

1) En lang rekke enheter for energi er fortsatt i bruk i ulike sammenhenger. En kalori, 1 cal, tilsvarer 4.184 J; en British Thermal Unit, 1 BTU, tilsvarer 1055 J; en elektronvolt, 1 eV, tilsvarer  $1.6 \cdot 10^{-19}$  J; en rydberg, 1 Ry, tilsvarer  $2.18 \cdot 10^{-18}$  J; og en kilowatt-time, 1 kWh, tilsvarer 3.6 MJ. Hva er da mest energi av 1 BTU, 200 cal, 0.0004 kWh,  $10^{20}$  Ry, og  $10^{22}$  eV?

- A) 1 BTU      B) 200 cal      C) 0.0004 kWh      D)  $10^{20}$  Ry      E)  $10^{22}$  eV

2) En pelton-turbin med diameter 1.50 m roterer med konstant hastighet og gjør 500 omdreininger pr minutt (500 rpm). Hva er hastigheten til skålene som er montert på periferien til turbinhjulet?

- A) 19.3 m/s      B) 29.3 m/s      C) 39.3 m/s      D) 49.3 m/s      E) 59.3 m/s

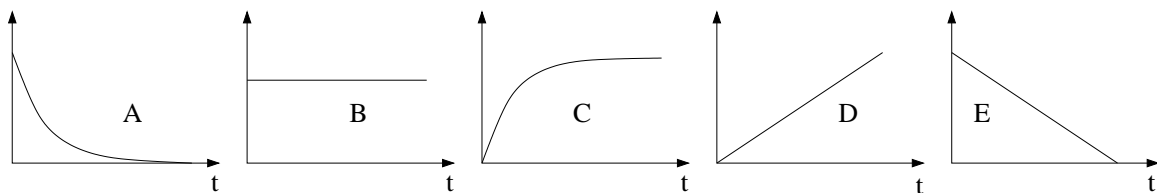
En karusell har radius  $R = 10$  m og dras i gang slik at vinkelhastigheten øker mellom  $t = 0$  og  $t = T/2$  i henhold til

$$\omega(t) = \omega_0 (1 - e^{-\omega_0 t})$$

og avtar mellom  $t = T/2$  og  $t = T$  i henhold til

$$\omega(t) = \omega_0 e^{-\omega_0(t-T/2)}.$$

Her er  $\omega_0 = 0.5 \text{ s}^{-1}$ , og hele karusellturen har varighet  $T = 120$  s. Karusellen kan med god tilnærming betraktes som ei kompakt skive med masse  $M = 2000$  kg og treghetsmoment  $I_0 = MR^2/2$ . Oppgavene 3 – 8 dreier seg om denne karusellen.



3) Hvilken av grafene ovenfor illustrerer best karusellens vinkelhastighet  $\omega(t)$  mellom  $t = 0$  og  $t = T/2$ ?

4) Hvilken av grafene ovenfor illustrerer best karusellens vinkelakselerasjon  $\alpha(t)$  (i absoluttverdi) mellom  $t = T/2$  og  $t = T$ ?

5) Helt ytterst på karusellen, hva er karusellens maksimale hastighet i løpet av hele karusellturen?

- A) 3.0 m/s      B) 5.0 m/s      C) 7.0 m/s      D) 9.0 m/s      E) 11.0 m/s

6) Hva er karusellens maksimale dreieimpuls (spinn)  $L_s$ , relativt et punkt på rotasjonsaksen (i samme høyde som karusellens massesenter), i løpet av karusellturen?

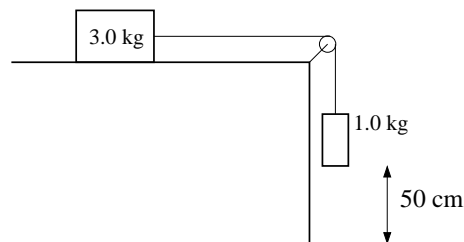
- A)  $L_s = 20$  kJs      B)  $L_s = 30$  kJs      C)  $L_s = 40$  kJs      D)  $L_s = 50$  kJs      E)  $L_s = 60$  kJs

7) En motor under karusellen sørger for at karusellskiva utsettes for en netto kraft  $F(t)$ , med ( $t < T/2$ ) eller mot ( $t > T/2$ ) fartsretningen, med angrepspunkt i avstand  $r = 4.0$  m fra karusellens sentrum. Hvor stor er denne kraften umiddelbart etter at karusellen har startet?

- A) 0.3 kN      B) 2.3 kN      C) 4.3 kN      D) 6.3 kN      E) 8.3 kN

8) Hvor mange omdreininger har karusellen snurret i løpet av en karuselltur, dvs fra  $t = 0$  til  $t = T = 120$  s? (Tips:  $\omega = d\phi/dt$ .)

- A) 2.8      B) 3.8      C) 4.8      D) 5.8      E) 6.8



En masse  $M = 3.0$  kg ligger på et bord og er via ei tilnærmet masseløs snor og trinse bundet sammen med en masse  $m = 1.0$  kg, som vist i figuren. Oppgavene 9 og 10 handler om dette oppsettet.

9) Anta at  $m$  og  $M$  holdes i ro med stram snor, hvoretter  $m$  slippes forsiktig. Hvor stor må statisk friksjonskoeffisient  $\mu_s$  mellom  $M$  og bordet minst være for at  $m$  og  $M$  skal forbli i ro?

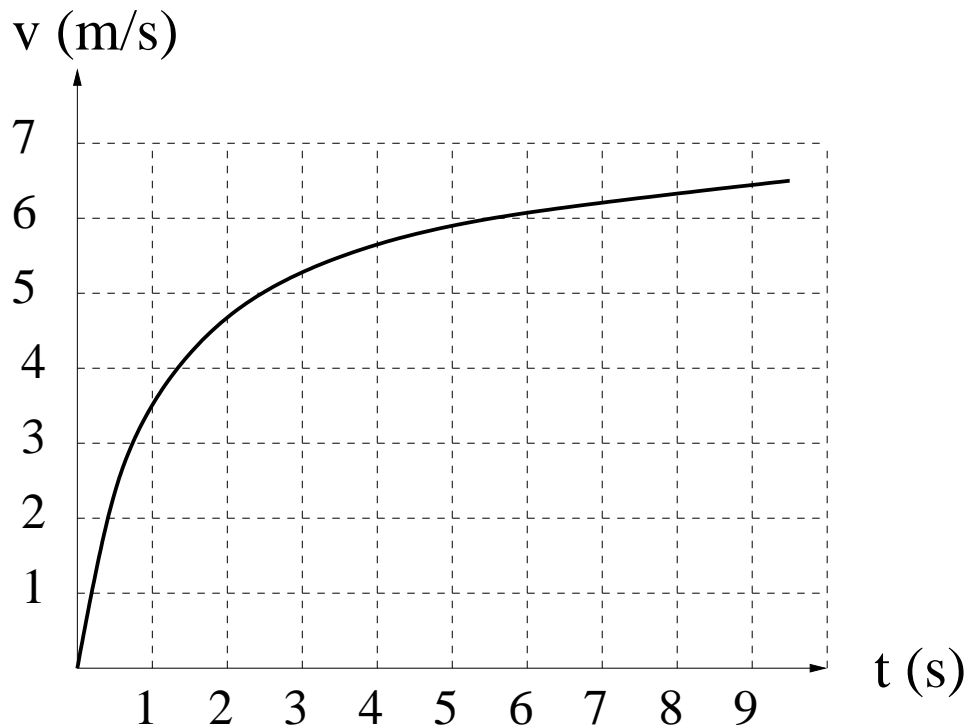
- A)  $\mu_s \geq 0.11$       B)  $\mu_s \geq 0.33$       C)  $\mu_s \geq 0.55$       D)  $\mu_s \geq 0.77$       E)  $\mu_s \geq 0.99$

10) Anta nå at friksjon mellom  $M$  og bordet kan neglisjeres. Massen  $m$  holdes i ro 50 cm over gulvet, med stram snor, og slippes forsiktig. Hva er hastigheten til  $m$  og  $M$  i det  $m$  treffer gulvet?

- A) 1.6 m/s      B) 2.1 m/s      C) 2.6 m/s      D) 3.1 m/s      E) 3.6 m/s

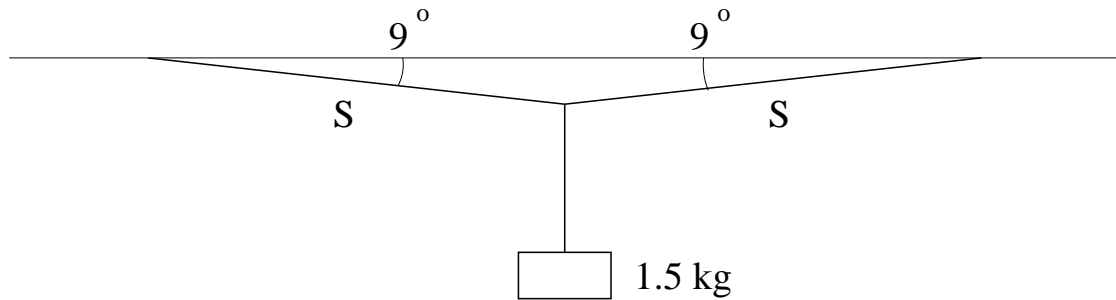
11) En liten kloss glir med konstant hastighet nedover et skråplan med helningsvinkel  $13^\circ$ . Hvor stor er den kinetiske friksjonskoeffisienten mellom klossen og skråplanet? (Luftmotstand kan neglisjeres.)

- A) 0.08      B) 0.13      C) 0.18      D) 0.23      E) 0.28



12) Grafen viser hastighet  $v$  (m/s) som funksjon av tid  $t$  (s) for en person som beveger seg langs en rett vei. Omtrent hvor langt har personen forflyttet seg i løpet av de 9 sekundene, fra  $t = 0$  til  $t = 9$  s?

- A) ca 5 m      B) ca 15 m      C) ca 25 m      D) ca 35 m      E) ca 45 m



13) Ei kasse med masse 1.5 kg er hengt opp i tilnærmet masseløse snorer som vist i figuren. De to snorene som er festet i taket danner begge en vinkel  $9^\circ$  med horisontalen. Hva er snordraget  $S$  i hver av disse to snorene?

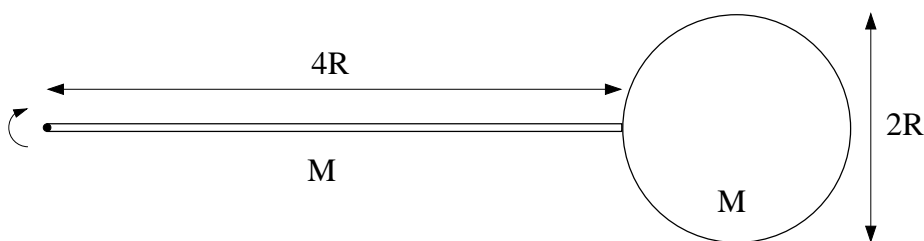
- A)  $S = 27 \text{ N}$       B)  $S = 47 \text{ N}$       C)  $S = 67 \text{ N}$       D)  $S = 87 \text{ N}$       E)  $S = 107 \text{ N}$

14) En bordtennisball med masse 2.7 g faller mot gulvet med konstant hastighet 9.0 m/s. Med andre ord, ballen har oppnådd såkalt terminalhastighet på grunn av luftmotstand. Anta at luftmotstanden er (i absoluttverdi) proporsjonal med kvadratet av ballens hastighet,  $f = bv^2$ . Hvor stor er koeffisienten  $b$ ?

- A)  $b = 3.3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}$       B)  $b = 6.6 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}$       C)  $b = 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$   
 D)  $b = 6.6 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$       E)  $b = 3.3 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}$

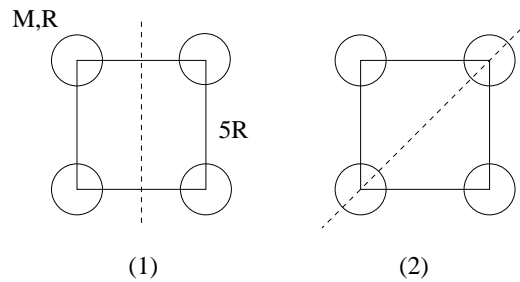
15) Bordtennisballen i oppgave 14 ble sluppet (med null startfart) fra en høyde 35 m over gulvet. Hvor stor andel av ballens mekaniske energi har gått tapt pga luftmotstand i det ballen treffer gulvet?

- A) 67%      B) 74%      C) 81%      D) 88%      E) 95%



16) Ei tynn, jevntykk stang har lengde  $4R$  og masse  $M$ . I enden av stanga er det festet ei kompakt kule med radius  $R$  og masse  $M$ . Hva er treghetsmomentet  $I$  til stang og kule, om en akse normalt på stanga gjennom stangas andre ende (som vist i figuren)? (Tips: Steiners sats. Se formelvedlegg for treghetsmoment mhp legemers massesenter.)

- A)  $I \simeq 3MR^2$       B)  $I \simeq 10MR^2$       C)  $I \simeq 17MR^2$       D)  $I \simeq 24MR^2$       E)  $I \simeq 31MR^2$

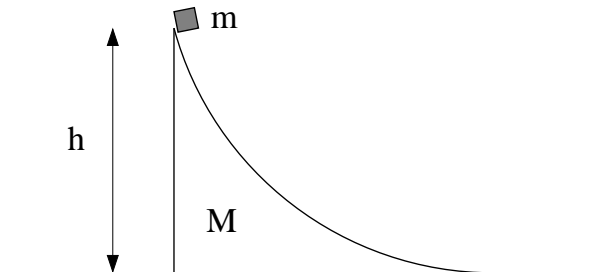


17) Fire kuleskall, hver med masse  $M$  og radius  $R$ , er bundet sammen med masseløse stenger, hver med lengde  $5R$ , slik at de danner et kvadrat, som i figuren over. Hva er systemets treghetsmoment  $I_1$  mhp den stiplede akse som går gjennom sentrum av to av stengene, som i (1) i figuren?

- A)  $I_1 = 46MR^2/3$       B)  $I_1 = 64MR^2/3$       C)  $I_1 = 83MR^2/3$   
D)  $I_1 = 101MR^2/3$       E)  $I_1 = 119MR^2/3$

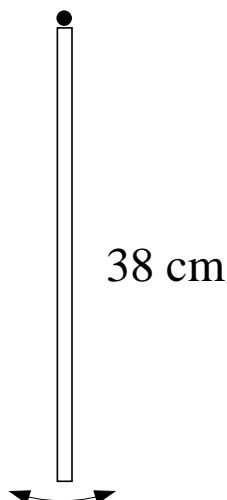
18) Hva er systemets treghetsmoment  $I_2$  mhp den stiplede akse som går diagonalt og gjennom sentrum av to av de fire kuleskallene, som i (2) i figuren over?

- A)  $I_2 = 46MR^2/3$       B)  $I_2 = 64MR^2/3$       C)  $I_2 = 83MR^2/3$   
D)  $I_2 = 101MR^2/3$       E)  $I_2 = 119MR^2/3$



19) En liten kloss med masse  $m$  starter med null starthastighet fra en høyde  $h$  over underlaget og glir uten friksjon nedover et skråplan med masse  $M$ . Skråplanet ligger på et friksjonsfritt underlag. Den lille klossen forlater skråplanet i horisontal retning. Hva er nå *skråplanets* hastighet  $V$ ? (Tips: Bevaringslover.)

- A)  $V = \sqrt{2mgh/(M + M^2/m)}$       B)  $V = \sqrt{2mgh/M}$       C)  $V = \sqrt{2Mgh/m}$   
D)  $V = \sqrt{2mgh/(M + m)}$       E)  $V = \sqrt{2Mgh/(M + m)}$



20) En tynn, jevntykk stav med lengde 38 cm svinger fram og tilbake om en aksling i stavens ende, med små utsving fra likevekt. Hva er denne (fysiske) pendelens svingetid (periode)?

- A) 0.6 s      B) 1.0 s      C) 1.4 s      D) 1.8 s      E) 2.2 s

Foucaultpendelen i Realfagbygget kan med svært god tilnærming betraktes som en matematisk pendel med lengde  $L = 25$  m. Metallkula som svinger fram og tilbake med små utsving fra likevekt, har masse  $M = 40$  kg. Kulas maksimale horisontale utsving fra likevekt er  $x_0 = 1.0$  m. Oppgavene 21 – 25 omhandler denne pendelen.

21) Hva er pendelens frekvens? (Se her bort fra damping.)

- A)  $f = 0.01$  Hz      B)  $f = 0.1$  Hz      C)  $f = 1.0$  Hz      D)  $f = 10$  Hz      E)  $f = 100$  Hz

22) Metallkulas maksimale hastighet er 0.63 m/s. Hva er det maksimale snordraget?

- A) 293 N      B) 393 N      C) 493 N      D) 593 N      E) 693 N

23) Ved maksimalt utsving fra likevekt danner pendelen en vinkel  $\theta_0$  med vertikalen (loddlinjen). Hvor stor er vinkelen  $\theta_0$ , målt i radianer?

- A) 0.01      B) 0.02      C) 0.03      D) 0.04      E) 0.05

---

24) Pendelbevegelsen er i realiteten svakt dempet, og konstant vinkelamplitude  $\theta_0$  opprettholdes ved at metallkula hele tiden får en liten ”dytt” i bevegelsesretningen. La oss (ikke helt realistisk) anta at luft strømmer laminært rundt metallkula, og at luftmotstanden (friksjonskraften) kan skrives på formen  $f = -bv$ , der  $v$  er kulas hastighet, og  $b = 6.0$  g/s. Anta at strømmen blir borte midt på natta, slik at metallkula ikke lenger får den lille ytre ”dytten” som opprettholder vinkelamplituden  $\theta_0$ . Hvor mange timer tar det før vinkelamplituden er redusert til  $\theta_0/5$ ?

- A) ca 3      B) ca 4      C) ca 5      D) ca 6      E) ca 7
- 

25) Kula har diameter 20 cm. Hva er kulas massetetthet? Anta uniform massefordeling.

- A)  $5.5 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>      B)  $7.5 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>      C)  $9.5 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>  
D)  $11.5 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>      E)  $13.5 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>
- 

26) Lydhastigheten i luft er 340 m/s en fin sommerdag, med 20 varmegrader. Hva er da lydhastigheten i luft en mild vinterdag, med null grader celsius? (Null grader celsius tilsvarer 273 K.)

- A) 316 m/s      B) 328 m/s      C) 340 m/s      D) 352 m/s      E) 364 m/s
- 

27) En høyttaler sender ut lyd med samme intensitet i alle retninger. Lydtrykksnivået er 70 dB i avstand 15 m fra (sentrum av) høyttaleren. Hva er da lydtrykksnivået i avstand 5 m fra (sentrum av) høyttaleren?

- A) 60 dB      B) 65 dB      C) 70 dB      D) 75 dB      E) 80 dB
- 

28) Strengene på en cello måler 700 mm mellom *stol* og *sadel*, dvs de to stedene der strengen er fast, med null utsving. Anta at A-strengen har masse pr lengdeenhet 1.9 g/m og skal stemmes slik at grunntonen har frekvens 220 Hz. Med hvor stor strekk-kraft må da A-strengen strammes?

- A) 90 N      B) 120 N      C) 150 N      D) 180 N      E) 210 N
- 

29) Et tynt rør som er åpent i en ende og lukket i den andre, har en grunntone med frekvens 55 Hz. Hvor langt er røret? (Lydhastigheten i luft er 340 m/s.)

- A) 1.55 m      B) 1.66 m      C) 1.77 m      D) 1.88 m      E) 1.99 m
-

---

30) Hva er frekvensen til første overtone (nest laveste resonansfrekvens) i røret i oppgave 29?

- A) 45 Hz      B) 75 Hz      C) 105 Hz      D) 135 Hz      E) 165 Hz
- 

31) En plan, harmonisk lydbølge med utsving  $\xi(\mathbf{r}, t) = \xi_0 \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)$  har bølgetallsvektor med komponenter  $k_x = k_y = 0.80 \text{ m}^{-1}$  og  $k_z = 1.60 \text{ m}^{-1}$ . Hva er bølgelengden  $\lambda$ ?

- A)  $\lambda = 1.21 \text{ m}$       B)  $\lambda = 2.21 \text{ m}$       C)  $\lambda = 3.21 \text{ m}$       D)  $\lambda = 4.21 \text{ m}$       E)  $\lambda = 5.21 \text{ m}$
- 

32) Den plane lydbølgen i oppgave 31 forplanter seg i en retning som danner en vinkel  $\alpha$  med  $z$ -aksen. Hvor stor er vinkelen  $\alpha$ ?

- A)  $\alpha = 25^\circ$       B)  $\alpha = 35^\circ$       C)  $\alpha = 45^\circ$       D)  $\alpha = 55^\circ$       E)  $\alpha = 65^\circ$
- 

33) En plan, harmonisk lydbølge med frekvens  $f = 2200 \text{ Hz}$  og utsvingsamplitude  $\xi_0 = 0.05 \mu\text{m}$  forplanter seg i vann, der massetettheten er  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$  og bulkmodulen  $B = 2.2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ . Hva er intensiteten  $I$  i lydbølgen?

- A)  $I = 0.35 \text{ W/m}^2$       B)  $I = 1.35 \text{ W/m}^2$       C)  $I = 2.35 \text{ W/m}^2$   
D)  $I = 3.35 \text{ W/m}^2$       E)  $I = 4.35 \text{ W/m}^2$
- 

34) En gaussformet transversal bølgepuls propagerer i positiv  $x$ -retning på en streng der strekk-kraften er  $S = 25 \text{ N}$ . Ved tidspunktet  $t = 0$  har bølgepulsen maksimalt utsving ved  $x = 0$  og kan beskrives med funksjonen

$$y(x) = y_0 \exp(-x^2/a^2),$$

med amplitude  $y_0 = 2.5 \text{ mm}$  og romlig utstrekning bestemt av parameteren  $a = 7.5 \text{ cm}$ . Hva er bølgepulsens totale energi  $E$ ?

Tips:

Energi pr lengdeenhet:  $\varepsilon(x) = S(dy/dx)^2$ .      Energi mellom  $x$  og  $x + dx$ :  $dE = \varepsilon(x) dx$ .

Potensielt (men ikke absolutt?) nødvendig integral: se formelvedlegg.

- A)  $E = 2.6 \text{ mJ}$       B)  $E = 0.26 \text{ J}$       C)  $E = 26 \text{ J}$       D)  $E = 0.26 \text{ kJ}$       E)  $E = 2.6 \text{ kJ}$
- 

35) Justin og Usain har hver sin sirene som genererer lyd med frekvens  $600 \text{ Hz}$ . De kan begge løpe med hastighet opptil  $12 \text{ m/s}$ . På en vindstille dag, med brukbar temperatur, slik at lydhastigheten i luft er  $340 \text{ m/s}$ , hvilket frekvensområde kan de få til å høre ved optimal utnyttelse av dopplereffekten?

- A)  $519 - 684 \text{ Hz}$       B)  $539 - 664 \text{ Hz}$       C)  $559 - 644 \text{ Hz}$       D)  $579 - 624 \text{ Hz}$       E)  $599 - 604 \text{ Hz}$
-



---

36) En fiolin er skikkelig ustemt, og A-strengens grunntone er bare 433 Hz, mens den egentlig skal være 440 Hz. Med hvor mange prosent må strekk-kraften  $S$  økes? (Tips: Bestem  $\Delta S/\Delta f \simeq dS/df$ , og dermed  $\Delta S/S$ .)

- A) ca 1%      B) ca 3%      C) ca 5%      D) ca 7%      E) ca 9%
- 

37) Laserlys (plane harmoniske elektromagnetiske bølger) med bølgelengde 500 nm sendes normalt inn mot et diffraksjonsgitter med 500 smale spalter pr mm. Laserlyset som slipper gjennom, treffer en vegg i avstand 500 cm fra diffraksjonsgitteret. Hvor stor er avstanden på veggen mellom 0. ordens intensitetsmaksimum og 1. ordens maksimum (lik på begge sider av 0. ordens maksimum)?

- A) 0.13 mm      B) 1.5 mm      C) 2.2 cm      D) 27 cm      E) 129 cm
- 

38) To små identiske høyttalere står rett ved siden av hverandre og sender ut harmoniske lydbølger i fase, med lik frekvens, og hver av dem med lik intensitet i alle retninger. En mikrofon er plassert i lik avstand fra hver av de to høyttalerne, slik at vi der oppnår konstruktiv interferens. Med bare den ene høyttaleren koblet til signalgeneratoren måles et lydtrykksnivå 70 dB ved mikrofonen. Hvor høyt lydtrykksnivå måler mikrofonen med begge høyttalerne koblet til signalgeneratoren?

- A) 76 dB      B) 84 dB      C) 92 dB      D) 140 dB      E) 280 dB
- 

39) Et jordskjelv på havbunnen forstyrrer vannmassene og skaper en bølgepakke på havoverflaten med bølgelengder omkring 50 km. Vanndybden på stedet er 1 km. Hva er bølgepakkens hastighet (dvs gruppehastigheten)? (Tips: Vurder om dette er dypt eller grunt vann.)

- A) 39 m/s      B) 59 m/s      C) 79 m/s      D) 99 m/s      E) 119 m/s
- 

40) En båt kjører på et vann der vanndybden er 2 m, og skaper en bølgepakke på overflaten med bølgelengder omkring 2 m. Hva er bølgepakkens hastighet (dvs gruppehastigheten)? (Tips: Vurder om dette er dypt eller grunt vann.)

- A) 0.1 m/s      B) 0.5 m/s      C) 0.9 m/s      D) 1.3 m/s      E) 1.7 m/s
-

---

41) I likhet med Jorda går Venus i tilnærmet sirkulær bane rundt Sola. Midlere avstand fra Sola til Jorda er 150 millioner km, eller 150 Gm. Omløpstida til Jorda er som kjent et år, mens omløpstida for Venus i banen rundt Sola er 0.615 år. Hva er da Venus' midlere avstand til Sola?

(Tips: Keplers 3. lov.)

- A) 108 Gm      B) 128 Gm      C) 148 Gm      D) 168 Gm      E) 188 Gm
- 

42) Venus' masse er 0.815 ganger Jordas masse, og Venus' volum er 0.866 ganger Jordas volum. Hva er da tyngdens akselerasjon på overflaten av Venus? ( $g$  er tyngdens akselerasjon på overflaten av Jorda.)

- A) 0.50  $g$       B) 0.70  $g$       C) 0.90  $g$       D) 1.10  $g$       E) 1.30  $g$
- 

43) Hvor høyt over Jordas overflate må en satellitt befinne seg for at tyngdens akselerasjon på stedet skal være  $g/4$ ? ( $g$  er tyngdens akselerasjon på overflaten av Jorda; Jordradien er 6370 km.)

- A) 889 km      B) 1492 km      C) 3327 km      D) 4863 km      E) 6370 km
- 

44) En partikkel med masse  $m$  har hastighet  $0.20c$ . Hva må partikkelens hastighet være dersom dens relativistiske impuls skal bli dobbelt så stor?

- A)  $0.36c$       B)  $0.38c$       C)  $0.40c$       D)  $0.42c$       E)  $0.44c$
-

---

45) To romskip, A og B, har hastighet  $0.90c$  i henholdsvis negativ og positiv  $x$ -retning, målt av deg. Hva er da hastigheten til romskip B, målt av en astronaut i romskip A?

- A)  $0.87c$       B)  $0.90c$       C)  $0.93c$       D)  $0.96c$       E)  $0.99c$
- 

46) En relativistisk partikkel har total energi 6 GeV og impuls 5 GeV/ $c$ . Hva er partikkelens masse?

- A)  $2.9 \cdot 10^{-27}$  kg      B)  $3.9 \cdot 10^{-27}$  kg      C)  $4.9 \cdot 10^{-27}$  kg      D)  $5.9 \cdot 10^{-27}$  kg      E)  $6.9 \cdot 10^{-27}$  kg
- 

47) Protoner, med masse  $m_p$ , akselereres av en elektrisk spenning slik at de oppnår en kinetisk energi 800 MeV. Hva er protonenes hastighet  $v$ ?

- A)  $v = 0.84c$       B)  $v = 0.87c$       C)  $v = 0.90c$       D)  $v = 0.93c$       E)  $v = 0.96c$
- 

48) En relativistisk partikkel har masse  $m$  og kinetisk energi  $mc^2$ . Hva er partikkelens impuls?

- A)  $mc$       B)  $\sqrt{2}mc$       C)  $\sqrt{3}mc$       D)  $2mc$       E)  $\sqrt{5}mc$
- 

49) To hendelser inntreffer på samme sted, med 4.5 ns mellomrom i inertialsystem  $a$ . I et annet inertialsystem  $b$  inntreffer disse to hendelsene med 7.5 ns mellomrom. Hvor langt er det mellom de to hendelsene i inertialsystem  $b$ ? (De to inertialsystemene er i rettlinjet bevegelse langs samme akse.)

- A) 1.8 mm      B) 1.8 m      C) 1.8 km      D) 1.8 Mm      E) 1.8 Gm
- 

50) Hvor fort må du reise radielt bort fra jorda for at en blå LED-lampe med bølgelengde 400 nm skal bli usynlig? (Synlig lys har bølgelengder mellom 400 og 700 nm.)

- A)  $0.11c$       B)  $0.31c$       C)  $0.51c$       D)  $0.71c$       E)  $0.91c$
-

