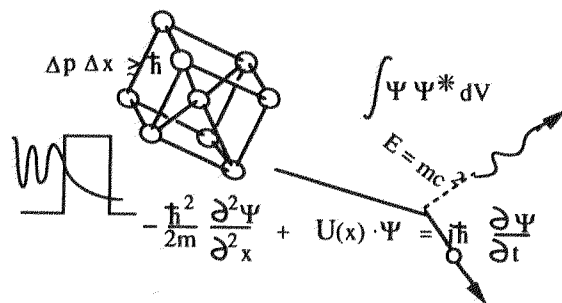


ÖVNINGS- EXEMPEL

FYSIK DEL A FÖR E2

- C. TERMISK FYSIK
- D. VÄGRÖRELSELÄRA, OPTIK
- E. BOHRS ATOMMODELL
- F. DE BROGLIE-VÅGOR
- G. GRUNDLÄGGANDE KVANTMEKANIK
- H. ENELEKTRONATOMER
- I. ZEEMANEFFEKT. STERN-GERLACHS FÖRSÖK
- J. FLERELEKTRONSYSTEM
- Q. STATISTISK MEKANIK



TERMISK FYSIK

Termisk utvidgning

- C1 Pendeln på en Mora-klocka är 1.0000 m lång, vid 0.0° C och tillverkad av aluminium. Hur mycket ändras pendelns längd om temperaturen ändras från 25.0° C till 40.0° C? Om klockan är justerad för att visa rätt tid vid 25.0° , hur stor kommer avvikelserna att vara från korrekt tid efter 1 vecka i 40.0° C temperatur?
- C2 En aluminiumkolv placeras koncentriskt i en stålcyllinder med innerdiametern 10.00 cm. Gapet mellan kolv och cylinder vid 20.0 °C är $1.25 \cdot 10^{-2}$ cm. Vid vilken temperatur har gapet försvunnit? ($\alpha_{\text{stål}} = 12 \cdot 10^{-6}$, $\alpha_{\text{Al}} = 24 \cdot 10^{-6}$.)
- C3 Beräkna det arbete som utföres av 10.00 kg vatten då det värms från 0.0° C till 50.0° C vid konstant tryck 1.000 atm. Tätheten för vatten vid 0.0° är 999.9 kg/m³ och vid 50° C 988.07 kg/m³. Bortse från förångning.

Allmänna gaslagen

- C4 Ett långt (ca 1.5 m) smalt glaströr är tillsmält i båda ändar. I horisontellt läge är rörets ena ända fullständigt utfylld med kvicksilver, medan den andra ändan upptas av en viss mängd torr luft. Då röret reses upp noterar man, att från den vinkel då kvicksilvret "släppt" i sin ända - dvs då vakuum bildas ovanför kvicksilvret förblir vertikalprojektionerna h av luftpelaren konstant. Visa att Boyles lag gäller!
- C5 Beräkna molekylensitet (antal m⁻³) i en ideal gas vid temperaturen 273 K och trycket
a) 1.00 bar b) $1.00 \cdot 10^{-6}$ torr
- C6 10^{-10} torr är trycknivåer som förekommer inom modern forskning. Beräkna hur många molekyler det finns på 1 cm³ vid denna trycknivå och om rumstemperatur föreligger. Antag ideal gas.
- C7 Ett rör, 1.20 m långt, som är slutet i ena ändan fylls till hälften med kvicksilver och vändes sedan upp och ned medan den öppna änden hela tiden är under ytan i ett stort bad med kvicksilver. Atmosfärstrycket är 750 mm Hg. Bestäm kvicksilverpelarens höjd.

Kinetisk gasteori

- C8 Beräkna kollisionssannolikheten (uttryckt i antal kollisioner per sekund) för en molekyll (med andra molekyler) vars diameter är d , då medelhastigheten $\langle v \rangle$ och trycket p är givna. $T = 273$ K. Beräkna även den fria medelväglängden mellan kollisioner
- a) $p = 1.0$ atm b) $p = 1.00 \cdot 10^{-5}$ torr
 $d = 4.0 \cdot 10^{-10}$ m $d = 4.00 \cdot 10^{-10}$ m
 $\langle v \rangle = 5.0 \cdot 10^2$ m.s-1 $\langle v \rangle = 5.00 \cdot 10^2$ m.s-1
- C9 En wolframtråd befinner sig i ett evakuerat kärl, där syrets partialtryck är $1.0 \cdot 10^{-4}$ torr och temperaturen 300 K. Efter hur lång tid har 10 % av wolframytan belagts med ett monomolekylärt lager av syre, om det antas att varje syremolekyl som träffar trådens yta adsorberas och ingår i det monomolekylära skiktet? Syremolekylens diameter kan sättas $= 3.3$ Å.
- C10 Till vilket tryck skall en behållare med syrgas evakueras för att molekyllernas medelväglängd skall uppgå till 20 cm? Temperaturen är 57°C . Syremolekylen kan betraktas som en sfär med diametern $3 \cdot 10^{-8}$ cm.
- C11 Beräkna den totala kinetiska energin hos molekyllerna i 1 liter av en ideal gas vid 25°C och 2 atm tryck.
- C12 Trycket i ett vakuumkärl med volymen 2 liter är $1 \cdot 10^{-3}$ mm kvicksilver. Det yttre trycket är 1 atm och temperaturen 27°C . Genom ett litet hål med arean $1.0 \cdot 10^{-10}$ cm² läcker luft in i kärlet. Beräkna tryckökningen i kärlet en timme efter läckans uppkomst. Det antages att varje molekyl som träffar läckan passerar in i kärlet. Läckningen ut ur kärlet försummas. Luftmolekyllernas medelhastighet kan vid den ifrågakarande temperaturen sättas till 468 m/s.
- C13 Ett kärl med volymen 2 V har en tunn skiljevägg så insatt att volymen är delad i två lika stora delar. Den vänstra volymen innehåller en idealgas vid trycket p_0 och den högra volymen är från början evakuerad. Ett litet hål med arean S stickes i skiljeväggen. Härled ett uttryck för trycket p_1 på den vänstra sidan som funktion av tiden. Antag att temperaturen är konstant och lika på bägge sidor av skiljeväggen. Uttryck svaret i S , V , p_0 och molekyllernas medelhastighet $\langle v \rangle$.

C14

En sfärisk behållare med 10 cm radie hålles vid temperaturen 27°C frånsett en yta på 1 cm², som hålles vid en mycket låg temperatur. Behållaren innehåller vattenånga vid ett ursprungligt tryck av 10 mm Hg. Om man antar att varje molekyl som träffar den kalla ytan kondenserar och stannar på denna, hur lång tid krävs för att trycket i behållaren skall minska till $1 \cdot 10^{-4}$ mm kvicksilver? Molekyllernas medelhastighet kan vid den ifrågakarande temperaturen sättas till 595 m/s.

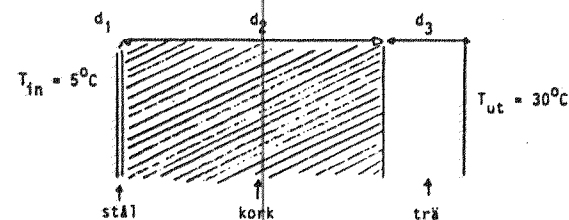
Värmetransport

C15

En metalltråd med resistansen 0.1 ohm per cm ligger innesluten längs axeln på ett cylindriskt cementrör med radierna 0.05 cm och 0.1 cm. En ström på 5 A genom tråden ger vid stationärt tillstånd en temperaturskillnad på 125°C mellan rörets inre och yttre yta. Beräkna cementens värmekonduktivitet.

C16

Ett kylrum är under byggnad och den sista väggen skall just sättas upp. De övriga väggarna är konstruerade enligt figuren nedan. Man finner till sin fasa att korken har tagit slut. Hellre än att vänta lämnar arbetarna ett utrymme fyllt av luft där korken skulle ha varit. Luftutrymmet är 8 cm tjockt. Beräkna skillnaden i värmeläckage per m² mellan en vägg som är konstruerad med kork resp luft. $Q_{\text{läck}} = 10$ W/m², för korkväggen $\lambda_{\text{luft}} = 2.3 \cdot 10^{-2}$ W/m²°C, $\lambda_{\text{stål}} = 8.3$ W/m²°C, $\lambda_{\text{trä}} = 0.15$ W/m²°C, $d_1 = 1.0$ mm, $d_2 = 8.0$ cm, $d_3 = 3.0$ cm. Antag perfekt termisk kontakt överallt.



C17

Hur mycket värme leds under 24 timmar genom en glasruta med arean 1.50 m² och tjockleken 4 mm om ytttemperaturen är -15°C och innertemperaturen är $+20^\circ\text{C}$? ($\lambda = 0.9$ W/mK).

- C18 Ytorna av en utsträckt, planparallell platta hålls vid temperaturen 0.0°C och 100°C respektive. Plattmaterialets värmekonduktivitet växer lineärt med temperaturen. Tillväxten uppgår för varje grads temperaturökning till 2 % av värmeledningsförmågan vid 0°C . Beräkna temperaturen i ett plan mitt emellan sidytorna.
- C19 En jämntjock och homogen metalltråd av 50 cm längd och 8 mm diameter är synnerligen väl värmeisolerad på så sätt att värme blott kan bortgå genom trådens ändtor. Hur stark elektrisk ström bör flyta genom tråden för att vid stationärt tillstånd mittpunkten på tråden skall vara 1° varmare än ändytorna? Resistiviteten $= 1.7 \cdot 10^{-8} \text{ ohm.m}$, metallens värmekonduktivitet $= 385 \text{ W/m.K}$.
- C20 För att hålla konstant temperatur 90.0°C i en varmvattenberedare då denna är fylld med 10.0 m^3 vatten krävs en tillförd effekt av 8.00 kW. Omgivningens temperatur är konstant 20.00°C . Ge ett uttryck för vattentemperaturen som funktion av tiden från det ögonblick då strömtillförseln bryts. Beräkna "halveringstiden" för temperaturflödet, dvs den tid efter vilken vattentemperaturen sjunkit till 55°C ($= 20^\circ + 1/2 \cdot (90^\circ - 20^\circ)$). Avslutningsvis ett kriminologiskt problem: Beräkna den tidpunkt vid vilken strömmen måste ha brutits, om man kl 13.40 konstaterar att vattentemperaturen är 81.2°C medan precisionstermostaten var inställd på 90.0°C . Vattnets värmekapacitivitet är $4.18 \cdot 10^3 \text{ J per kg och grad}$.
- C21 I debatten om alternativa energikällor har föreslagits att utnyttja jordskorpan temperatur på stort djup för att förångna vatten. Vattenånga skulle därefter driva turbingeneratorer. Om vi antar att man för driften av en turbin behöver 36 ton ånga per timme och därför vid ett djup där temperaturen är 400°C som "boiler" vill ta upp ett sfäriskt hålrum, så måste detta ha någon minsta radie R för att tillräckligt mycket ånga vid 100°C skall bildas. Det tillförda vattnets temperatur är 20°C . Ångbildningsvärmes är $2.26 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$. $\lambda_{\text{jordskorpan}} = 6.28 \text{ W/mK}$. Beräkna R!
- C22 Tio liter ideal gas vid 1.00 atm 0.00°C expanderar reversibelt vid konstant temperatur till en volym av 100 liter. Gasen värms därefter vid konstant volym tills gasen ånyo antagit trycket 1.00 atm. Beräkna W, Q, ΔU och den nya temperaturen: $C_v = 3/2 R$.

- C23 En enatomig ideal gas upptar en volym av 4.0 m^3 vid ett tryck av 8.0 atm och en temperatur av 400 K. Gasen expanderar till ett sluttryck av 1.0 atm. Beräkna slutvolymen och temperaturen, det uträttade arbetet, den absorberade värmen och ändringen i inre energi vid var och en av de följande processerna
a) expansionen är reversibel och isoterm
b) expansionen är reversibel och adiabatisk.
- C24 2.00 moler av en ideal gas, som ursprungligen befinner sig vid 100°C , får utvidga sig reversibelt adiabatiskt, tills volymen fördubblats. Vid den temperaturen som gasen då får, komprimerar man den isotermiskt till den ursprungliga volymen, varunder gasen befinner sig i ett termostatbad. Därvid upptar badet från gasen ett kompressionsvärme, som befinnes vara 2700 Ws. Beräkna C_p/C_v för gasen.
- C25 Temperaturen i ett kylskåp är 0.0°C och temperaturen i rummet där kylskåpet är placerat är 25°C . Den värmemängd som per dygn måste pumpas bort av kylmaskinen för att hålla kylskåpet kallt är $8.0 \cdot 10^6 \text{ Ws}$. Om en Carnot's kylmaskin (den normala Carnotprocessen med omvänd omloppsriktning) vore tillgänglig och arbetade mellan temperaturerna 0.0°C och 25°C , hur stor effekt skulle erfordras för att driva maskinen?
- C26 Förloppet i en fyrtakts förbränningsmotor kan idealiseras som en kretsprocess, Otto-processen, i vilken luft först komprimeras adiabatiskt från volymen V_1 till volymen V_2 för att sedan uppvärmas vid konstant volym. Därefter följer en adiabatisk expansion från V_2 till V_1 , varpå luften slutligen avkyles vid konstant volym tills begynnelsestillståndet har uppnåtts. Härled ett uttryck för beräkning av verkningsgraden om kompressionsförhållandet V_1/V_2 är känt. Beräkna sedan verkningsgraden för en Ottoprocess, där $V_1 = 1.50 \text{ liter}$ och $V_2 = 0.10 \text{ liter}$. För luft gäller $C_p/C_v = 1.40$.

2:a huvudsatsen

- C27 1.0 kg vatten vid 0.0° C bringas i kontakt med en stor värmereservoar vid 100°C. Beräkna den totala entropiändringen för systemet (vatten + reservoar) när vattnet har uppnått en temperatur av 100°C. För vatten är $c = 4.18 \text{ kWs/kg K}$ och kan antagas vara oberoende av temperaturen.
- C28 1.0 mol syrgas expanderar fritt vid temperaturen 20° C från volymen 5.0 liter till en volym av 10.0 liter. Gasen kan betraktas som en ideal gas. Beräkna
a) entropiändringen hos syrgasen
b) entropiändringen hos syrgasen och dess omgivningar (=totala entropiändringen).
- C29 Ett 20 ohms motstånd för en konstant ström på 10 A och hålles vid en konstant temperatur av 27 °C med hjälp av strömmande vatten. Beräkna den totala entropiändringen per sekund samt motståndets entropiändring per sekund.
- C30 Ett termiskt isolerat 20 ohms motstånd för en ström på 10 A under 1 sekund. Om motståndets begynnelse-temperatur är 10° C, dess massa 5 g och dess specifika värme 850 Ws/kg, grad vad blir då ändringen i entropi hos motståndet?
- C31 Beräkna entropiändringen då 3.0 mol ideal gas ändrar tillstånd från $T_1 = 500 \text{ K}$, $p_1 = 1.00 \text{ atm}$ till $T_2 = 300 \text{ K}$, $p_2 = 10.0 \text{ atm}$.
- C32 Beräkna den totala entropiändringen då 5.0 g vatten av 0.0° C överföres i ånga av 100° C och trycket 760 mm Hg.

Blandade uppgifter, termisk fysik

- C33 Beräkna medelvärde av kinetiska translationsenergin hos en gasmolekyl vid 300 K. Beräkna den hastighet en helium- respektive en kvävemolekyl måste ha för att erhålla denna kinetiska energi. Gör samma beräkningar vid 3000 K.
- C34 Neutronflödet i det inre av Studsviksreaktorn är $8.0 \cdot 10^{13} \text{ neutroner cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Neutronerna är "termiska", dvs i termisk jämvikt med sin omgivning, vars temperatur är 300 K. Beräkna neutrongasens "partialtryck".

- C35 a) Beräkna stöttalet för en ideal gas vid temperaturen 273 K och trycket $1.00 \cdot 10^{-3} \text{ torr}$ då molekylnas medelhastighet $\langle v \rangle$ är $5.00 \cdot 10^2 \text{ m/s}$
b) Hur lång tid skulle det ta för att bilda ett monomolekylärt skikt på en metallyta, om varje gasmolekyl som nådde ytan adsorberades och därvid ockuperade en area $1.00 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^2$?
- C36 I ett kylskåp befinner sig 50.0 kg is vid 0.00° C då strömmen bryts på grund av uteblivna elavgifter. Hur lång tid efter avstängningen kan räkningen betalas, om man vill att någon antydan till is skall finnas kvar i kylskåpet vid betalningstillfället? Rumstemperatur: 20.0° C. Kylskåpet är kubiskt, har innervolymen 125 l och isolerande 5.0 cm tjocka väggar av ett material vars värmekonduktivitet är $2.9 \cdot 10^{-2} \text{ W/m.K}$. Isens smältvärme är $3.34 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$. Bortse från randeffekter vid kanterna, gränsskikt etc. Beräkna därefter motsvarande tid om kylskåpets rymd istället för 125 l hade varit 1000 l. Vilken är historiens moral efter jämförelse av resultaten?
- C37 Ett kärl rymmande volymen V och med tunna väggar innehåller en gas som hålles vid konstant temperatur. Genom ett litet hål, area S , i kärlväggen läcker gasen långsamt ut. Det antages därvid att varje molekyl som träffar arean S passerar ut ur kärlet. Yttertrycket är så lågt att läckningen in i kärlet kan försummas. Beräkna tiden för att trycket i kärlet skall falla till $1/e$ av sitt begynnelsevärde. Uttryck svaret i V , S och molekylnas medelhastighet.
- C38 En gasmassa av en ideal gas får utvidga sig reversibelt-adiabatiskt, tills dess volym fördubblats, varvid temperaturen sjunker 11.2°. Försöket upprepas därpå med samma utgångstemperatur och samma utgångsvolym, men expansionen får denna gång ske reversibelt-adiabatiskt, tills volymen fördubblats. Sluttemperaturen befinnes därvid ligga 180.9° under utgångstemperaturen. Beräkna denna. Hur många atomer innehåller varje gasmolekyl?
- C39 En luftmassa får genomlöpa en kretsprocess med två adiabater, en isokor och en isobar. I begynnelsetillståndet har luften volymen 1.5 liter. Först sammantryckes luften adiabatiskt till volymen 0.1 liter. Därefter tillföres värme, så att luften vid konstant tryck utvidgar sig till 0.3 liter. Sedan får luften adiabatiskt utvidga sig till 1.5 liter. Slutligen avkyles luften vid konstant volym 1.5 liter, tills begynnelsetrycket uppnås. Beräkna verkning-graden för denna process, som motsvarar förloppet i Dieselmotorn. För att förenkla räkningarna sättes $C_p/C_v = 1.5$. Luften kan betraktas som en ideal gas.

- C40 Värmeledningsförmågan för nickel kan bestämmas på följande sätt: Ett långt, tjockväggigt rör av nickel med ytterdiametern 12 mm och innerdiametern 1.68 mm upphettas elektriskt genom att en ström på 995 A får passera längs röret. Kring mitten av det långa röret antar man att värmeflödet är helt och hållet radiellt och utåtriktat och mäter där temperaturdifferensen mellan inneryta och ytteryta med hjälp av termoelement när stationärt tillstånd inträtt. Temperaturdifferensen befinnes vara 14.5°C . Man mäter också potentialfallet mellan två punkter 10.0 mm från varandra i rørets längdriktning och centralt belägna på röret. Potentialfallet är 53.8 mV. Bestäm värmekonduktiviteten för nickel.
- C41 Frusna vattenledningsrör kan tinas upp med hjälp av elektrisk ström. Antag ett fruset vattenledningsrör med en innerdiameter av 2.50 cm och en ytterdiameter av 3.20 cm. Järnrørets resistivitet är $0.30 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$ vid 0.0°C och den termiska ledningsförmågan 65 W/m K . Värmeförlusten från rørets yttersidan under upptiningen antages vara försumbar. Beräkna temperaturen på rørets yttersidan under smältningen om en ström på 1000 A användes. Stationärt tillstånd förutsättes.
- C42 En nickeltråd med längden 130.2 cm och diametern 0.0326 cm svärts och placeras längs axeln på ett evakuerat glastrør. Tråden anslutes till en likspänningskälla, ett variabelt motstånd, en amperemeter och en voltmeter. Strømmen genom nickeltråden ökas till dess att, i det ögonblick nickeltråden just börjar smälta, amperemeteravläsningen är 20.0 A och voltmeteravläsningen 33.9 V. Om man antar att all den tillförda effekten utstrålas och att utstrålningen från glastrøret är försumbar kan nickels smältpunkt beräknas. Utför denna beräkning.
- C43 En jämntjock och homogen metalltråd uppvärms genom en konstant elektrisk ström. Värme kan endast avledas genom trådens ändtor. Vid stationärt tillstånd har en sektion A av tråden, belägen 50 mm från mitten M 7.5° lägre temperatur än mittpunkten. Potentialdifferensen mellan sektionerna A och M är 10.0 mV. Metalltrådens resistivitet $= 1.72 \cdot 10^{-8} \text{ ohm.m}$. Hur stor är trådens värmekonduktivitet?

VÅGORS FYSIK

Harmoniska svängningar

- D1 En partikel utför en enkel harmonisk svängningsrörelse med amplituden A. Om fasvinkeln är noll jämviktsläget, hur stor är fasvinkeln då den kinetiska energin är dubbelt så stor som den potentiella?
- D2 En kropp med massan 0.10 kg beskriver en enkel harmonisk svängningsrörelse med amplituden 1.0 m och perioden 20 s. Hur långt från jämviktsläget befinner sig de punkter, där kroppens kinetiska och potentiella energi är lika stora. Beräkna även svängningens totala energi.

Vågutbredning

- D3 Tabellen nedan (utdrag ur TEFYMA) visar hur brytningsindex n beror av våglängden i kolsvavla:
- | $\lambda(\text{\AA})$ | 7608 | 6593 | 5893 | 4861 | 4808 | 3968 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| n | 1.60876 | 1.61816 | 1.62769 | 1.65230 | 1.67750 | 1.69939 |
- Härled först ett samband mellan fastighet, gruppfastighet och dispersion ($dn/d\lambda$) och använd sedan detta för att beräkna grupp hastigheten vid våglängden 5500 Å.
- D4 Vid ekolodning i havet sändes korta ljudpulser mot botten, och man bestämmer den tid som förflyter innan ekot höres. Beräkna djupet, om den uppmätta tiden är 1.35 s. Vattnets temperatur är i medeltal $+4.0^\circ \text{C}$ och dess kompressionsmodul är $0.22 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$.
- D5 För elektromagnetiska vågor i en vågledare med kvadratisk tvärsnitt $a \times a$ gäller dispersionsrelationen $k = 2 \pi (f^2/c^2 - 1/4a^2)^{1/2}$ där k är vågvektorns belopp, f frekvensen och c ljushastigheten i vakuum. Härled uttryck för fashastigheten v_f resp gruppfastigheten v_g i båda fallen som funktion av frekvensen f . Använd sedan dessa uttryck tillsammans med ett allmänt villkor för energitransport (gruppfastigheten skild från noll), för att bestämma det villkor som måste gälla för frekvensen hos vågor som skall transmittas i vågledaren. Ange villkoret samt beräkna gränshastigheten då $a = 1.0 \text{ cm}$.

- D6 Vågfunktionen för vågen på en sträng kan skrivas
 $\zeta_1 = 0.0300 \cdot \sin(2.00t - 3.00x)m$
 där t och x vid insättning skall anges i s respektive m.
 a) Beräkna våglängd, (cirkulära) vågtalet, frekvens och vinkelfrekvens för vågen.
 b) Beräkna vågens fashastighet v_f .
 c) Beräkna maximala hastigheten och accelerationen för varje materiellt strängelements svängningsrörelse.

Superposition och interferens

- D7 En pianotråd med längden 0.50 m och massan 5.0 g sträcks med kraften $4.0 \cdot 10^2$ N. Med vilken kraft skall en andra, likadan pianotråd sträckas för att svävningar med frekvensen 2.0 s^{-1} skall uppfattas mellan grundtonerna?
- D8 För att bestämma avståndet mellan två närbelägna parallella spaltöppningar i en skärm belystes dessa med en ljuskälla, varvid på en annan skärm bakom den spaltförsedda och placerad parallellt med densamma iakttoogs interferensfransar (som vid försöket med Youngs dubbelspalt). Skärmavståndet $l = 4.0$ m får anses stort i förhållande till avståndet mellan spalterna; om ljus av våglängden 5000 Å användes, uppmättes i de centrala delarna av interferensbilden ett avstånd på 1.0 mm mellan mitten och närmast mörka strimma. Beräkna spaltavståndet!
- D9 En cylindrisk metallring med höjden 18.0 mm vilar på en plan glasplatta. På ringen ligger en annan likaledes plan glasskiva. Skivorna lutar obetydligt mot varandra, så att man i vinkelrätt mot skivorna infallande natriumljus ($\lambda = 5890 \text{ Å}$) ser en serie interferenslinjer. Då temperaturen hos ringen höjes 4.1° förskjutes interferensbilden 6.0 steg. Beräkna metallens längdutvidgningskoefficient!
- D10 Vid belysning av en mot en plan glasskiva anliggande tunn lins med Na-ljus uppmäter man diametrarna för två Newtonska ringar till 6.53 och 9.80 mm . Mellan dem observeras 4 ringar. Rummet mellan linsen och glasskivan är fyllt med vatten ($n = 4/3$). Beräkna linsens krökningsradie! ($\lambda = 5893 \text{ Å}$).

Diffraction

- D11 Vid försök med Fraunhoferdiffraction i en enkelspalt inföll monokromatiskt ljus vinkelrätt mot spalten. Intensitetsfördelningen för det från spalten utgående ljuset studerades på en skärm på 50 cm avstånd från spalten. Första intensitetsminimum inträffade 1.0 cm från huvudmaximum. Beräkna intensiteten 0.5 cm från maximum om den maximala intensiteten mot skärmen sättes lika med I_0 .
- D12 Genom en spalt omedelbart framför ögat ser man två små ljuskällor, som är belägna i ett plan vinkelrätt mot synlinjen och på 3000 mm avstånd från ögat. I detta plan ligger ljuskällorna på 20 mm inbördes avstånd (vinkelrätt mot spaltens längdutsäckning). Hur stor skall spaltens bredd vara för att ljuskällorna skall ha "flutit ihop" så mycket att den enas böjningsminimum faller på den andras ljusmax? Ljusbåglängden är 5500 Å .
- D13 Gult Na-ljus ($\lambda = 589 \text{ nm}$) infaller vinkelrätt mot en smal spalt och bildar ett böjningsmönster på en med spalten parallell skärm. Avståndet mellan spalten och skärmen är 2.00 m och avståndet mellan de båda minima som ligger närmast det centrala maximum är 12.0 mm .
 a) Beräkna spaltbredden.
 b) Spalten ersätts med en dubbelspalt där avståndet mellan motsvarande punkter i de båda spalterna är fyra gånger spaltvidden. På skärmen observeras nu dels ett ordinärt tvåstrålesinterferensmönster, dels ett överlagrat böjningsmönster. Beräkna hur många interferensmax som ligger inom böjningsmönstrets centrala max (dvs mellan böjningsminima på ömse sidor av centrala maximum).

Gitter

- D14 Ett plant transmissionsgitter har 4000 ritsar per cm. Beräkna vinkelskillnaden uttryckt i grader, mellan våtelinjen $H\alpha$ (våglängd 6563 Å) och $H\beta$ (våglängd 4102 Å) i andra ordningens spektrum!
- D15 Mot ett plant reflexionsgitter med 500 ritsar per mm infaller parallella strålar av natriumljus ($\lambda = 5.9 \cdot 10^{-5}$ cm) under en vinkel av 30° mot normalen, varvid man erhåller ett flertal utgående böjningsknippen av inom varje knippe parallella strålar. Beräkna vinkeln mellan normalen och det böjningsknippe, som bildar den till sitt värde största vinkeln med normalen!
- D16 Kollimerat ljus av våglängden 589.3 nm infaller vinkelrätt mot ett plant transmissionsgitter som har 250 linjer per mm. 1:a ordningens maxima används för att belysa ett med det första gittret parallellt orienterat gitter som har 500 linjer per mm. Beräkna vinklarna, relativt gitternormalen, för +1:a och -1:a ordningens maxima efter böjningen i det andra gittret.
- D17 I en gitterspektrometer iakttas Na-dubletten ($\lambda_1 = 5895.9$ Å, $\lambda_2 = 5890.0$ Å) i andra ordningen. En variabel spalt (parallell med gitterritsarna) är placerad framför gittret. Då spalten minskas till vidden 0.85 mm är dubletten nått och jämnt upplöst.
- Beräkna gitterkonstanten.
 - Vilken är minsta tillåtna spaltvidd om vi vill iakttä Na-dubletten i första ordningen?

Blandade uppgifter, vågor

- D18 Mot en glasplatta ($n = 1.52$) infaller ett knippe ljusstrålar under 45° infallsvinkel. Ytan av glasplattan är antireflexbehandlad genom beläggning med ett tunt skikt av ett transparent material ($n = 1.30$) vars tjocklek är så avpassad, att för vakuumvåglängden $\lambda = 5500$ Å det reflekterade ljuset fullständigt utsläcktes. Beräkna fasdifferensen mellan ljus, som reflekterats mot skiktets yttre yta, som reflekterats av dess inre yta, om ljusets våglängd är 4000 Å i vakuum och infallsvinkeln densamma som i förra fallet! Man kan bortse från brytningsindex' variation med våglängden.

- D19 Mellan en utsträckt ljuskälla som utsänder monokromatiskt ljus ($\lambda = 6800$ Å) och ögat befinner sig en 5.0 mm tjock planparallell glasplatta. Beräkna glasets brytningsindex om 35 mörka interferensringar för lika lutning uppträder mellan infallsvinkeln 0° och 5° .
Utnyttja approximation $(1-x)^{1/2} = 1-x/2$ för $x \ll 1$.
- D20 Kollimerat ljus från en spektrallampa som ger två linjer med våglängderna λ och $\lambda + \Delta\lambda$ (där $\Delta\lambda = 0.24$ nm) infaller vinkelrätt mot ett transmissionsgitter. Andra ordningens maxima inträffar vid 45.000° resp 45.025° . Vilken minsta effektiva bredd måste gittret ha för att linjerna skall kunna upplösas i första ordningen?
- D21 En plan sinusformad transversell vågrörelse med frekvens 6.0 Hz och fashastigheten 12 m s^{-1} har amplituden a . Vågfunktionen har värdet $0.50^{1/2} a$ vid tiden $t = 0$ i en viss punkt. Beräkna vågfunktionens värde vid $t = 0.15 \text{ s}$ i en punkt 0.75 m från den förra, räknat i vågens utbredningsriktning.
- D22 a) Visa att $\zeta(x,t) = A \cos(\omega t - \alpha)$ sink x satisfierar den endimensionella vågekvationen.
b) Vad beskriver $\zeta(x,t)$ för slags vågrörelse och vad är vågens fashastighet och gruppshastighet?
- D23 Fashastigheten för vågor i ett bestämt material ges av $v_f = C_1 + C_2\lambda$, där C_1 och C_2 är konstanter och λ våglängden. Bestäm gruppshastigheten.
- D24 Opolariserat ljus med intensiteten I_0 infaller mot en plan begränsningsyta under Brewstervinkel. Beräkna intensiteten hos det reflekterade ljuset. Brytningsindex på vardera sidan om begränsningsytan är 1 resp 1.33.
- D25 Om enfärgat, opolariserat ljus infaller under normal incidens mot ytan av ett visst genomskinligt material, reflekteras 9 % av den infallande strålningsintensiteten. Hur mycket reflekteras, om ljuset istället får infalla under polarisationsvinkeln?
- D26 Vid Youngs interferensförsök belyses två mycket smala spalter med monokromatiskt ljus av våglängden λ . Avståndet mellan spalterna är 1.00 mm och interferensbilden studeras på en skärm 200 cm från spalterna. Beräkna λ om avståndet mellan två närliggande ljusminima på skärmen är 1.00 mm.

- D27 Monokromatiskt ljus med våglängden 5893 Å infaller mot en planparallell glasplatta. Infallsvinkeln är 30°. För vilken tjocklek på plattan blir det reflekterade ljusets intensitet minimum? Glasetsbrytningsindex $n = 1.52$.
- D28 Vitt ljus infaller vid vinkelrätt infall mot en såphinna. Det reflekterade ljuset har ett interferensmaximum vid 600 nm och ett minimum vid 450 nm utan något annat minimum emellan dessa. Vad är tjockleken på hinnan om dess brytningsindex är 1.33?
- D29 En Michelsons interferometer ger cirkulära fransar. Då den ena spegeln förflyttas rör sig ringsystemet så att fransarna försvinner in i centrum. Då 850 fransar har försvunnit har spegeln förflyttats 0.3142 mm.
a) Ökar eller minskar det relativa spegelavståndet?
b) Beräkna ljusets våglängd
- D30 Vilken är den minsta meningsfulla korntätheten (uttryckt som avståndet från korn till korn) hos filmen i en kamera, då bländardiametern är 2.00 cm och objektivets brännvidd 105 mm? (Fotografering av föremål på stort avstånd förutsätts.) Ljusets våglängd kan vid beräkningen sättas lika med 550 nm!
- D31 En våg beskrivs av $s(x,t) = 0.02 \cos(5.0 t + 35 x)$. Hur stor är dess frekvens, våglängd, vågtal och fashastighet?
- D32 Antag att man kan mäta våglängder i intervallet 2000-8000 Å med noggrannheten 0.005 Å. Hur stor blir noggrannheten i bestämningen av vågtalet k uttryckt i cm^{-1} vid våglängderna
a) 2000 Å b) 8000 Å
- D33 Antag att en elektromagnetisk våg med våglängden 5000 Å bara varar i 10^{-8} s. Hur många gånger svänger fältstyrkan fram och tillbaka i en punkt under det att vågen passerar?
- D34 Hur stor är den reella amplituden och faskonstanten om komplexa amplituden är
a) -7 b) -4i c) $(1+3i)/(1-2i)$
- D35 En longitudinell våg med amplituden 0.10 mm utbreder sig utefter x-axeln i en kopparstav. Tag fram ett uttryck som beskriver hastigheten som funktion av tiden för en partikel på avståndet 2.00 m från origo. Våglängden är 0.380 m, frekvensen 10 kHz och partikelförskjutningen är noll för $x = 0$ och $t = 0$.

- D36 Två vågor med samma utbredningsriktning och frekvens har intensiteterna 2.0 respektive 5.0 mW/m². Hur stor är resulterande intensiteten om vågorna är
a) koherenta och i fas
b) koherenta med 30° fasskillnad
c) inkoherenta?
- D37 Två koherenta vågor med samma utbredningsriktning har de komplexa amplituderna $4 + 2i$ respektive $2 e^{i\pi/3}$. Hur stor är den resulterande störningens (reella) amplitud?
- D38 Fem vågor ger var för sig intensiteten 2 mW/m² i en viss punkt. Hur stor är resulterande intensiteten i denna punkt om
a) vågorna är inkoherenta
b) vågorna är koherenta och i fas?
- D39 En aluminiumstav med längden 50 cm är fastklämd på mitten. Beräkna grundfrekvensen för longitudinella vågor. (Utbredningshastigheten sätts till $5.00 \cdot 10^3$ m/s.)
- D40 Ljudet från en stämgaflöde med okänd frekvens ger tillsammans med ljudet från en standardstämgaflöde med frekvensen 44.0 Hz upphov till svävningar i intensiteten på 3.0 Hz. Svävningsfrekvensen minskar när man sätter ett stycke vax på den första gaflöden. Bestäm denna frekvens.
- D41 Fashastigheten för vattenvågor med stort värde på våglängden och som utbreder sig där vattendjupet är stort ges av
$$\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

Hur stor är gruppshastigheten i det (infinitesimala) våglängdsområde där fashastigheten är 5.0 m/s?
- D42 Ljus infaller under vinkeln 70° mot ett plant reflexionsgitter som har en bredd av 3.00 cm och 6000 ritsar per cm. Antag att gittret används för att lösa upp två våglängder som ligger runt 5000 Å. Hur stor måste skillnaden i våglängd mellan de två linjerna minst vara för att de skall kunna upplösas?
- D43 Ett spektrum innehåller enbart två komponenter. Man vet att den ena ligger i våglängdsområdet 4000 - 5000 Å och den andra i området 6000 - 7000 Å. Ljuset infaller vinkelrätt mot ett transmissionsgitter som har 300 ritsar per mm. Vid en vinkel 24.46° från gittrets normal sammanfaller den röda med den blå komponenten. Vid vilka andra vinklar sammanfaller de båda komponenterna?

- D44 Två 0.02 mm breda spalter på avståndet 0.10 mm från varandra belyses med monokromatiskt ljus. Hur många maxima kan klart observeras inom det centrala böjningsmaximat?
- D45 Omedelbart bakom den ena spalten i Youngs försöksuppläggning inskjuts en platta av genomskinligt material, vars brytningsindex är 1.58. Därvid förskjuts interferensmönstret 600 fransavstånd. Beräkna plattans tjocklek om våglängden hos det använda ljuset är 589 nm.
- D46 En polankonvex lins (krökningsradie $R = 3.00$ m) vilar med sin konvexa yta mot en plan glasyta. I rakt uppför infallande och därefter reflekterat ljus syns Newtonringar. Det använda ljuset har våglängden 589.3 nm. Linsen lyfts rakt upp med den konstanta hastigheten 0.100 mm/s. De observerade Newtonringarna kommer då att röra sig. Beräkna ringarnas hastighet på ett avstånd av 1.00 cm från symmetriaxeln. Ange om ringmönstret rör sig inåt eller utåt.
- D47 Opolariserat ljus infaller mot en vätskeyta. Beräkna vätskans brytningsindex om 5.5 % av den infallande intensiteten reflekteras då infallsvinkeln är 45° .

E. BOHRS ATOMMODELL, FOTOELEKTRISK EFFEKT

- Använd Bohrs atommodell på väteatomen och beräkna
 - de tillåtna energinivåerna
 - de tillåtna elektron- kärnavstånd
 - elektronens hastighet i tillåtna banor
 - elektronens omloppsfrekvens i tillåtna banor.
- Energinivåerna i väte kan uttryckas med formeln

$$E_n = - \frac{13,60}{n^2} \text{ (eV)}$$

Man har experimentellt funnit att väte absorberar fotoner med en energi av 12,75 eV. Till vilket kvanttillstånd är atomen exciterad efter absorption av en 12,75 eV-foton? Beräkna energierna på de möjliga fotoner som skulle kunna emitteras när atomen återvänder till grundtillståndet.

- Inom vilka våglängdsområden ligger Lyman-, Balmer- och Paschen-serierna i vätes spektrum. Bestäm seriernas kortaste och längsta våglängder.
- Den röda linjen H_α i vätes spektrum uppkommer genom elektronövergång från bana 3 till bana 2. Den blå H_β genom övergång från bana 4 till bana 2. Motsvarande våglängder är 6563 resp 4861 Å. Beräkna den våglängd som erhålles vid övergång från bana 4 till bana 3 genom att först härleda sambandet mellan dessa tre linjers våglängd.
- Beräkna med hjälp av Bohrs atommodell den energi i elektronvolt som måste tillföras en heliumjon (enkelt joniserat helium) i dess lägsta energitillstånd för att erhålla dubbelt joniserat helium
- Deuterium har ett spektrum där Balmerlinjerna är något förskjutna jämfört med värdena för väte. Ange differensen mellan våglängderna för de tre första Balmer- linjerna i väte och deuterium.
- Beräkna med hjälp av Bohrs teori skillnaden i jonisationsenergi mellan atomärt väte och atomärt deuterium.
- Ett väteliknande system av intresse för den moderna fysiken är positroniumatomen. Positronium består av en elektron bunden till en positron genom coulombkraften mellan dem. Positronen har en massa lika med elektronens och en laddning lika med protonens. Beräkna jonisationsenergin för positronium.

9. En av Hg:s spektrallinjer emitteras vid övergång mellan två nivåer, vilkas energidifferens är 4,892 eV. Bestäm våglängden för spektrallinjen i fråga och beräkna det antal kvanta, som per sekund utsändes av en 100-watts Hg-lampa, om 0,05 % av den lampan tillförda energin utsändes som strålning av ifrågavarande våglängd.
10. En elektronstråle används för att bombardera vätgas. Vilken minsta elektronenergi (uttryckt i eV) krävs för att Balmer-seriens längsta våglängd skall utsändas. Antag att väteatomerna befinner sig i sitt grundtillstånd före varje elektronkollision.
11. En väteatom emitterar en foton som motsvaras av Lyman-seriens längsta våglängd. Beräkna den rekylhastighet som väteatomen erhåller efter att ha emitterat denna foton. Väteatomen förutsättes vara i vila före emissionen.
12. Ljuset från en urladdningslampa innehållande väte får infalla under rätt vinkel mot ett transmissionsgitter med gitterkonstanten $1,216 \cdot 10^{-6}$ m. Man finner att ett 5:te ordningens diffraktionsmaximum inträffar vid avböjningsvinkeln 30° . Detta maximum motsvarar en av spektrallinjerna från väteets Lyman-serie (dvs en övergång till grundtillståndet). Bestäm från vilken energinivå i väteatomen övergången sker.
13. I ett experiment används en väte-lampa (som producerar ett väldefinierat linjespektrum) för att fotoemittera elektroner från ett kalciumprov. Vilka ytterligare vätevåglängder blir användbara (alt. vilka våglängder kan inte längre utnyttjas) för fotoelektrisk effekt om kalciumprovet byts ut mot ett natriumprov? Utträdesarbetet för Ca- och Na- provet är 3,1 eV respektive 2,8 eV.
14. Använd Bohrs atommodell och ta fram ett uttryck på våglängden hos det ljus som utsänds då en väteatom övergår från tillstånd $n=n_{\text{begynnelse}}$ till ett tillstånd där radien för elektronbanan är k gånger mindre än i det tidigare tillståndet. Tillämpa därefter uttrycket med $n_{\text{begynnelse}}=8$ och $k=4$.
15. I ett experiment där väteatomer belystes med ljus med våglängden 1550 Å fann man att elektroner emitterades. Energianalys visade att de emitterade elektronerna hade två karakteristiska energier nämligen 4,60 eV och cirka 6,49 eV (mycket svag signal). I vilka ursprungliga tillstånd befann sig de väteatomer som gav upphov till dessa två karakteristiska elektronenergier?

16. Antag att väteatomer i ett urladdningsrör utsätts för kollisioner mot elektroner som har kinetiska energin 12,3 eV. Vilket utträdesarbete kan elektroden (emittern) i en fotocell högst ha för att elektronemission skall kunna äga rum om detta väteurladdningsrör skall användas som belysningskälla och endast våglängder över 2100 Å kan passera ut genom det fönster-(av kvartsglas) försedda urladdningsröret.
17. Den maximala våglängd för vilken fotoelektrisk effekt är möjlig i volfram är 230 nm. Bestäm maximala kinetiska energin (uttryckt i eV) och maximala hastigheten hos de elektroner som utsändes från en volframyta vid bestrålning med ultraviolett ljus av våglängden 180 nm.

F. DE BROGLIE-VÅGOR

1. Beräkna våglängden för en elektron som utsändes från en elektronkanon med accelerationsspänningen U .
2. Beräkna de Broglie-våglängden för elektroner med kinetiska energin 1,00 eV, 100 eV, 10,0 keV respektive 1,00 MeV.
3. En proton rör sig med en hastighet som är 5,0 % av ljusets hastighet. Beräkna de Broglie-våglängden för protonen.
4. Neutroner i jämvikt med omgivande materia av rums-temperatur kan beräknas ha en medelenergi av $4,0 \cdot 10^{-2}$ eV. Beräkna de Broglie-våglängden för 'medel'-neutronen.
5. En fotboll väger 0,4 kg. Vilken våglängd kan tillskrivas bollen vid en hastighet av 5,0 m/s? Varför kan inte denna våglängd mätas?
6. Vilken kinetisk energi (uttryckt i eV) skall
 - a) elektroner
 - b) neutroner
 - c) fotoner

ha för att (de Broglie-) våglängden skall vara lika stor som diametern hos atomkärnan i vanligt kol?

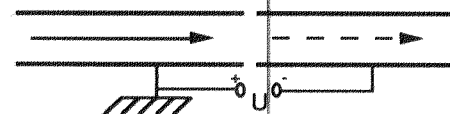
G. GRUNDLÄGGANDE KVANTMEKANIK

1. En elektron rör sig under inverkan av potentialen

$$U(x) = \begin{cases} 0 & \text{för } 0 < x < a \\ \infty & \text{för övriga } x \end{cases}$$

- a) Härled ett uttryck för elektronens möjliga energier.
- b) Antag att elektronen befinner sig i andra exciterade tillståndet. Beräkna de möjliga frekvenserna för den elektromagnetiska strålning, som emitteras då elektronen återgår till grundtillståndet. $a = 5,0 \text{ Å}$.
2. En kollimerad elektronstråle med strömstyrkan 1,00 mA och kinetiska energin 9,0 eV infaller vinkelrätt mot ett abrupt potentialsteg vid vilket den potentiella energin ökar. Detta innebär att den kinetiska energin hos de transmitterade elektronerna minskar. I områdena på ömse sidor om potentialsteget är den potentiella energin konstant. Beräkna den kinetiska energin hos de transmitterade elektronerna då man vet att den transmitterade strömmen är 0,75 mA.
- Om elektronstrålen (med $i = 1,00 \text{ mA}$ och $E_k = 9,0 \text{ eV}$) hade infallit mot ett abrupt potentialsteg där den potentiella energin minskar (i stället för ökar) kan det för en viss storlek på potentialsteget inträffa att man får samma värde som ovan på den transmitterade strömmen (dvs 0,75 mA). Bestäm storleken på potentialsteget i detta senare fall.
3. Beräkna energinivåerna för en elektron ($m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) i en endimensionell låda av längden 4 Å. Gör detsamma för en partikel med $m = 9,1 \text{ mg}$ i en låda av längden 4 cm. Hur många tillstånd med energin mindre än 40 eV finns det i de båda fallen?
4. En partikel är bunden till en endimensionell potentialbox med oändligt höga väggar på avståndet L från varandra (potentialen $V = 0$ inuti boxen och $V = \infty$ utanför boxen). Beräkna sannolikheten att påträffa partikeln inom avståndet $L/3$ från en av väggarna
- om partikeln är i grundtillståndet,
 - om partikeln är i första exciterade tillståndet,
 - om partikeln är i ett mycket högt exciterat tillstånd
 - enligt klassisk fysik.
5. Beräkna osäkerheten i hastighet för en elektron, vars läge är känt på 1 Å när.
6. Beräkna osäkerheten i läge för en väteatom som rör sig med hastigheten $1840 \pm 2 \text{ m/s}$.

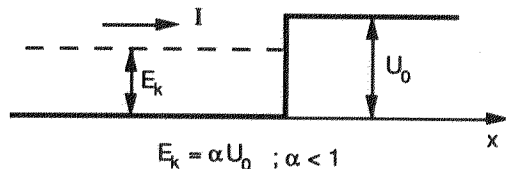
7. Uppskatta (till storleksordningen) den minsta kinetiska energi en proton kan tänkas ha om den är instängd inom en sfär med diametern 10^{-14} m (atomkärnans utsträckning).
8. Visa, utgående från Heisenbergs osäkerhetsrelation $\Delta x \cdot \Delta p_x > h$, att för en foton gäller $\Delta E \cdot \Delta t > h$ där ΔE är osäkerheten i fotonens energi och Δt är osäkerheten i bestämningen av den tidpunkt då fotonen passerar en given punkt.
9. Livslängden för en atom i ett exciterat tillstånd är Δt . Beräkna den ungefärliga osäkerheten i våglängden för den foton som utsänds då atomen återvänder till grundtillståndet! Tillämpa resultatet för $\Delta t = 10^{-8} \text{ s}$ och $\lambda = 600 \text{ nm}$!
10. En kollimerad elektronstråle på 1,00 mA passerar från ett område där potentialen är noll in i ett område med lägre potential, så att den ursprungliga elektronhastigheten v reduceras till 0,25 v .



Beräkna först den andel av elektronerna, som reflekteras vid potentialsteget (som förutsätts vara abrupt), samt beräkna därefter elektronströmstyrkan efter passagen av potentialsteget.

11. Vid kontaktytan mellan två ledare av samma material tvingas elektroner forcera ett oxidskikt av tjockleken 4 Å. Detta innebär också att elektronerna måste passera ett enligt klassisk fysik förbjudet område i vilket deras potentiella energi V_0 är 6,0 eV högre än i ledarna medan deras maximala kinetiska energi i ledarna (lika med Fermi-energin) endast är 5,0 eV. Visa genom en beräkning av transmissionssannolikheten för en Fermi-elektron att tunneleffekt mycket väl kan vara förklaringen till att oxidskikt inte lyckas sabotera elektrotekniken fullständigt. Demonstrera också betydelsen av oxidskiktets tjocklek genom att göra om beräkningen för skiktjockleken 2 Å respektive 8 Å - halvering resp. fördubbling av tjockleken.

12. En protonstråle med kinetiska energin E_k per proton infaller vinkelrätt mot en diskontinuerlig ökning, U_0 , av den potentiella energin. (se fig.)



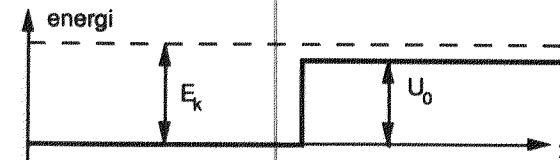
Härled ett uttryck för antalet protoner som befinner sig i området till höger om potentialsprånget, dvs antalet protoner med negativ kinetisk energi. Protonströmmen i den infallande strålen är I och $E_k = \alpha U_0$ där $\alpha < 1$.

13. Som en första modell av en neutrons bindning i en atomkärna kan man tänka sig neutronen fångad i en oändligt djup och endimensionell potentialbrunn med vidden: $a = 4,0 \cdot 10^{-15}$ m.

- Gör en beräkning av den ungefärliga neutronenergin (eller: storleksordningen hos den energi som kan komma i fråga) då potentialbrunnens vidd betraktas som osäkerheten i neutronens läge.
- Bestäm neutronens normerade vågfunktioner i brunnen.
- Beräkna de tillåtna energinivåerna.
- Beräkna sannolikheten att finna neutronen i området $(0 < x < a/4 ; 3a/4 < x < a)$ (dvs området utanför "kärnans" centrala del) i grundtillståndet.

14. En elektronstråle med kinetiska energin 1,00 eV per elektron infaller vinkelrätt mot en diskontinuerlig ökning, 2,00 eV, av den potentiella energin. Beräkna antalet elektroner som befinner sig i området till höger om potentialsprånget, dvs antalet elektroner med negativ kinetisk energi. Elektronströmmen i den infallande strålen är 5,00 mA.

15. Elektroner med en kinetisk energi $E_k = 10,0$ eV faller in mot ett potentialsteg (se figur) med höjden U_0 . Beräkna U_0 så att 90,0% av elektronerna reflekteras.



16. En elektron är fri att röra sig men endast i en dimension i en potentiallåda (∞ höga väggar) med längden b .

a) Beräkna först ett allmänt uttryckt för dels

i) avståndet mellan ena lådkanten och närmaste maximum hos sannolikhetstätheten och dels

ii) sannolikheten att hitta elektronen inom detta avstånd.

Rita sedan en figur över hur sannolikhetstätheten varierar i lådan för tillståndet $n = 5$.

H. ENELEKTRONATOMER

1. Elektronen i en väteatom har i grundtillståndet vågfunktionen

$$\psi = N \cdot e^{-r/a}$$

där r är avståndet till kärnan, a är den så kallade Bohr-radien, och N är en normeringskonstant. Beräkna det mest sannolika värdet på r .

2. Vågfunktionen för elektronen i väteatomens grundtillstånd har formen

$$\psi = N \cdot e^{-r/a}$$

N är normeringskonstanten och a Bohrradien.

Härled ett uttryck, som anger sannolikheten att finna elektronen inom en sfär med radien r och centrum vid kärnan. Beräkna sedan sannolikheten att finna elektronen inom en sfär med $r = a$.

3. Bohrradien a ($= 0,529 \text{ \AA}$) är det sannolikaste avståndet mellan elektronen och kärnan i väteatomens grundtillstånd, men vad är sannolikheten att finna elektronen mellan $a(1-d)$ och $a(1+d)$ där $d \ll 1$?
4. Beräkna det sannolikaste elektron-proton avståndet i en väteatom i tillståndet $n = 2, l = 0, m = 0$. Motsvarande egenfunktion är

$$\psi_{2,0,0} = N \cdot \left(\frac{r}{a} - 2\right) e^{-r/2a}$$
där N är normeringsfaktorn och a är Bohr-radien.
5. Beräkna sannolikheten för att en elektron i en väteatom i det tillstånd, som karaktäriserats med $n = 2$ och $l = 0$, skall finna sig på ett avstånd från kärnan, som är större än det avstånd, som förutsäges av Bohrs teori för väteatomen.
6. Här följer några av väteatomens vågfunktioner:

$$\psi_{1,0,0} = A_1 \cdot e^{-\sigma}$$

$$\psi_{2,0,0} = A_2 \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\sigma\right) e^{-\sigma/2}$$

$$\psi_{3,2,2} = A_3 \sigma^2 \cdot e^{-\sigma/3} \sin^2\theta \cdot e^{-j \cdot 2\phi}$$

$$\text{där } \sigma = \frac{r}{a}$$

a) Vad betydde a i den halvklassiska Bohr-teorin? Skriv ned de grundsamband i Bohr-modellen, ur vilka a låter sig härledas (vilket Du INTE behöver ägna Dig åt).

b) Vad är innebörden av de tre indices vid vågfunktionen? Gör en beräkning av banimpulsmomentets z -komponent i de tre fallen.

c) Beräkna det sannolikaste elektronavståndet (från kärnan) för $\psi_{1,0,0}$.

- 7 a) Väteatom i det exciterade tillståndet $\psi_{2,0,0}$. Beräkna förhållandet mellan sannolikheterna att finna elektronen i ett infinitesimalt tunt sfäriskt skal med radien $4a$ och i ett lika tunt sfäriskt skal med radien a . (Skalen är alltså lika tjocka och koncentrisk med kärnan.)
- b) Väteatom i det exciterade tillståndet $\psi_{2,0,0}$. Använd Schrödingers ekvationen för att beräkna den totala energin hos en väteatom i ovan givna exciterade tillstånd.
 (Använd tabell på sid. C-60 i kompendiet över normerade R -, θ - och ϕ -funktioner.)
8. Beräkna förhållandet mellan sannolikheterna att finna elektronen (i en väteatom i grundtillståndet) i ett infinitesimalt tunt sfäriskt skal med radien $3a$ och ett lika tunt sfäriskt skal med radien $a/2$. (skalen är alltså lika tjocka och koncentrisk med kärnan; a betecknar Bohr-radien)

I. ZEEMANEFFEKT. STERN-GERLACHS FÖRSÖK

1. Beräkna för $4f \rightarrow 3d$ övergången i väteatomen (då elektronspinn försummas):
 - a) energinivåerna med hjälp av Bohrmodellen (härledning av uttrycket för energinivåerna krävs!) då inget magnetfält "stör".
 - b) energinivåerna då atomen befinner sig i ett magnetfält $B = 1,5 \text{ Vs/m}^2$ (uttrycket för potentiella energin hos ett magnetiskt moment μ , i fältet B får anses bekant)
 - c) Rita ett energinivådiagram (princip) för fallet b och markera tillåtna övergångar (vid emission)
 - d) Beräkna våglängdsändringen som blir följden av denna "normala" Zeemaneffekt.
2. Ett Zeemaneffekt experiment är naturligtvis meningsfullt endast om frekvenssplittringen på grund av magnetfältet överstiger den naturliga linjebredden hos den spektrallinje man studerar. I förtunnade gaser vid hög temperatur, t ex i stjärnornas atmosfärer, dominerar linjebredden av dopplereffekten på grund av atomernas termiska translationshastighet.

Genom att studera solspektrum med högupplösande interferometrar har man i ljus emitterat från solfläcks-områden konstaterat Zeeman splittring hos spektrallinjerna. Man har alltså på detta sätt kunnat fastställa att solfläckar är förknippade med relativt starka magnetfält (man talar om magnetiska stormar vid solytan; att störningar i radio-kommunikationerna på jorden är legio vid stark solfläcksaktivitet är ju också väl bekant).

Beräkna hur starkt fält B som krävs för att Zeeman-effekten Δf_z skall kunna noteras trots den termiska dopplerbreddningen Δf_T ($\approx f \cdot v_T/c$, där v_T kan beräknas ur $v_T = \langle v \rangle = (8kT/\pi\mu_H)^{1/2}$;

μ_H = vätes molekylmassa = atommassan här; $T = 6000 \text{ K}$). Utför beräkningen för en spektrallinje med våglängden 500 nm .

3. a) Rita ett energinivådiagram för en väteknande atoms $4p$ och $3d$ tillstånd i närvaro av ett magnetfält.
b) Visa att emissionslinjen för övergången mellan $4p$ och $3d$ nivåerna splittras i tre linjer vid närvaro av magnetfält. Elektronspinn försummas.
c) Våglängden för emissionslinjen är 6000 Å och våglängds-separationen mellan de båda yttersta komponenterna i spektrat är $0,40 \text{ Å}$ när magnetfältet är $1,2 \text{ T}$. Bestäm med dessa data förhållandet e/m , då e är elektronens laddning och m dess massa.
4. Vid ett Stern-Gerlach-experiment värms silveratomer till 1000° K . Atomerna passerar ett inhomogent magnetfält vars gradient är $0,50 \text{ (Wb/m}^2) / \text{cm}$ över en sträcka $8,0 \text{ cm}$, och fortsätter genom ett fältfritt rum $10,0 \text{ cm}$ innan de träffar en fotografisk plåt. Visa att de två linjer som observeras på plåten har ett maximalt avstånd $= 0,25 \text{ mm}$. Alla atomer förutsättes ha samma hastighet, given av $\frac{1}{2} mv^2 = \frac{3}{2} kT$.

J. FLERELEKTRONSYSTEM

1. Är elektronkonfigurationen $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^3$ tänkbar för en exciterad järnatom? (Motivera svaret!)
2. a) Hur många elektroner skulle M-skalet i en atom maximalt kunna innehålla med hänsyn till Pauli-principen.
b) Skriv ut "namnen" (genom att ange n , l , m_l och s_z -kvanttalerna) för alla dessa M-elektroner.
3. Visa att det maximala antalet elektroner i ett elektronskal med givet n är $2n^2$.
4. Hur många grundämnen skulle det finnas om atomer med besatta elektronskal upp till $n = 6$ kunde existera.
5. 5 elektroner (som har spinn) befinner sig, fördelade på lägsta tänkbara energitillstånd, i en hypotetisk endimensionell "potentiallåda" med oändligt höga potentialväggar. Avståndet mellan väggarna är $1,00 \text{ Å}$.

Du lyckas tillföra systemet just så mycket (minsta möjliga) energi som krävs för att lyfta en av de lägst liggande elektronerna till en högre nivå. Beräkna våglängderna hos den elektromagnetiska strålning systemet skulle kunna emittera vid återgång till det ursprungliga (lägsta) energitillståndet.

6. En elektron är bunden till en två-dimensionell rektangulär potentiallåda med sidorna 3 Å resp. 5 Å. Vilken är den minsta energi (uttryckt i eV) som en foton kan ha för att absorberas av lådan om den ursprungligen befinner sig i sitt grundtillstånd.

9. STATISTISK MEKANIK

1. En viss vätsgaslåda (vid temperaturen 5000 K) innehåller totalt 10^{20} atomer fördelade enbart på energinivåerna karakteriserade av $n = 2$ och $n = 3$. Hur många atomer finns det då på vardera nivå? Antalet tillstånd på en viss nivå (se uppgift J3) är $2n^2$.

2. Antag att $6,0 \cdot 10^{18}$ st elektroner får röra sig i endast två dimensioner över en yta, vars area är $1,0 \text{ m}^2$. Hur stor bråkdel av elektronerna har kinetiska energier som är mindre än 0,5 eV? Betrakta elektronerna som en tvådimensionell gas av fria elektroner och utför beräkningen vid $T = 0$ Kelvin.

Plocka först fram ett uttryck på tillståndstätheten (dvs antalet elektrontillstånd per energi- och ytenhet). Bestäm även Fermi-energin (dvs elektronernas maximala kinetiska energi vid $T = 0$ Kelvin).

3. Antag att elektroner är fria att röra sig i endast en dimension utefter en sträcka, vars längd är L . Härled ett uttryck för tillståndstätheten (dvs antalet elektrontillstånd per energi och längdenhet).
4. Hur hög skall temperaturen vara i en Maxwell-Boltzmann-fördelad gas för att gaspartiklarnas kinetiska medelenergi skall vara densamma som den kinetiska medelenergin hos elektronerna i den "fria" elektrongasen i guld vid 0 K. (Fermienergin i guld = 6 eV).
5. a) Beräkna koncentrationen av ledningselektroner i natrium (bcc-struktur). Natrium har densiteten $0,98 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ och atomvikten 23 u. (Antag att varje Na-atom bidrager med en elektron till ledningsbandet.)

b) Beräkna Fermi-energin för natrium. (Ledningselektronerna får uppfattas som en gas av fria elektroner.). Tillståndstätheten:

$$Z(E) = 4\pi \left(\frac{\sqrt{2m}}{h} \right)^3 \cdot \sqrt{E}$$

6. I en viss frielektronliknande metall är Fermienergin 7,0 eV. Hur stor andel av ledningselektronerna har kinetiska energier mellan 6,9 eV och 7,0 eV? (Utför beräkningen vid en temperatur nära den absoluta nollpunkten.)
Tillståndstätheten:

$$Z(E) = 4\pi \left(\frac{\sqrt{2m}}{h} \right)^3 \cdot \sqrt{E}$$

7. Som Stern-Gerlachs försök visat kan elektronens spinn (och därmed även dess magnetiska moment) endast orienteras parallellt eller antiparallellt i ett magnetfält B . Till det magnetiska momentet i ett magnetfält är viss potentiell energi associerad.

Beräkna antalet elektroner i tillstånden spinn upp (parallellt B) resp spinn ner, då vi har en förtunnad elektrongas med totalt $1,000 \cdot 10^{23}$ elektroner vid temperaturen 2,00 K. $B = 3,24 \text{ Vs m}^{-2}$.

8. En elektron är bunden till en tre-dimensionell potentiallåda och befinner sig i grundtillståndet. Vilken är den minsta energi hf_1 , som en foton kan ha för att absorberas av lådan om lådan är en kub med kantlängden 3,0 Å? Antag att kantlängden på potentiallådan ökas till 3,0 cm. Hur många elektroner kan då maximalt rymmas i lådan om det skall vara möjligt att med hf_1 excitera en elektron från det lägsta energitillståndet? (antag: $T=0$ K)
9. Betrakta en ideal gas och beräkna molekylernas (a) mest sannolika hastighet, (b) medelhastighet, (c) "rms"-hastighet (roten ur kvadratiska medelhastigheten). Illustrera hastighetsfördelningen i ett diagram och markera de beräknade hastigheterna.
10. Betrakta ett system av identiska atomer, som lyder Maxwell-Boltzmann statistik. Varje atom har tre energinivåer (samma multiplicitet) med energidifferanserna $E_2 - E_1 = E_3 - E_2 = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$.
a) Uppskatta den temperatur vid vilken atomerna inom en procent, finns med lika sannolikhet i de tre tillstånden.
b) Motsvarande då 99% av atomerna är i E_1 .
11. Beräkna den temperatur vid vilken 1% av atomerna i en atomär vätgas befinner sig i tillståndet $n=2$.

Svar:

$$C1 \quad \Delta l = l_0 \alpha (t_2 - t_1) = \underline{3,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\Delta t_{\text{id}} = t_{\text{id}} \left[1 + \sqrt{\frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}} \right] = \underline{107 \text{ s}}$$

$$C2 \quad t = t_0 + \frac{r_2 - r_1}{\alpha_{\text{Al}} \cdot r_1 - \alpha_{\text{stål}} \cdot r_2} = \underline{229^\circ \text{ C}}$$

$$C3 \quad W = p_0 m \left(\frac{1}{\rho_{50}} - \frac{1}{\rho_0} \right) = \underline{12,1 \text{ J}}$$

$$C4 \quad pV = \frac{\rho_{\text{Hg}} \cdot l \cdot g \cdot \sin \phi \cdot h \pi R^2}{\sin \phi} = \text{konstant}$$

$$C5 \quad n = \frac{p}{kT}$$

$$a) \quad \underline{2,65 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}}$$

$$b) \quad \underline{3,54 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}}$$

$$C6 \quad N = \frac{N_A pV}{RT} = 3 \cdot 10^6 \approx \underline{10^6}$$

$$C7 \quad h = \frac{a + 21}{2} (+) \sqrt{\left(\frac{a + 21}{2} \right)^2 - 1a} = \underline{0,27 \text{ m}}$$

$$C8 \quad s = \frac{\sqrt{2} \pi p d^2 \langle v \rangle}{kT}$$

$$a) \quad \underline{0,96 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}}, \quad \underline{5,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}}$$

$$b) \quad \underline{1,26 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}}, \quad \underline{3,97 \text{ m}}$$

$$1 = \frac{\langle v \rangle}{S}$$

$$C9 \quad t = \frac{4kT}{p} \sqrt{\frac{\pi M_{\text{mol}}}{8rT}} \frac{\theta}{\pi r^2} = \underline{3,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} \quad \text{där } \theta = \text{täckningen} \\ \text{(här 10 \% dvs 0,10)}$$

$$C10 \quad p = \frac{RT}{\sqrt{2} \pi l d^2 N_A} = \underline{6 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}^2}$$

$$C11 \quad E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} pV = \underline{3 \cdot 10^2 \text{ J}}$$

$$C12 \quad p = \frac{1}{4V} p_1 \langle v \rangle S t = \underline{2 \cdot 10^{-1} \text{ N/m}^2}$$

$$C13 \quad p = \frac{p_0}{2} \left[1 + e^{-\frac{\langle v \rangle S}{2V} t} \right]$$

$$C14 \quad t = \frac{\ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right) \cdot 4V}{\langle v \rangle \cdot S} = \underline{3 \text{ s}}$$

$$C15 \quad \lambda = \frac{R I^2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{L \cdot 2\pi (T_1 - T_2)} = \underline{2 \cdot 10^{-1} \text{ W/m} \cdot \text{K}}$$

$$C16 \quad \underline{3,2 \text{ W/m}^2}$$

$$C17 \quad W = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{d} \quad t = \underline{1 \cdot 10^9 \text{ J}}$$

$$C18 \quad t_m = -\frac{1}{\alpha} (+) \sqrt{-\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha} \frac{\phi 2a}{S \lambda_2}} = \underline{62^\circ \text{ C}}$$

$$C19 \quad I = \sqrt{\frac{2\lambda(\pi r^2)^2 4(T_0 - T_A)}{\rho l^2}} = \underline{43 \text{ A}}$$

$$C20 \quad T - T_0 = (T_1 - T_0) e^{-\frac{p}{(T_1 - T_0)mc} t}$$

$$t_{1/2} = 70 \text{ h}$$

$$t = 100$$

$$C21 \quad R = \frac{M [c_v(t_2 - t_1) + \gamma]}{3600 \lambda_j 4\pi(t_3 - t_2)} = 1,1 \text{ km}$$

$$C22 \quad \text{Isoterm: } \Delta W = nRT \ln \frac{V_1}{V_0} = 2,33 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\Delta Q = \Delta W = 2,33 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Isokor: } T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR} = 2727 \text{ K} = 2,73 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$$\Delta U_2 = n c_v (T_2 - T_1) = 13657 \text{ J} = 1,37 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$C23 \quad \text{Isoterm: } V_1 = \frac{p_0}{p_1} V_0 = 32 \text{ m}^3, W = p_0 V_0 \ln \frac{V_1}{V_0} = 6,7 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$Q = 6,7 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Adiabat: } V_1 = V_0 e^{\frac{1}{\gamma} \ln \frac{p_0}{p_1}} = 14 \text{ m}^3$$

$$T_1 = T_0 \frac{p_1 V_1}{p_0 V_0} = 174 \text{ K}, \Delta U = \frac{3}{2} \frac{p_0 V_0}{T_0} (T_1 - T_0) = -2,7 \cdot 10^6 \text{ Js}$$

$$W = 2,7 \cdot 10^6 \text{ Js}$$

$$C24 \quad \gamma = \frac{\ln \left[\frac{T_1 n R \ln \frac{V_2}{V_1}}{W} \right]}{\ln \frac{V_2}{V_1}} + 1 = 1,67$$

$$C25 \quad P = \frac{T_1 - T_2}{T_2 \cdot t} Q = 8,4 \text{ W}$$

$$C26 \quad \eta = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = 66,1 \%$$

$$C27 \quad \Delta S = m c_p \left[\ln \frac{T_1}{T_0} - \frac{T_1 - T_0}{T_1} \right] = 1,8 \cdot 10^2 \text{ J/K}$$

$$C28 \quad \Delta S = R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}, a = b$$

$$C29 \quad \frac{dS}{dt} = \frac{RI^2}{T} = 6,7 \text{ W/K}$$

$$C30 \quad \Delta S = c \cdot m \cdot \ln \frac{T_0 + \frac{RI^2}{cm} t}{T_0} = 4,16 \text{ J/K} = 4 \text{ J/K}$$

$$C31 \quad \Delta S = nR \left[\frac{3}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{T_2 p_1}{T_1 p_2} \right] = -89 \text{ J/K}$$

$$C32 \quad \Delta S = m c_p \ln \frac{T_1}{T_0} + m \gamma_A \frac{1}{T_1} = 37 \text{ J/K}$$

$$C33 \quad v = \sqrt{\frac{3 kT}{M_{\text{molekyl}}}} = 1,37 \cdot 10^3 \text{ m/s}, 5,20 \cdot 10^2 \text{ m/s}, 4,33 \cdot 10^3 \text{ m/s}, 1,64 \cdot 10^3 \text{ m/s.}$$

$$C34 \quad p = 4 n_s \sqrt{\frac{kT m_l}{8}} = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$$

$$C35 \quad n_s = \frac{1}{4} \langle v \rangle \frac{p N_A}{RT} = 4,41 \cdot 10^{21} / (\text{m}^2 \text{s})$$

$$t = \frac{1}{\Delta S \cdot n_s} = 2,26 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$C36 \quad t = \frac{m \cdot q \cdot d}{\lambda 6V^{2/3} \Delta T} = 9,598 \cdot 10^5 \text{ s} = 11 \text{ dygn}$$

$$C37 \quad t = \frac{4V}{\langle v \rangle S}$$

C38 $(T_1 - 180,9) T_1 = (T_1 - 111,2)^2 \Rightarrow T_1 = 298 \text{ K}$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_1 - 111,2}{T_1} \Rightarrow \underline{\underline{\gamma = 1,67}} \text{ "enatomig gas.}$$

C39 64 %

C40 27 W/m · K

C41
$$T(R_y) - T(R_i) = \frac{\rho \cdot I^2}{\left[\pi(R_y^2 - R_i^2)\right]^2 2\lambda} \left[R_y^2 \ln \frac{R_y}{R_i} - \frac{1}{2} (R_y^2 - R_i^2) \right]$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{T(R_y) = 0,31^\circ \text{ C}}}$$

C42 $1,73 \cdot 10^3 \text{ K}$

C43 $3,9 \cdot 10^2 \text{ W/m · K}$

C44
$$T = \frac{\frac{\lambda_b}{d_b} T_2 + \frac{\lambda_k}{d_k} T_1}{\frac{\lambda_k}{d_k} + \frac{\lambda_b}{d_b}} = \underline{\underline{19^\circ \text{ C}}}$$

Svar.

D1 $\omega t = \pm \arccos \sqrt{\frac{2}{3}} = \underline{\underline{\pm 35,3^\circ \pm 180^\circ}}$

$$x = x_m \sin \frac{\pi}{4} = 1/\sqrt{2}$$

D2 $E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} M \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 x_m^2 = \underline{\underline{4,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}}}$

D3 $v_g = \frac{c}{n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}} = \underline{\underline{0,566 c}}$

D4 $s = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}} \cdot t}{2} = \underline{\underline{1,0 \cdot 10^3 \text{ m}}}$

D5 $f = \frac{c}{2a} = \underline{\underline{1,5 \cdot 10^{10} \text{ Hz}}}$

D6 a) $k = \underline{\underline{3,00 \text{ m}^{-1}}}$, $\lambda = \frac{2\pi}{k} = \underline{\underline{2,09 \text{ m}}}$, $\omega = \underline{\underline{2,00 \text{ s}^{-1}}}$, $f = \frac{\omega}{2\pi} = \underline{\underline{0,318 \text{ Hz}}}$

b) $v_f = \lambda \cdot f = \underline{\underline{0,667 \text{ m/s}}}$

c) $v_{\text{max}} = \left(\frac{\partial \zeta_1}{\partial t} \right)_{\text{max}} = \underline{\underline{0,060 \text{ m/s}}}$, $a_{\text{max}} = \left(\frac{\partial^2 \zeta_1}{\partial t^2} \right)_{\text{max}} = \underline{\underline{0,120 \text{ m/s}^2}}$

D7 $F' = \left[2l \Delta v + \sqrt{\frac{F}{\mu}} \right] \mu = \underline{\underline{408 \text{ N}}}$ e1. 392 N

D8 $g = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{y} = \underline{\underline{1,0 \text{ mm}}}$

$$D9 \quad \alpha = \frac{\Delta h}{t \cdot h} = \underline{2,4 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}}$$

$$D10 \quad R = \frac{n}{5\lambda_0} \left(r_{m+5}^2 - r_m^2 \right) = \underline{6,04 \text{ m}}$$

$$D11 \quad I = I_0 \frac{\sin^2 \frac{\pi}{2}}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} = \underline{0,41 I_0}$$

$$D12 \quad d = \frac{\lambda \cdot L}{y} = \underline{8,2 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}$$

$$D13 \quad a) \quad d = \frac{L \cdot \lambda}{y} = \underline{0,196 \text{ mm}}$$

$$b) \quad \underline{7}$$

$$D14 \quad \Delta\theta = \arcsin \left(2\lambda_1 \frac{1}{g} \right) - \arcsin \left(2\lambda_2 \frac{1}{g} \right) = \underline{12,51^\circ}$$

$$D15 \quad \left. \begin{array}{l} m \frac{\lambda}{g} + \sin \theta_1 = -1 \\ m \text{ helta } 1 \end{array} \right\} \Rightarrow m = -5 \Rightarrow \underline{\theta_2 = -77^\circ}$$

$$D16 \quad \theta_2 = \arcsin \lambda \left(\frac{1}{g_2} + \frac{1}{g_1} \right) = \underline{26,2^\circ}, \underline{8,5^\circ}$$

$$D17 \quad g = \frac{d_1 n \Delta\lambda}{\lambda_2} = \underline{1,70 \cdot 10^{-6} \text{ m}}$$

$$d_1 = \frac{g\lambda_1}{n\Delta\lambda} = \underline{1,70 \text{ mm}}$$

$$D18 \quad \Delta\phi = 2\pi \frac{\frac{\lambda_0}{2}}{\lambda} = \underline{4,32 \text{ rad}}$$

$$D19 \quad n = \frac{\sin^2 \theta_{\max} \cdot d}{35\lambda} = \underline{1,6}$$

$$D20 \quad L = \frac{n_2}{n_1} \Delta\lambda \frac{\sin \theta_1}{(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)^2} = \underline{3,6 \text{ mm}}$$

$$D21 \quad \zeta = -0,59 \text{ a el.} - 0,81 \text{ a}$$

$$D22 \quad \text{Stående våg, } v_{\text{fas}} = v \cdot \lambda, v_g = 0.$$

$$D23 \quad v_g = c_1.$$

$$D24 \quad \frac{I_0}{2} \cdot 0,278^2$$

$$D25 \quad 15,1 \%$$

$$D26 \quad \lambda = 5000 \text{ Å.}$$

$$D27 \quad \text{Platttjocklek} = (m+1) 2050 \times 10^{-10} \text{ m.}$$

$$D28 \quad 338 \text{ nm.}$$

$$D29 \quad a) \text{ minskar, } b) 739 \text{ nm.}$$

$$D30 \quad 1,8 \mu\text{m.}$$

- D31 $f = 0,80 \text{ Hz}$, $\lambda = 0,18 \text{ m}$, $k = .35 \text{ m}^{-1}$, $v_f = 0,14 \text{ m/s}$
- D32 $\Delta k = \frac{2\pi}{\lambda^2} \Delta \lambda$ a) $0,79 \text{ cm}^{-1}$ b) $0,05 \text{ cm}^{-1}$
- D33 $6 \cdot 10^6$ gånger
- D34 a) 7 och 180° b) 4 och -90° c) $1,41$ och 135°
- D35 $v = a \cdot 2\pi f \cos 2\pi(f \cdot t - \frac{x}{\lambda})$, $v = 6,28 \cos(6,28 \cdot 10^4 t - 33,1) \text{ m/s}$
- D36 a) $13,3 \text{ mW/m}^2$ b) $12,5 \text{ mW/m}^2$ c) $7,0 \text{ mW/m}^2$
- D37 $6,2$
- D38 a) 10 mW/m^2 b) 50 mW/m^2
- D39 $5,00 \cdot 10^3 \text{ Hz}$
- D40 $443,0 \text{ Hz}$
- D41 $v_g = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} = 2,5 \text{ m/s}$
- D42 $\Delta \lambda \geq 0,046 \text{ Å}$
- D43 $55,90^\circ$
- D44 9 st
- D45 $d = \frac{600\lambda}{n-1} = 6,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
- D46 $\frac{dr_m}{dt} = -\frac{R}{r_m} \frac{dy}{dt} = -30 \text{ mm/s}$
- D47 $n = 1,53$

E. SVAR.

1. a) $E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{me^4}{8h^2\epsilon_0^2} = -\frac{1}{n^2} \cdot 13,6 \text{ eV}$
 b) $r_n = n^2 \cdot \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} = n^2 \cdot 0,53 \text{ Å}$
 c) $v_n = \frac{1}{n} \cdot \frac{e^2}{2h\epsilon_0} = \frac{1}{n} \cdot 2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
 d) $f_n = \frac{1}{n^3} \cdot \frac{me^4}{4h^3\epsilon_0^2} = \frac{1}{n^3} \cdot 6,5 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
2. $n = 4$; $12,75 \text{ eV}$, $12,09 \text{ eV}$, $10,20 \text{ eV}$, $2,55 \text{ eV}$, $1,89 \text{ eV}$, $0,66 \text{ eV}$
3. $91,2 - 122 \text{ nm}$; $365 - 656 \text{ nm}$; $820 - 1875 \text{ nm}$
4. $1,874 \text{ µm}$
5. $54,4 \text{ eV}$
6. $1,79 \text{ Å}$; $1,32 \text{ Å}$; $1,18 \text{ Å}$
7. $-3,7 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$; $E_j(\text{H}) < E_j(\text{D})$
8. $6,8 \text{ eV}$
9. 2536 Å ; $6,4 \cdot 10^{16} \text{ kvanta/s}$
10. $12,1 \text{ eV}$
11. $3,3 \text{ m/s}$
12. $n = 2$
13. $\lambda = 433 \text{ nm}$ och $\lambda = 410 \text{ nm}$
14. a) $\lambda = \frac{hc}{E_1} \cdot \frac{n_{\text{begynnelse}}^2}{k-1}$ där $E_1 = \frac{me^4}{8h^2\epsilon_0^2} \approx 13,6 \text{ eV}$
 b) $1,95 \text{ µm}$
15. $n=2$ och $n=3$
16. $1,89 \text{ eV}$

17. $1,5 \text{ eV}$ resp $7,3 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

F. SVAR.

- $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0eU}} \cdot \left(1 + \frac{eU}{2m_0c^2}\right)^{-1/2}$
- $12,3 \text{ Å}, 1,23 \text{ Å}, 0,122 \text{ Å}$ resp $0,0087 \text{ Å}$
- $2,6 \cdot 10^{-14} \text{ m}$
- $1,4 \text{ Å}$
- $3,3 \cdot 10^{-34} \text{ m}$
- a) 226 MeV b) 27 MeV c) 226 MeV
(Diametern $= 2R \approx 2R_0 A^{1/3} \approx 5,5 \cdot 10^{-15} \text{ m}$)

G. SVAR.

- a) $E_n = n^2 \cdot \frac{h^2}{8ma^2}$
b) $1,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}; 1,8 \cdot 10^{15} \text{ Hz}; 2,9 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
- a) 1 eV b) 72 eV
- 4; $1,3 \cdot 10^{21}$
- a) $0,196$ b) $0,402$ c) $1/3$ d) $1/3$
- $7 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ (orelativistisk räkning)
- $\approx 10^{-7} \text{ m}$
- E_{kin} av storleksordningen 10 MeV
- $\delta\lambda \approx 10^{-13} \text{ m}$
- 36% ; $0,64 \text{ mA}$
- $0,04 (4 \text{ Å}); 0,3 (2 \text{ Å}); 0,0006 (8 \text{ Å})$

12. $\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\alpha} - 1}} \cdot \frac{hI}{2\pi q U_0}$; $q = \text{protonens laddning}$

13. a) $t \approx 12,8 \text{ MeV}$ b) $\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{b}} \sin \frac{n\pi}{b} x$
c) $E_n = n^2 \cdot 12,8 \text{ MeV}$ d) $18,2\%$

14. $10,3$

15. $9,99 \text{ eV}$

16. i) $x = \frac{b}{2n}$ ii) $\int_0^{b/2n} |\Psi|^2 dx = \frac{1}{2n}$

$|\Psi|^2$ har 5 max då $n = 5$

H. SVAR.

- $r = a$
- $P(r) = 1 - \frac{4}{a^3} \cdot e^{-2r/a} \cdot \left[\frac{ar^2}{2} + \frac{a^2r}{2} + \frac{a^3}{4} \right];$
 $P(a) = 1 - 5e^{-2} \approx 0,32$
- $8,8 \cdot 10^{-2} \approx 1,08 \delta$
- $5,24 \text{ a}$
- $45 \cdot 10^{-4} \approx 0,824$
- a) $a = \text{radien i elektronbanan i grundtillståndet.}$
b) Ψ_{nlm_l} $n = \text{huvudkvanttalet, } l = \text{azimutala kvanttalet, } m_l = \text{magnetiska kvanttalet.}$
 $L_z = m_l \hbar$ $0, 0 \text{ resp } 2\hbar$
c) $r = a$
- a) $64 \cdot 10^{-3} \approx 3,19$ b) $E = -\frac{1}{4} \cdot \frac{m}{2\hbar^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2$

8. $36e^{-5} = 0,24$

I. SVAR.

1. a) $E_4 = -0,85 \text{ eV}$; $E_3 = -1,51 \text{ eV}$
 b) Energiändr. för $n = 4$: $-3x, -2x, -1x, 0, 1x, 2x, 3x$
 Energiändr. för $n = 3$: $-2x, -1x, 0, 1x, 2x$
 där $x = \frac{e\hbar}{2m} B = 8,7 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$
 d) 0 eller $\pm 2,5 \text{ \AA}$
2. $B \approx 2 \text{ Vs/m}^2$
3. $e/m = 1,74 \cdot 10^{11} \text{ As/kg}$

J. SVAR.

1. Nej. 4s-orbital rymmer max 2 elektroner.
2. a) 18
 b) $(322+)(322-)(321+)(321-)(320+)(320-)(32-1+)(32-1-)$
 $(32-2+)(32-2-)(311+)(311-)$
 $(310+)(310-)(31-1+)(31-1-)(300+)(300-)$
3. $\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = 2n^2$
4. 182
5. $41 \text{ \AA}$; $66 \text{ \AA}$; $110 \text{ \AA}$
6. $4,5 \text{ eV}$

O. SVAR.

1. $N_2 = 0,98 \cdot 10^{20}$; $N_3 = 2,2 \cdot 10^{18}$

2. $Z(E) = \frac{4\pi m}{h^2}$; $\epsilon_F = 1,44 \text{ eV}$; andel med $E_{\text{kin}} < 0,5 \text{ eV} \approx 35 \%$
3. $Z(E) = \frac{2\sqrt{2m}}{h} \frac{1}{\sqrt{E}}$
4. $2,8 \cdot 10^4 \text{ K}$
5. a) $2,6 \cdot 10^{28} \text{ el/m}^3$ b) $3,2 \text{ eV}$
6. $2,1 \%$
7. $1,02 \cdot 10^{22}$ resp. $8,98 \cdot 10^{22}$
8. a) $12,6 \text{ eV}$ b) $5,5 \cdot 10^{24}$
9. a) $\sqrt{\frac{2kT}{m}}$ b) $\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ c) $\sqrt{\frac{3kT}{m}}$
10. a) $>140 \text{ K}$ b) $0,16 \text{ K}$
11. $N_1/N_2 = \exp(-(E_1 - E_2)/kT)) \cdot g_1/g_2 \rightarrow T = 2,6 \cdot 10^4 \text{ K}$