksimalt kan være 160 kg.

I denne vurdering er der ikke taget højde for ydre påvirkning som eks. luftmodstand ved løft fra atmosfæren eller problematikker ift. at gribe fat ^{på} overfladen ^{af} en genstand, der kan påvirke resultatet.

5. Generelle bemærkninger til eksaminandernes besvarelser

Eksaminandernes forklaring

Til et fyldestgørende svar på et spørgsmål hører en forklarende tekst, som gør rede for tankegangen bag løsningen, og herunder de relevante antagelser, som eksaminanden har gjort sig med den valgte model. I simple problemstillinger forventes det som et minimum, at man angiver en formel, hvor de indgående størrelser er identificeret, at tallene med enheder indsættes og facit beregnes med et passende antal cifre. De viste elevsvar viser typisk gode eksempler på løsninger med passende forklaring som fx dette til opgave 5c i sæt 1:

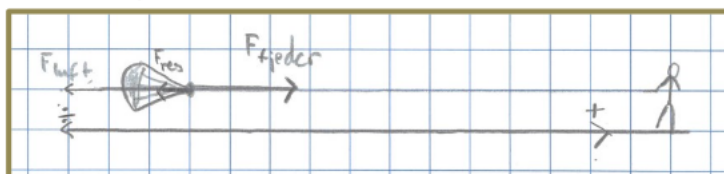
Lorentzkraften på en partikel med ladning q og hastighed $\vec{v}$ i et magnetfelt $\vec{B}$ er givet ved:
 $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$. Da magnetfeltet står vinkelret på bevægelsesretningen, har vi blot $F = q \cdot v \cdot B$. Her er $q = 79 \cdot e = 1,266 \cdot 10^{-17} \text{ C}$, da guldatomerne har mistet alle 79 elektroner. Dette giver:

$$B = \frac{F}{q \cdot v} = \frac{12,995 \cdot 10^{-9} \text{ N}}{1,266 \cdot 10^{-17} \text{ C} \cdot 2,997 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3,425 \text{ T}$$

Magnetfeltet har altså en størrelse på 3,425 Tesla.

Brugen af CAS-værktøjer

Brugen af CAS-værktøjer stiger år for år, og mange elever er dygtige til at bruge værktøjerne på en god måde, fx til at håndtere enhederne. Det er dog fortsat vigtigt at undervise eleverne i den korrekte brug af CAS, fx når der skal gives forklaring i besvarelserne. Undervejs i en besvarelse må der gerne forekomme "CAS-sprog", men ikke som erstatning for gængs formulering af ligninger mv. Teksten skal være klart forståelig for en censor, som ikke kender CAS-værktøjets koder på forhånd. Facit skal angives i normalt fagligt sprog uden brug af $[[...]]$, 10^3 , E3, og *. Det er den enkelte elevs ansvar at kende sit CAS-værktøj. Det gælder også værdier for enheder, fx 1 ton der ofte tillægges værdien 907 kg og konstanten g , der i CAS-værktøjet ikke helt er det forventede $9,82 \text{ m/s}^2$. Også i besvarelser formuleret i et CAS-værktøj skal der tegnes figurer. Man må i undervisningen arbejde med dette og sikre, at eleverne har en plan for, hvordan figurer skal tegnes. Det kan indøves på computeren, men også fint ske som håndtegninger. I den kommende tid må det forventes, at et stigende antal elever eller hele hold afleverer rent elektroniske besvarelser. Her kan det blive relevant at aftale, hvordan hånd tegnede figurer kan indskannes eller på anden måde finde vej til den elektroniske besvarelse. Bemærk det fine eksempel fra 4c i sæt 2:



I forbindelse med MAPLE beder censorerne om, at eleverne husker kommandoen "Expand All Sections" inden udskrift til printer eller pdf.

Som omtalt ovenfor, dukker der faldgruber op i forbindelse med brugen af computere og CAS-værktøjer. Generelt er der tendens til, at alt for mange elever i for høj grad sætter deres lid til computeren. Den udstrakte brug af SOLVE mv. fritager ikke eleverne for at beherske den nødvendige matematik. Eleverne skal kende betydning af at være omhyggelige med det matematiske og øve sig i at regne rigtigt.

Især opgaverne 3a og 5a i sæt 1 samt 1a i sæt 2 indeholder problemstillinger, hvor mange besvarelser påvirkes negativt af elevernes håndtering af matematikken.



6. Taksonomi og prognosen

Opgave 4 *Vandret faldskærm* i sæt 2 er et eksempel på, hvordan problemstillinger på forskellige SOLO-taksonomiske niveauer har betydning for vurderingen af eksaminandernes besvarelser. Man kan nogenlunde placere spørgsmålene i opgave 4 på følgende niveauer i SOLO-taksonomien¹:

4a: 2. *Multi-strukturel*; 4b: 3. *Relationel*; 4c: 3. *Relationel*

Den omtalte prognose (side 1) fortæller blandt andet, hvor mange point de enkelte kategorier af eksaminander får i hvert spørgsmål.

Eksaminanderne opdeles i 10 lige store grupper, *deciler*, efter samlet pointtal. De fagligt svageste 10 % i én gruppe [0;48], 1. decil, de 10% fagligt næstsvageste i næste gruppe [49;63], 2. decil, osv. – og endelig de 10 % fagligt dygtigste i sidste gruppe, [130;150], 10. decil.

For hver af disse 10 deciler beregnes eksaminandernes gennemsnitlige score for hvert spørgsmål, og resultaterne vises i et diagram som her nedenfor for opgave 4 i sæt 2.

Spørgsmål 4a: Man ser i diagrammet, at de svageste 10 % af eksaminanderne (1. decil) i gennemsnit fik 3,0 point i spørgsmål 4a, mens de næstsvageste 10 % (2. decil) fik 5,5 point i spørgsmål 4a.

Spørgsmål 4b: Tilsvarende ses, at de svageste 20 % fik under 1 point i 4b, og man skal op til 4. og 5. decil (medianen) for at pointtallet nærmer sig 5.

Spørgsmål 4c: Her får de fire første deciler under 2 point og kun de tre sidste deciler får over 6 point.

I tabelform:

Samlet score	[0;48]	[49;63]	[64;77]	[78;87]	
Score 4a	3,0	5,5	5,8	7,4	
Score 4b	0,6	0,8	2,2	4,2	
Score 4c	0,6	0,7	1,8	(osv.)	

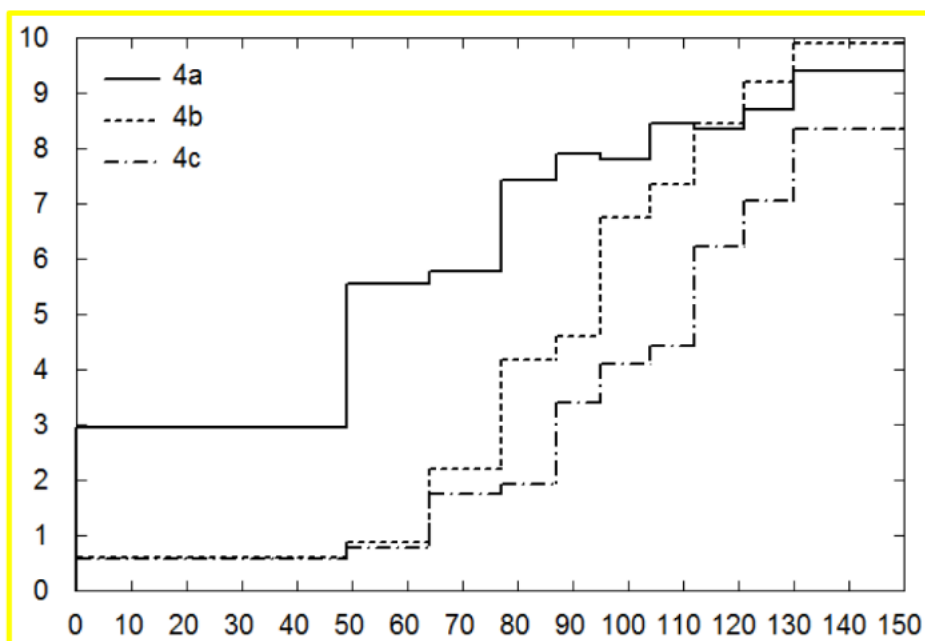
Prognosen dokumenterer dermed, at spørgsmål 4a er med til at afgøre, om en eksaminand får en bestået karakter eller ej.

Spørgsmål 4b bidrager til at placere eksaminander med en middelprestation og samtidig til at afgøre om en præstation ligger over middel.

Endelig bidrager 4c især til at placere eksaminander med en præstation over middel.

¹ Se fx side 341 i: E. Damberg m.fl. (Red.): Gymnasiepædagogik, 2. udg., Hans Reitzels Forlag 2013.

Sæt 2, opgave 4 Vandret faldskærm:

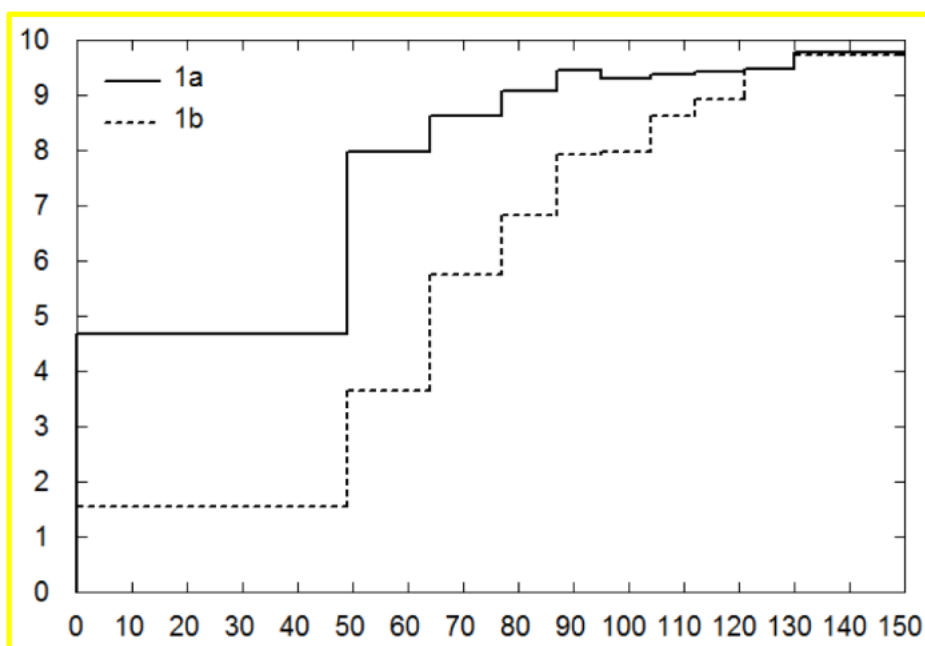


Nedenfor ses de tilsvarende diagrammer for opgave 1 *Sol-opdriftstårn* i sæt 2 og opgave 1 *Pose-lukker* i sæt 1.

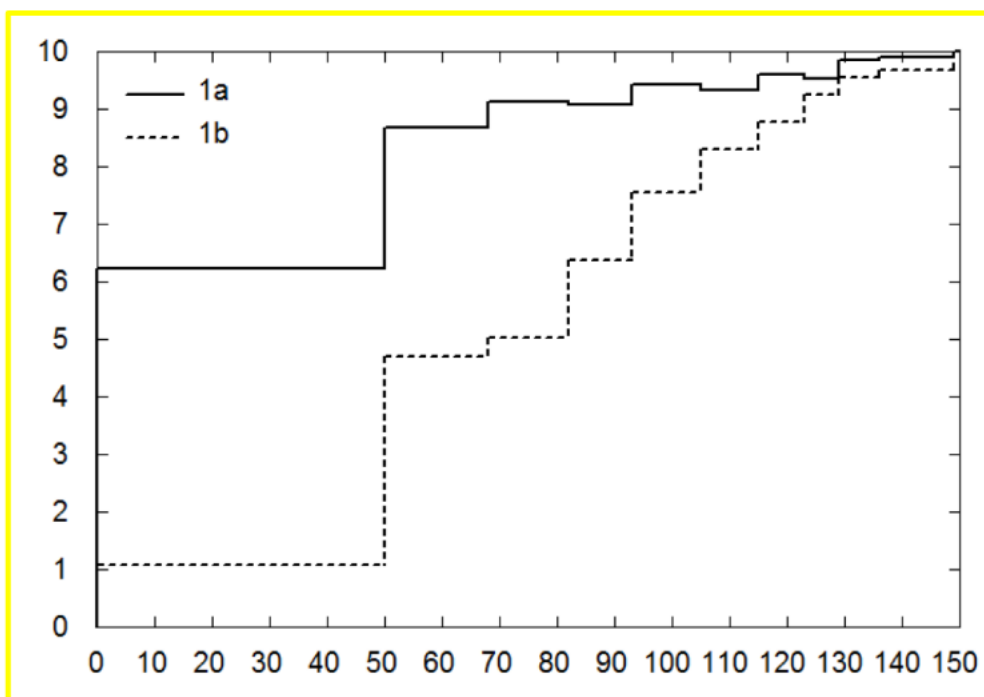
I begge opgaver er a-spørgsmålet tydeligt uni-strukturelt, mens b-spørgsmålet er multi-strukturelt i SOLO-taksonomien.

De to simple a-spørgsmål giver næsten fuldt point for alle bortset fra de svageste 10 %. Som i 4a bidrager de to b-spørgsmål til at eksaminanden får en karakter over bestågrænsen.

Sæt 2, opgave 1 Solopdriftstårn:

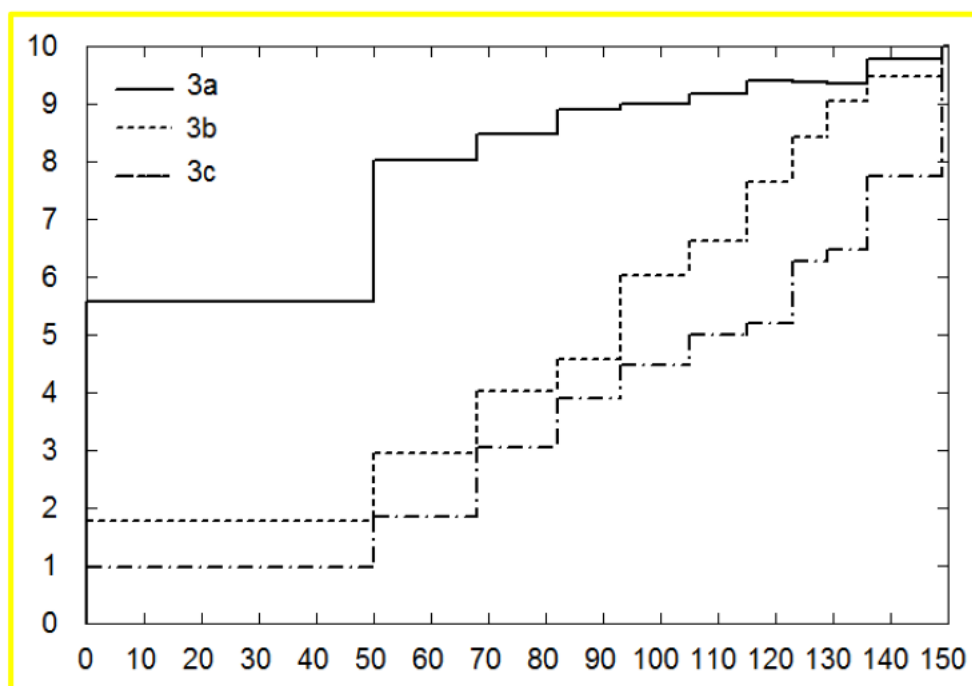


Sæt 1, opgave 1 Poselukker:



Diagrammet nedenfor viser, at opgave 3 *Rammemaskine* i sæt 1 rummer spørgsmål 3a og 3b med nogenlunde samme sværhedsgrad som 1a og 1b i de to sæt. Der er tydelig progression til spørgsmål 3c, der kan placeres som relationel i SOLO-taksonomien og klart bidrager til at afgøre, hvem der skal have de højeste karakterer for besvarelsen.

Sæt 1, opgave 3 Rammemaskine:





7. Afsluttende bemærkninger

Der har i syv år været afholdt skriftlig prøve efter reformen og alle opgavesæt findes nu samlet på emu'ens *Materialeplatform*: <http://materialeplatform.emu.dk/eksamensopgaver/>. Password til eksamensopgaverne får man på sin skole.

Fysiklærerne på skolen opfordres til at samarbejde om opgavedimensionen i undervisningen. Erfaringerne fra den skriftlige prøve på A-niveau kan med fordel blive inddraget på faggruppens møder. En stor andel af eleverne har fysik-A på et løftehold fra B- til A-niveau, og grundlaget for elevernes evne til problemløsning til den afsluttende prøve må derfor lægges allerede i fysik B-undervisningen. På den enkelte skole anbefales det, at arbejdet med undervisningen på fagets højeste niveau koordineres, så de indhøstede positive og negative erfaringer gives videre, når den ene lærer afløser den anden.

Martin Schmidt

Fagkonsulent i fysik (stx) og astronomi

Martin.Schmidt@uvm.dk