



PROVET I FYSIK 28.9.2018 BESKRIVNING AV GODA SVAR

Examensämnets censorsmöte har godkänt följande beskrivningar av goda svar.

Fysikens mål är att förstå och förklara naturens grundstruktur och de grundläggande mekanismer som driver naturfenomenen, samt lagbundenheterna bakom dessa mekanismer. Inom fysiken strävar man efter att uttrycka begreppslig kunskap och kunskapsstrukturer så uttömmande och allmängiltigt som möjligt. Den experimentella metoden är fysikens viktigaste kunskapskälla, och den kunskap som inhämtats presenteras ofta i form av matematiska teorikonstruktioner och modeller. Dessa modeller spelar också en väsentlig roll då det gäller att utveckla, tillämpa och utnyttja den inhämtade kunskapen. Den nära kopplingen mellan teori och empiriska experiment är typisk för inhämtningen, presentationen och tillämpningen av kunskap på fysikens område.

I provet i fysik bedöms såväl förmågan att förstå fysikaliska fakta som förmågan att tillämpa denna kunskap, i enlighet med grunderna för gymnasiet läroplan. I provet bedöms vidare examinandens förmåga att experimentellt inhämta och bearbeta kunskap. Exempel på denna förmåga är bland annat att planera experiment, att behärska användningen av de vanligaste mätinstrumenten, att presentera och tolka resultat samt att dra slutsatser. Problem på naturvetenskapernas och teknologins område löses genom att använda och tillämpa fysikens begrepp och begreppsstrukturer. Problemlösning som uppvisar kreativitet och uppfinningsrikedom ses som särskilt förtjänstfull. På bedömningen inverkar även hur klara examinandens svar är samt hur konsekvent och väldisponerat faktainnehållet i svaren är.

Svaret på en uppgift i fysik inkluderar motiveringar för svaret, om inget annat nämns i uppgiften. Examinanden kan kombinera fakta och tillämpa det inlärd. Svaret visar att examinanden har identifierat det fysikaliska fenomenet korrekt och granskar situationen på ett fysikaliskt meningsfullt sätt. Examinanden kan beskriva den tillämpade fysikaliska modellen och motivera varför modellen kan användas i uppgiften. Ofta kräver svaret situationsbilder, kraftfigurer, kopplingsscheman eller grafiska presentationer. Figurerna, diagrammen och de grafiska presentationerna är tydliga och i enlighet med de allmänna principerna för läroämnet. I kraftfigurer särskiljs de verkliga krafterna tydligt från deras vektor-komponenter.

I de uppgifter som kräver matematisk behandling ska storhetsekvationerna och formlerna motiveras på ett sätt som visar att examinanden tolkat situationen rätt, exempelvis utifrån en fundamental fysikalisk lag eller grundprincip. I svaret ingår även behövliga uträkningar och andra tillräckliga motiveringar samt ett slutresultat. Storheternas värden behöver i fysikprovet inte skrivas in synligt i formeln, om det av svaret tydligt framgår vilket talvärde och vilken enhet som används för respektive storhetssymbol. I provet i fysik är alla funktionsräknare, grafiska räknare och symbolräknare tillåtna. Lösningar som gjorts med hjälp av symbolräknare godkänns, så länge det av svaret framgår på vilken situation och vilka symboler i situationen svaret bygger. Räknare kan användas för att lösa ekvationer och dra slutsatser av grafer på det sätt som förutsätts i uppgiften.

DEL I

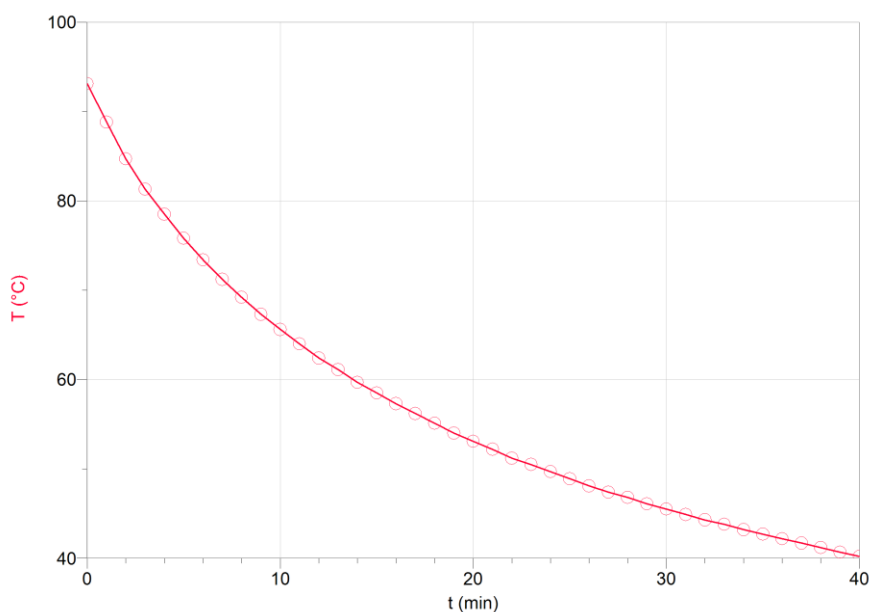
1. Flervalsuppgifter från olika delområden i fysiken (20 p.)

- 1.1. riktas nedåt (2 p.)
1.2. riktas nedåt (2 p.)
1.3. är noll (2 p.)
1.4. tyngd (gravitationskraften) (2 p.)
1.5. 2 (andra från vänster) (2 p.)
1.6. Bild 2. Den övre lampan i bilden är inte en del av den slutna strömkretsen, alltså lyser den inte. De övriga lamporna är sinsemellan kopplade i serie och en lika stor ström går genom dem, alltså lyser de sinsemellan lika starkt. (5 p.)
1.7. Bild 4. En lika stor ström går genom den högra och vänstra lampan i kopplingen som det går genom batteriet, alltså lyser de här lamporna sinsemellan lika starkt. De mittersta lamporna är parallellkopplade, alltså går hälften av batteriets ström igenom vardera. De mittersta lamporna lyser sinsemellan lika starkt, men svagare än den högra och vänstra lampan. (5 p.)

DEL II

2. Nedkyllning av kaffe (15 p.)

2.1.



(5 p.)

2.2.

Vi antar att kaffets specifika värmekapacitet är densamma som för vatten, $c = 4,1819$ kJ/(kg·K).

Vi antar att kaffets densitet är konstant och densamma som vattnets densitet vid temperaturen $80\text{ }^\circ\text{C}$, $= 0,97181$ kg/l (tabellvärde).

Förändringen i kaffets temperatur under tidsintervallet 2,5 min–5,5 min avläses från grafen:

$$\Delta T = (83,0 - 74,6)\text{ }^\circ\text{C} = 8,4\text{ }^\circ\text{C} = 8,4\text{ K}$$

Kaffets avgivna värme:

$$Q = cm\Delta T = c\rho V\Delta T$$

$$= 4,1819\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \cdot 0,97181\text{ kg}/\text{l} \cdot 0,192\text{ l} \cdot 8,4\text{ K}$$

$$= 6,5544389\text{ kJ} \approx 6,6\text{ kJ}$$

(5 p.)

2.3.

För att kaffet ska hållas vid en konstant temperatur bör det värmas med en effekt som till absolutbeloppet är lika stor som den effekt med vilken värme vid den här temperaturen avges från kaffet. Nedkylningens effekt

$P = \frac{Q}{\Delta t} = cm \frac{\Delta T}{\Delta t}$, alltså är den momentana nedkylningseffekten $P_i = cm \frac{dT_i}{dt_i}$, där $\frac{dT_i}{dt_i} = k_i$ är riktningskoefficienten för tangenten vid punkten (t_i, T_i) i grafen.

Bestämt ur grafen

$$\frac{dT_i}{dt_i} = -1,6\text{ }^\circ\text{C}/\text{min} = -0,02666\dots\text{ K/s}$$

$$P_i = 4,1819\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \cdot 0,97181\text{ kg}/\text{l} \cdot 0,192\text{ l} \cdot (-0,02666\dots\text{ K/s}) = -0,0208077\text{ kW} \\ \approx -21\text{ W}$$

Svar: Kaffet ska värmas med en effekt på 21 W.

(5 p.)

3. Likströmskrets (15 p.)

3.1

Strömkretsen är oförgrenad (ingen ström går genom spänningsmätaren), alltså går det en lika stor ström genom strömmätaren som det går genom motståndet R_a . Därmed gäller enligt Ohms lag för alla värden på motståndet, polspänningen U_a och strömstyrkan I som avviker från noll att

$$R_a = \frac{U_a}{I}. \quad (3 \text{ p.})$$

Då $U_s = 5,00 \text{ V}$ är

$$R_a = \frac{2,62 \text{ V}}{0,0468 \text{ A}} \approx 56,0 \Omega. \quad (2 \text{ p.})$$

3.2.

Spänningskällan U_s och batteriet U_x är kopplade i motsatt riktning. Elektrisk ström slutar gå genom kretsen då $U_s - U_x = 0$. (2 p.)

Genom att experimentera märker man att strömmen upphör då $U_s = 1,35 \text{ V}$. Därmed är även batteriets polspänning U_x $1,35 \text{ V}$. (2 p.)

3.3.

Enligt Kirchhoffs spänningslag

$$U_s - IR_b - U_x - U_a = 0. \quad (2 \text{ p.})$$

$$R_b = \frac{U_s - U_x - U_a}{I} \quad (2 \text{ p.})$$

Då $U_s = 5,00 \text{ V}$ är

$$R_b = \frac{5,00 \text{ V} - 1,35 \text{ V} - 2,62 \text{ V}}{0,0468 \text{ A}} = 22,0 \Omega. \quad (2 \text{ p.})$$

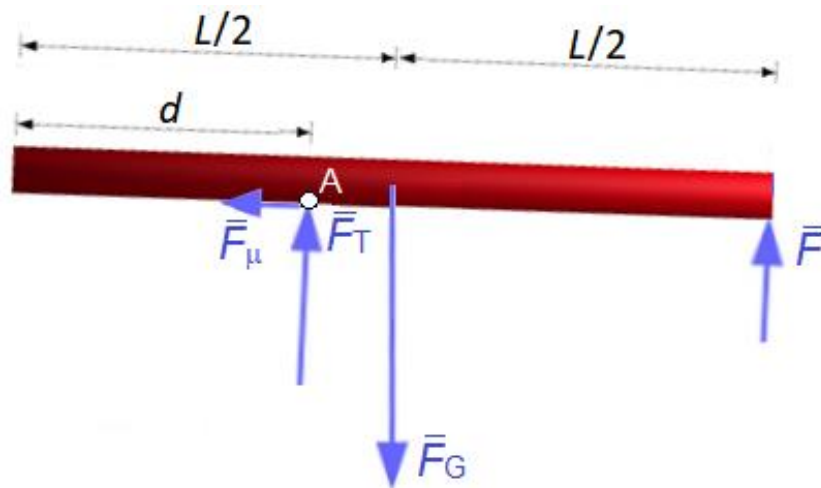
4. En stock på stapeln (15 p.)

4.1.

Stockens längd är $L = 3,5$ m och dess diameter är $D = 25$ cm. Tabellvärdet för träets densitet är $\rho = 520 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, med det kan stockens massa beräknas som $m = \rho(\pi D^2/4)L$ och tyngdkraften som

$$F_G = mg = \rho \frac{\pi D^2}{4} Lg = 876,4 \text{ N.}$$

Stocken påverkas av dess tyngd F_G , stödkraften F_T och friktionskraften F_μ förorsakade av stapeln, samt den kraft F med vilken Konsta lyfter stocken.



Stödunkten A mellan stocken och stapeln befinner sig på avståndet $d = 1,4$ m från stockens vänstra ände. Vid jämviktsläge är summan av krafternas kraftmoment i förhållande till stödunkten lika med noll. Stödkraften och friktionskraften saknar momentarmar och därmed även kraftmoment i förhållande till punkten A . Kraftmomentet M från kraften som personen lyfter med ska därmed kompensera kraftmomentet M_G från tyngdkraften. Det senare kraftmomentet är till absolutbeloppet störst då tyngdkraftens momentarm är som störst. Detta infaller redan då stocken är (nästan) vågrät. Vi väljer motsols som den positiva rotationsriktningen.

$$M = F(L - d) \text{ och } M_G = -F_G \left(\frac{L}{2} - d \right).$$

Från momentvillkoret $M + M_G = 0$ följer då

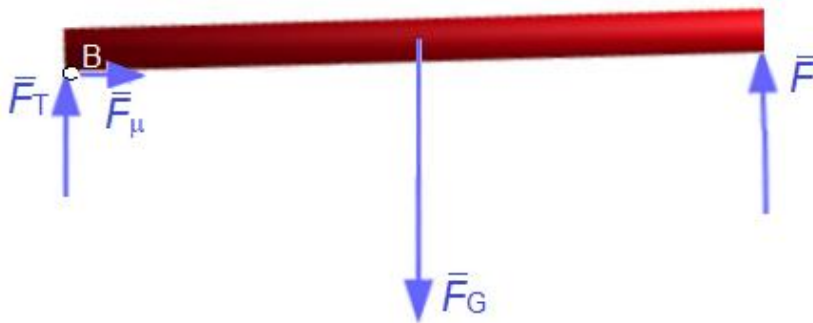
$$F(L - d) - F_G \left(\frac{L}{2} - d \right) = 0$$

$$F = \frac{\frac{L}{2} - d}{L - d} F_G = \frac{\frac{1}{2} - \frac{d}{L}}{1 - \frac{d}{L}} F_G = 146,1 \text{ N} \approx 150 \text{ N}.$$

(8 p.)

4.2.

Behandlingen framskrider som i deluppgift 4.1., förutom att kraftmomenten betraktas utgående från den nya stödpunkten B. Tyngdkraftens kraftmoment är som störst då stocken ännu är (nästan) vågrät.



I det här fallet är $\tau = FL$ och $M_G = -F_G \frac{L}{2}$.

Från momentvillkoret $\tau + M_G = FL - F_G \frac{L}{2} = 0$.

$$F = \frac{F_G}{2} = 438,2 \text{ N} \approx 440 \text{ N}.$$

(7 p.)

5. Stående ljudvågor (15 p.)

5.1.

En stående ljudvåg har stationära amplitudminima och -maxima. En stående ljudvåg uppstår när ljud reflekteras från ett gränsskikt och den del av ljudet som ännu färdas mot gränsskiktet interfererar med den del av ljudet som redan har reflekterats. Då det inkommande och reflekterade ljudet har samma frekvens och våglängd är deras fasförskjutning konstant. Därför förstärker (amplitudmaximum, konstruktiv interferens) eller försvagar (amplitudminimum, destruktiv interferens) vågorna alltid varandra vid specifika punkter framför gränsskiktet. Maximumen är på en halv våglängds avstånd från varandra, liksom minimumen.

(5 p.)

5.2.

Rörets öppna ändrar är gränsskikt vid vilka en del av ljudet som kommer från röret reflekteras tillbaka mot rörets mitt. Vid ljudets våglängder $2L/N$, där L är rörets längd och $N=1, 2, 3\dots$, uppstår en stående våg i röret. Rörelsemaximumen (tryckminimumen) är vid rörets ändrar och inuti röret finns N tryckmaxima. Vid frekvenser som motsvaras av dessa våglängder uppstår resonans, vilket får luftpelaren inne i röret att vibrera kraftigt. Det här kan höras som en förstärkning av ljudet. Stämgaflens frekvens är samma som den lägsta resonansfrekvensen, som motsvaras av våglängden $2L$.

(5 p.)

5.3.

När den ena änden av röret täpps till uppstår det alltid ett tryckmaximum vid den änden. Då är våglängderna som motsvaras av resonansfrekvenserna $\lambda_1 = 4L$, $\lambda_2 = \frac{4L}{3}$, $\lambda_3 = \frac{4L}{5}$ osv. Frekvensen som motsvarar våglängden $2L$ finns inte längre bland resonansfrekvenserna, alltså förstärks inte stämgaflens ljud.

(5 p.)

6. Ljusets brytning (15 p.)

6.1.

När ljuset bryts från luft till akryl kommer
ljusets våglängd att minska, (2 p.)
ljusets hastighet att minska och (2 p.)
ljusets frekvens att förbli densamma. (2 p.)

6.2.

Snells lag: $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}$, där α_1 och α_2 är vinklarna mellan strålen och ytans normal i ämne 1 och ämne 2, och n_1 och n_2 är brytningsindexen för ämne 1 och ämne 2.

Brytningsindexen för det gröna ljuset är:
akryl $n_a = 1,507$, vatten $n_v = 1,335$, luft $n_i = 1,000$.

Infallsvinkel i luft: $\alpha_1 = 52^\circ$

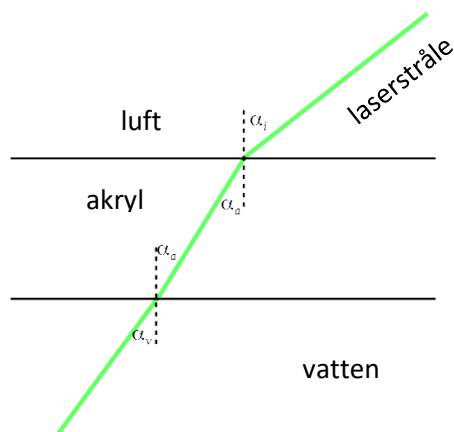
Brytningsvinkel i akryl: $\alpha_a = \arcsin\left(\frac{n_i}{n_a} \cdot \sin\alpha_i\right) = 31,527^\circ \approx 32^\circ$

Brytningsvinkel i vatten: $\alpha_v = \arcsin\left(\frac{n_a}{n_v} \cdot \sin\alpha_a\right) = 36,176^\circ \approx 36^\circ$

(5 p.)

6.3.

Enligt bilden och Snells lag: $\frac{\sin\alpha_i}{\sin\alpha_a} = \frac{n_a}{n_i}$ och $\frac{\sin\alpha_a}{\sin\alpha_v} = \frac{n_v}{n_a}$.



Vardera sidan multipliceras turvis: $\frac{\sin\alpha_i}{\sin\alpha_a} \cdot \frac{\sin\alpha_a}{\sin\alpha_v} = \frac{n_a}{n_i} \cdot \frac{n_v}{n_a} \Rightarrow \frac{\sin\alpha_i}{\sin\alpha_v} = \frac{n_v}{n_i}$

Det här är samma ekvation som för ljus som går direkt från luft till vatten. Därmed ändras inte brytningsvinkeln i vatten när akrylskivan avlägsnas.

(3 p.)

Vi uppnår samma likhet oberoende av storleken på brytningsindexet för en skiva mellan luften och vattnet. Därmed ändras inte brytningsvinkeln i vatten trots att skivans material byts mot ett annat.

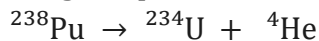
(1 p.)

7. Radioaktivitet (15 p.)

7.1.

Värmeenergi omvandlas till elektrisk energi på Voyagersonden med hjälp av den termoelektriska effekten.

Energi skapas vid sönderfallsreaktionen



(3 p.)

7.2.

Då en atom sönderfaller skapas en mängd energi som motsvarar massförlusten.

Isotopernas massor är: $M_{\text{Pu}} = 238,049553 \text{ u}$, $M_{\text{U}} = 234,040946 \text{ u}$ och $M_{\text{He}} = 4,0026033 \text{ u}$.

$$Q = (M_{\text{Pu}} - M_{\text{U}} - M_{\text{He}})c^2 \approx 5,5924 \text{ MeV}$$

(4 p.)

7.3.

Aktiviteten minskar med tiden $A = A_0 e^{-\lambda t}$, där $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$.

(1 p.)

Aktiviteten kan beräknas med hjälp av antalet aktiva kärnor $A_0 = \lambda N_0$, där $N_0 = \frac{m}{M_{\text{Pu}}}$.

Aktiviteten i början var $A_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{m}{M_{\text{Pu}}}$ där $m = 13 \text{ kg}$, $M_{\text{Pu}} = 238,049553 \text{ u}$, $1 \text{ u} =$

$1,660539 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $T_{1/2} = 87,7 \text{ år}$ ja $1 \text{ år} = 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}$.

Studentprovet i fysik hålls i september 2018. Sonden sköts upp i september 1977. Det har alltså förflutit $t = 41 \text{ år}$ sedan uppskjutningen av sonden.

$$\text{Aktiviteten är nu } A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{m}{M_{\text{Pu}}} e^{-\lambda t} \approx 6,0 \cdot 10^{15} \text{ Bq.}$$

(4 p.)

7.4.

Energien som frigörs i reaktorn per tidsenhet är reaktorns värmeeffekt $P_L = QA_0$ och den elektriska effekten är $P_s = \eta QA_0$.

Verkningsgraden $\eta = 0,065$. Vi använder $Q = 5,5924$ MeV från deluppgift 7.2. och beräknar aktiviteten

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{m}{M_{\text{Pu}}} = 8,242257 \cdot 10^{15} \text{ Bq.}$$

$$P_s = \eta(M_{\text{Pu}} - M_U - M_\alpha)c^2 \frac{m \ln 2}{M_{\text{Pu}} T_{1/2}} \approx 480 \text{ W.}$$

(3 p.)

8. Bandgenerator (15 p.)

Kupans radie:	R
Klotets radie:	r
Avståndet mellan kupans och klotets mittpunkter:	d
Kupans laddning:	Q
Klotets laddning:	q
Klotets massa:	m
Upphängningstrådens vinkel:	α

Kupans potential är $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R}$, ur vilket kupans laddning kan beräknas vara $Q = 4\pi\epsilon_0 VR$.

När klotet och kupan har rört varandra är de vid samma potential, alltså är klotets laddning

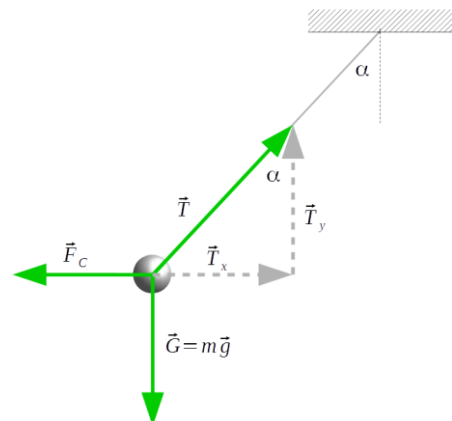
$$q = 4\pi\epsilon_0 Vr.$$

(3 p.)

Ur kraftdiagrammet:

$$\text{N II: } \sum \vec{F} = \vec{0}$$

$$\vec{F}_C + \vec{G} + \vec{T} = \vec{0}$$



(5 p.)

$$\tan \alpha = \frac{T_x}{T_y} = \frac{F_C}{mg} \Rightarrow F_C = mg \tan \alpha$$

Kraften med vilken kupan verkar på klotet kan beräknas med hjälp av Coulombs lag:

$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{d^2} = mg \tan \alpha$$

(4 p.)

Uttrycken för kupans och klotets laddning substitueras in i ekvationen:

$$\frac{(4\pi\epsilon_0)^2 V^2 Rr}{4\pi\epsilon_0 d^2} = mg \tan \alpha$$
$$V = \sqrt{\frac{d^2 mg \tan \alpha}{4\pi\epsilon_0 Rr}} = \sqrt{k \cdot \frac{d^2 mg \tan \alpha}{Rr}}$$

(3 p.)

Avståndet mellan generatorkupan och det elektriskt ledande klotet hade tyvärr utblivit från materialet. Som svar räcker den korrekta storhetsekvationen för potentialen. Även värden på potentialen som beräknats utgående från en rimlig uppskattning av avståndet i bilden godkänns.

DEL III

9. *Kissakoski vattenkraftverk (20 p.)*

9.1.

Vattenkraftverkets vattenmagasin fylls på grund av vattnets naturliga kretslopp. Vattnet i vattenkraftverkets vattenmagasin har potentiell energi. När vattnet flödar genom inloppet omvandlas energin till rörelseenergi. (2 p.)

När vattnet flödar genom turbinen omvandlas translationsrörelsens rörelseenergi till en rotationsrörelsens rörelseenergi hos turbinens vingar. Turbinens rotation driver en generator som är fäst vid samma axel. Generatorns rörelse omvandlar energin till elektrisk energi. (3 p.)

9.2.

Generatorns funktion baserar sig på elektromagnetisk induktion. En ledningsslinga roterar i ett magnetiskt fält inuti generatorn, vilket leder till att en spänning induceras över slingan.

(3 p.)

9.3.

En växelspänning beskrivs med hjälp av frekvensen och spänningens effektivvärde. Ibland kan även spänningens toppvärde användas. (2 p.)

Spänningens effektivvärde och toppvärde är direkt proportionella mot den magnetiska flödestätheten hos det magnetiska fält som används, strömslingans area, antalet varv i strömslingan och spolens vinkelhastighet. (3 p.)

Spolens vinkelhastighet (rotationshastighet) bestämmer även växelspänningens frekvens. I Finland är den 50 Hz. Då vinkelhastigheten är konstant blir växelspänningen formad som en sinusfunktion. Då är förhållandet mellan spänningens toppvärde och effektivvärde $\sqrt{2}$. (2 p.)

9.4.

Effekt är utfört arbete per tidsenhet $P = W/\Delta t$.

Då vattnet faller nedåt med sträckan h gör tyngdkraften arbetet $W = mgh = V\rho gh$.

På tavlan kan man läsa att fallhöjden är $h = 5$ m och att flödets storlek är $\Delta V/\Delta t = 25,7$ m³/s. Konstruktionsflödet kan även användas i uppskattningen.

$$P = \rho gh V/\Delta t = 1000 \text{ kgm}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 5 \text{ m} \cdot 25,7 \text{ m}^3/\text{s} \approx 1,3 \text{ MW}$$

(5 p.)

10. Stjärnor och rymden (20 p.)

10.1.

Gravitationskraften ger upphov till en normalacceleration av stjärnan.

$$\text{N II: } F = ma_n = m \frac{v^2}{r} \text{ gravitationskraften } F = \gamma \frac{mM_0}{r^2}$$

(3 p.)

$$m \frac{v^2}{r} = \gamma \frac{mM_0}{r^2} \Rightarrow v^2 = \gamma \frac{M_0}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{\gamma M_0}{r}}$$

(3 p.)

10.2.

Från deluppgift 10.1. får vi att

$$v^2 = \gamma \frac{M(r)}{r} \Rightarrow M(r) = \frac{v^2}{\gamma} r,$$

där v är en konstant som kan avläsas ur mätresultaten $v \approx 150$ km/s.

Lagen gäller vid gränsen till den synliga ljusa delen:

$$M_0 = \frac{v^2}{\gamma} r_0 \Rightarrow \frac{v^2}{\gamma} = \frac{M_0}{r_0},$$

vilket leder till att massans beroende av radien även kan uttryckas som $M(r) = \frac{M_0}{r_0} r$.
(4 p.)

10.3.

Med resultatet från deluppgift 10.1. kan man förutspå att hastigheterna med vilka stjärnorna utanför galaxens ljusstarka synliga del kretsar borde vara omvänt proportionell mot kvadratroten av avståndet, $v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$, om den största delen av galaxens massa befinner sig inom den ljusstarka synliga delen. Så är inte fallet enligt mätresultaten. (2 p.)

Massfördelningen som beräknats i deluppgift 10.2. utgående från mätresultaten kan inte förorsakas av stjärnorna som syns utanför galaxens ljusstarka synliga del eftersom de är för få. (2 p.)

Därmed måste galaxen, utöver stjärnorna, även innehålla mörk materia.

Den totala massan hos galaxen M_{tot} är den massa som befinner sig innanför banan för stjärnan som kretsar på ett avstånd av åtminstone $r = 30$ kpc.

$$M(r) = \frac{v^2}{\gamma} r \Rightarrow$$

$$M_{\text{tot}} = \frac{(150000 \text{ m/s})^2}{6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^2} \cdot 30000 \cdot 3,08568 \cdot 10^{16} \text{ m} = 3,12089 \cdot 10^{41} \text{ kg} \approx 3,1 \cdot 10^{41} \text{ kg}$$

(3 p.)

Å andra sidan är även

$$M_{\text{tot}} = \frac{M_0}{6 \text{ kpc}} \cdot 30 \text{ kpc} = 5M_0 \Rightarrow M_0 = 0,2M_{\text{tot}}.$$

Massan hos galaxens ljusstarka synliga del är alltså endast 20 % av galaxens totala massa. (3 p.)

11. Nedkylning av en fastighet (20 p.)

11.1.

Energiberäkningsguiden i materialet beskriver luftkonditioneringssystemet för en byggnad där ett rum kyls ned med hjälp av en kompressordriven kylmaskin och en värmeväxlare. Vattnet som kretsar i systemet kyls först ned med kylmaskinen och leds därefter till värmeväxlaren. I värmeväxlaren kyls luft som blåses in i rummet ned med hjälp av det kalla vattnet i kretsloppet. (2 p.)

Förflyttningshastigheten av värmets från rummet, alltså värmeväxlarens nedkylningseffekt, beror av nedkylningseffekten för vattnet i kretsloppet. Vattnet i kretsloppet kyls ned med kompressordriven nedkylning, alltså med en maskin som fungerar som en omvänd luftvärmepump. (1 p.)

Kompressordriven nedkylning är en cirkelprocess som utgår ifrån fasförändringar hos kylmedlet. Det förångade kylmedlet pressas samman till ett högt tryck med hjälp av kompressorn. Ångan som värmts upp vid sammanpressandet flödar till kondensorn där den avger värme till omgivningen och kondenseras till en vätska. Efter det här flödar vätskan vidare genom en strypventil till ett lägre tryck där den börjar förångas i förångaren som befinner sig i kallområdet. Kylmedlet tar den energi som behövs till förångningen från omgivningen, varvid temperaturen i kallområdet sjunker. Ångan flödar därefter ut ur kallområdet och tillbaka till kompressorn, varefter processen kan upprepa sig. (3 p.)

Elektricitet behövs vid kylprocessen, bl.a. för att sätta kylmedlet i omlopp och för att driva både kompressorn och fläktarna. (1 p.)

11.2.

Köldfaktorn beskriver förhållandet mellan värmets som förflyttas från luften i byggnaden och det utförda arbetet. Köldfaktorn kan i teorin anta värden som är både större och mindre än ett, men i praktiken uppnår man alltid ett värde större än ett med verkliga nedkylningssystem. Det förflyttas alltså mera värme än den mängd arbete som utförs vid förflyttningen. (2 p.)

11.3.

Då processen utför arbete kommer verkningsgraden att vara lika med förhållandet mellan den producerade nyttan, alltså arbetet W , och värmets Q_1 som mottas av processen. Värmets som mottas av processen är lika med summan av det utförda arbetet och värmets Q_2 som avges från processen. Verkningsgraden är $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{W}{W+Q_2}$. Utgående från deluppgift 11.2 är köldfaktorn $\varepsilon = \frac{Q_2}{W}$, vilket ger oss $\eta = \frac{1}{1+\varepsilon}$. (2 p.)

11.4.

Förlustfaktorn beskriver nedkylningens effektivitet, alltså förhållandet mellan det avgivna värmets och det mottagna värmets. Enligt termodynamikens andra huvudsats kan värme aldrig överföras från ett kallare område till ett varmare utan att arbete utförs. Därför kommer det avgivna värmets alltid att vara större än kylmaskinens mottagna värme. Förlustfaktorn beskriver avvikelser från en situation där båda värmen är lika stora. Om

$$P_{jk} = (1 + \beta_{hji})P_{ji}$$

så är

$$(1 + \beta_{hji}) = \frac{P_{jk}}{P_{ji}} = \frac{Q_{jk}}{Q_{ji}} \propto \frac{T_{omgivning}}{T_{vatten}} \rightarrow \beta_{hji} \propto \frac{T_{omgivning}}{T_{vatten}} - 1.$$

Då det kalla vattnets temperatur sjunker kommer därmed β_{hji} att öka.

(2 p.)

11.5.

Då vatten avger värme till omgivningen då det kondenseras kommer nedkylningseffektiviteten att minska. (2 p.)

11.6.

Den elektriska effekten som förbrukas av nedkylningen är

$$P_{nedkylning} = \frac{P_{jk}}{\varepsilon_E} = \frac{(1 + \beta_{hji})P_{ji}}{\varepsilon_E}.$$

(2 p.)

Motsvarande elektriska energi är

$$E_{el} = P_{nedkylning}t = \frac{(1 + \beta_{hji})P_{ji}}{\varepsilon_E}t.$$

(2 p.)

Om nedkylningseffekten för en kompressordriven kylmaskin med en luftkyld kondensator (inklusive kondensförluster) är 770 W (köldfaktorn avläses från tabell 1 och förlustfaktorn från den andra kolumnen i tabell 2) kommer förbrukningen under loppet av ett år att vara

$$E_{el} = \frac{(1 + 0,3) \cdot 770 \text{ W}}{2,5} \cdot 31536000 \text{ s} = 12627014400 \text{ J} \approx 1,3 \cdot 10^{10} \text{ J}.$$

Under loppet av ett år är $E_{el} \approx 3500 \text{ kWh}$.

(1 p.)

