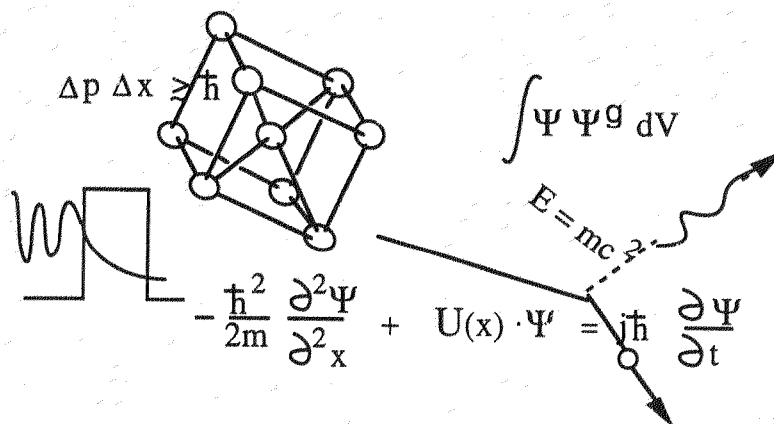


ÖVNINGSEXEMPEL

FYSIK DEL B

FÖR D2

- C. TERMISK FYSIK
- E. BOHRS ATOMMODELL
- F. DE BROGLIE VÅGOR
- G. GRUNDLÄGGANDE KVANTMEKANIK
- H. ENELEKTRONATOMER
- I. ZEEMANEFFEKT. STERN-GERLACHS FÖRSÖK
- J. FLERELEKTRONSYSTEM
- K. MOLEKYLSPEKTRA
- L. KÄRNOR. BINDNINGSENERGI
- M. FUSION. FISSION
- N. RADIOAKTIVT SÖNDERFALL
- O. KRISTALLSTRUKTURER OCH PUNKTDEFEKTER
- R. ENERGIBAND. ELEKTRISK KONDUKTIVITET. OPTISKA EGENSKAPER
- Q. STATISTISK MEKANIK



C. 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 avvikelsern att vara från korrekt tid efter 1 vecka i 40.0°C temperatur?
- C2 En aluminiumkolv placeras koncentriskt i en stålcylander med innerdiametern 10.00 cm. Gapet mellan kolv och cylinder vid 20.0°C är $1.25 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$. 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/m^3 och vid 50°C 988.07 kg/m^3 . Bortse från förångning.

Allmänna gaslagen

- C4 Ett långt (ca 1.5 m) smalt glasrör 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 vertikalprojektionen h av luftpelaren konstant. Visa att Boyles lag gäller!
- C5 Beräkna molekylensitet (antal $\cdot \text{m}^{-3}$) 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 cm^3 vid denna trycknivå och om rumstemperatur föreligger. Antag ideal gas.

- C7 Ett rör, 1.20 m långt, som är slutet i ena ändan fylles 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 molekyl (med andra molekyler) vars diameter är d , då medelhastigheten $\langle v \rangle$ och trycket p är givna. $T = 273 \text{ K}$. Beräkna även den fria medelväglängden mellan kollisioner
- | | | | |
|----|---|----|--|
| a) | $p = 1.0 \text{ atm}$ | b) | $p = 1.00 \cdot 10^{-5} \text{ torr}$ |
| | $d = 4.0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ | | $d = 4.00 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ |
| | $\langle v \rangle = 5.0 \cdot 10^2 \text{ m.s}^{-1}$ | | $\langle v \rangle = 5.00 \cdot 10^2 \text{ m.s}^{-1}$ |
- C9 En wolframtråd befinner sig i ett evakuerat kärl, där syrets partialtryck är $1.0 \cdot 10^{-4} \text{ torr}$ 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 $= 3.3 \text{ Å}$.
- C10 Till vilket tryck skall en behållare med syrgas evakueras för att molekylernas medelväglängd skall uppgå till 20 cm? Temperaturen är 57°C . Syremolekylen kan betraktas som en sfär med diametern $3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$.
- C11 Beräkna den totala kinetiska energin hos molekylerna i 1 liter av en ideal gas vid 25°C och 2 atm tryck.
- C12 Trycket i ett vakuumkärl med volymen 2 liter är $1 \cdot 10^{-3} \text{ mm kvicksilver}$. Det yttre trycket är 1 atm och temperaturen 27°C . Genom ett litet hål med arean $1.0 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2$ 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. Luftmolekylernas medelhastighet kan vid den ifrågakvarande 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 molekylernas medelhastighet $\langle v \rangle$.
- C14 En sfärisk behållare med 10 cm radie hålles vid temperaturen 27°C frånsett en yta på 1 cm^2 , 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 den kalla ytan, hur lång tid krävs för att trycket i behållaren skall minska till $1 \cdot 10^{-4} \text{ mm kvicksilver}$? Molekylernas medelhastighet kan vid den ifrågavarande temperaturen sättas till 595 m/s .

Värmetransport

- C15 En metalltråd med resistansen 0.1 ohm per cm ligger i 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 m^2 mellan en vägg som är konstruerad med kork resp luft. $Q_{\text{läck}} = 10 \text{ W/m}^2$, för korkväggen $\lambda_{\text{luft}} = 2.3 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^\circ\text{C}$, $\lambda_{\text{stål}} = 8.3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, $\lambda_{\text{trä}} = 0.15 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, $d_1 = 1.0 \text{ mm}$, $d_2 = 8.0 \text{ cm}$, $d_3 = 3.0 \text{ cm}$. Antag perfekt termisk kontakt överallt.

- C17 Hur mycket värme leds under 24 timmar genom en glasruta med arean 1.50 m^2 och tjockleken 4 mm om yttertemperaturen är -15° C och innertemperaturen är $+20^\circ \text{ C}$? ($\lambda = 0.9 \text{ W/mK}$).
- C18 Ytorna av en utsträckt, planparallell platta hålles 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 siditytorna.
- 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 ändytor. 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 förånga 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 . Ångbildningsvärmets 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 $V_1 = 1.50$ liter och $V_2 = 0.10$ 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 medelvärdet 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 $8.0 \cdot 10^{13}$ neutroner $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Neutronerna är "termiska", dvs i termisk jämvikt med sin omgivning, vars temperatur är 300 K. Beräkna neutrongasens "partialtryck".
- C35 a) Beräkna stöttelet för en ideal gas vid temperaturen 273 K och trycket $1.00 \cdot 10^{-3}$ torr då molekylernas medelhastighet $\langle v \rangle$ är $5.00 \cdot 10^2$ 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 $1.00 \cdot 10^{-15}$ 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 $2.9 \cdot 10^{-2}$ W/m.K. Isens smältvärme är $3.34 \cdot 10^5$ 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 molekylernas medelhastighet.
- C38 En gasmassa av en ideal gas får utvidga sig reversibelt-adiabatiskt, tills dess volym fördubblats, varvid temperaturen sjunker 111.2° . Försöket upprepas därpå med samma utgångstemperatur och samma utgångsvolym, men expansionen får denna gång ske reversibelt-adiabatiskt, tills volymen fyrdubblats. 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 verkningsgraden 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 rörets 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. Järnrörets resistivitet är $0,30 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$ vid 0.0°C och den termiska ledningsförmågan 65 W/m K . Värmeförlusten från rörets yttersidan under upptiningen antages vara försumbar. Beräkna temperaturen på rörets 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 svärtas och placeras längs axeln på ett evakuerat glaströr. Tråden anslutes till en likspänningskälla, ett variabelt motstånd, en amperemeter och en voltmeter. Strömmen 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 glaströret är försumbar kan nickelns smältpunkt beräknas. Utför denna beräkning.
- C43 En jämntjock och homogen metalltråd uppvärms genom en konstant elektrisk ström. Värme kan endast avledas genom trådens ändytor. 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?

E. BOHRS ATOMMODELL, FOTOELEKTRISK EFFEKT

- E1 Använd Bohrs atommodell på väteatomen och beräkna
- de tillåtna energinivåerna
 - de tillåtna elektron- kärnavstånden
 - elektronens hastighet i tillåtna banor
 - elektronens omloppsfrekvens i tillåtna banor.

E2 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.

- E3 Inom vilka våglängdsområden ligger Lyman-, Balmer- och Paschen-serierna i vätets spektrum. Bestäm seriernas kortaste och längsta våglängder.
- E4 Den röda linjen H_α i vätets 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 vågtal.
- E5 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
- E6 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.
- E7 Beräkna med hjälp av Bohrs teori skillnaden i jonisationsenergi mellan atomärt väte och atomärt deuterium.
- E8 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.
- E9 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.

- E10 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.
- E11 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.
- E12 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.
- E13 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.
- E14 Använd Bohrs atommodell och ta fram ett uttryck på våglängden hos det ljus som utsänds då en väteatom övergår från tillstånd $n=n_{\text{begränsning}}$ till ett tillstånd där radien för elektronbanan är k gånger mindre än i det tidigare tillståndet. Tillämpa därefter uttrycket med $n_{\text{begränsning}}=8$ och $k=4$.
- E15 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 elektronenergi?

- E16 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.
- E17 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

- F1 Beräkna våglängden för en elektron som utsändes från en elektronkanon med accelerationsspänningen U .
- F2 Beräkna de Broglie-våglängden för elektroner med kinetiska energin 1,00 eV, 100 eV, 10,0 keV respektive 1,00 MeV.
- F3 En proton rör sig med en hastighet som är 5,0 % av ljusets hastighet. Beräkna de Broglie-våglängden för protonen.
- F4 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.
- F5 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?
- F6 Vilken kinetisk energi (uttryckt i eV) skall
- elektroner
 - neutroner
 - fotoner
- ha för att (de Broglie-) våglängden skall vara lika stor som diametern hos atomkärnan i vanligt kol?

G. GRUNDLÄGGANDE KVANTMEKANIK

- G1 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. $a = 5,0 \text{ Å}$.

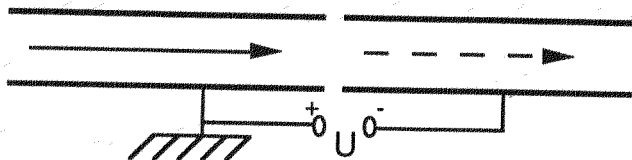
- G2 En kollimerad elektronstråle med strömstyrkan $1,00 \text{ mA}$ och kinetiska energin $9,0 \text{ eV}$ infaller vinkelrätt mot ett abrupt potentialsteg vid vilket den potentiella energin ökar. Detta innebär att den kinetiska energin hos de transmitterade elektronerna minskar. I områdena på ömse sidor om potentialsteget är den potentiella energin konstant. Beräkna den kinetiska energin hos de transmitterade elektronerna då man vet att den transmitterade strömmen är $0,75 \text{ mA}$.

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 $0,75 \text{ mA}$). Bestäm storleken på potentialsteget i detta senare fall.

- G3 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?

- G4 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.

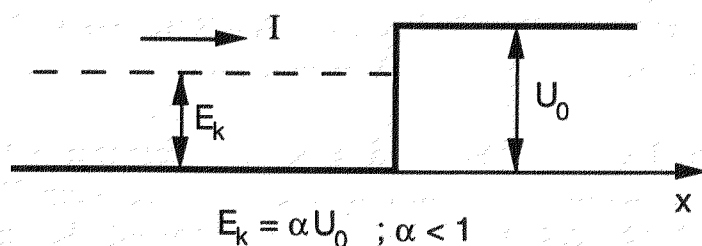
- G5 Beräkna osäkerheten i hastighet för en elektron, vars läge är känt på $1 \text{ \AA}$ när.
- G6 Beräkna osäkerheten i läge för en väteatom som rör sig med hastigheten $1840 \pm 2 \text{ m/s}$.
- G7 Uppskatta (till storleksordningen) den minsta kinetiska energi en proton kan tänkas ha om den är instängd inom en sfär med diametern 10^{-14} m (atomkärnans utsträckning).
- G8 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.
- G9 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 $\lambda = 600 \text{ nm}$!
- G10 En kollimerad elektronstråle på $1,00 \text{ mA}$ 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.

- G11 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.

- G12 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 $\alpha < 1$.

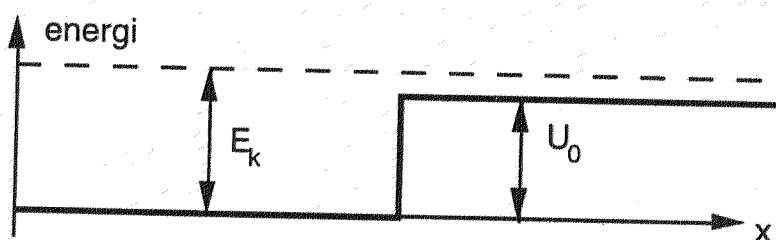
- G13 Som en första modell av en neutrons bindning i en atomkärna kan man tänka sig neutronen fångad i en oändligt djup och endimensionell potentialbrunn med vidden: $a = 4,0 \cdot 10^{-15}$ m.

- 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 $(0 < x < a/4 ; 3 a/4 < x < a)$ (dvs området utanför "kärnans" centrala del) i grundtillståndet.

G14 En elektronstråle med kinetiska energin $1,00 \text{ eV}$ per elektron infaller vinkelrätt mot en diskontinuerlig ökning, $2,00 \text{ eV}$, 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 $5,00 \text{ mA}$.

G15 Elektroner med en kinetisk energi $E_k = 10,0 \text{ eV}$ faller in mot ett potentialsteg (se figur) med höjden U_0 . Beräkna U_0 så att $90,0\%$ av elektronerna reflekteras.



G16 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

H1 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 .

- H2 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 $r = a$.

- H3 Bohrradien $a (= 0,529 \text{ Å})$ 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 $d \ll 1$?

- H4 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.

- H5 Beräkna sannolikheten för att en elektron i en väteatom i det tillstånd, som karaktäriserats med $n = 2$ och $l = 0$, skall befinna sig på ett avstånd från kärnan, som är större än det avstånd, som förutsäges av Bohrs teori för väteatomen.

- H6 Här följer några av vätets 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 bl a 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 $\psi_{1,0,0}$.
- H7 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 koncentriskt 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.)
- H8 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 koncentriskt med kärnan; a betecknar Bohr-radien; Vätevågfunktioner: se t.ex kompendiet sid C60-C61)

I. ZEEMANEFFEKT. STERN-GERLACHS FÖRSÖK

- I1 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.

- I2 Ett Zeemaneffek 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 solfläcksområden 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 $v_T \approx \langle v \rangle = (8kT/\pi\mu_H)^{1/2}$;

μ_H = vätes molekylmassa = atommassan här; $T = 6000$ K).

Utför beräkningen för en spektrallinje med våglängden 500 nm.

- I3 a) Rita ett energinivådiagram för en väteliknande 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 våglängdsseparationen mellan de båda yttersta komponenterna i spektrat är 0,40 Å när magnetfältet är 1,2 T. Bestäm med dessa data förhållandet e/m , då e är elektronens laddning och m dess massa.

- I4 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

- J1 Är elektronkonfigurationen $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^3$ tänkbar för en exciterad järnatom? (Motivera svaret!)
- J2 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.
- J3 Visa att det maximala antalet elektroner i ett elektronskal med givet n är $2n^2$.
- J4 Hur många grundämnen skulle det finnas om atomer med besatta elektronskal upp till $n = 6$ kunde existera.
- J5 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.
- J6 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.

K. MOLEKYLSPEKTRA

För molekyler (som lyder Maxwell-Boltzmann-statistikens lagar) är förhållandet mellan antalet molekyler i ett icke-degenererat tillstånd ε_1 och antalet molekyler i ett icke-degenererat tillstånd ε_2 givet av

$$\frac{n_2}{n_1} = e^{-(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)/kT}$$

- K1 I HCl:s vibrations-rotationsspektrum förekommer två linjer vid våglängderna 3,43 och 3,48 μm , svarande mot övergångarna

$$\Delta n = -1, \quad \Delta l = \pm 1$$

a) Vilken av våglängderna svarar mot $\Delta l = +1$?

b) Beräkna den "effektiva" fjäderkonstanten för den interatomära kraften i HCl-molekylen.

- K2 Beräkna den temperatur vid vilken 1 % av atomerna i enatomär vätgas befinner sig i tillståndet $n = 2$, om man kan antaga att huvuddelen av atomerna befinner sig på nivån $n = 1$.

- K3 I en HCl-molekyl svarar en vibrationsnivåövergång $\Delta n = -1$ mot emission av en foton med våglängden $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. Använd denna information för att beräkna den approximativa andel av HCl-molekylerna som befinner sig på nivån $n = 1$ vid temperaturen 300 K.

- K4 Antag att avståndet mellan atomkärnorna i en syremolekyl är 2,0 Å.

a) Beräkna molekylen's tröghetsmoment med avseende på en axel genom masscentrum och vinkelrätt mot molekyllaxeln.

b) Beräkna molekylen's kvanttillstånd (dvs beräkna det aktuella värdet på rotationskvanttalet l) om dess rotationsenergi är kT och $T = 300 \text{ K}$.

- K5 Rotationsenerginivåerna hos en tvåatomig molekyl är $E = E_0 \cdot I(I + 1)$, där $E_0 = 0,010 \text{ eV}$. Beräkna förhållandet mellan intensiteterna för de två rotationsövergångarna $2 \rightarrow 1$ och $1 \rightarrow 0$ genom att först beräkna de relativa populationerna på aktuella nivåer. Temperaturen är 300 K .
- K6 Frekvensskillnaden mellan närbelägna linjer i det rena rotationsspektrat (ej elektronövergångar eller vibrationsövergångar) för $\text{C}^{13}\text{F}^{19}$ är $1,12 \cdot 10^{10} \text{ sek}^{-1}$. Vad är avståndet mellan molekylens båda kärnor?
- K7 Två närliggande linjer i klorvätemolekylens rotationspektrum har en vågtalsskillnad på $2,12 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1}$ (vågtalet = $1/\text{våglängden}$).
- Beräkna molekylens tröghetsmoment med avseende på en axel genom masscentrum och vinkelrätt mot molekylens axel.
 - Beräkna avståndet mellan atomerna. Kloratomens masstal är 35.

L. KÄRNOR. BINDINGSENERGI

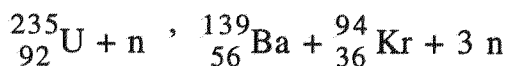
- L1 Beräkna den approximativa densiteten hos "kärnmateria".
- L2 När 1 kg dynamit exploderar frigörs $5,4 \cdot 10^6 \text{ J}$. Hur stor del av totala energiinnehållet i 1 kg materia utgör detta?
- L3 Beräkna
- totala bindningsenergin
 - bindningsenergin per nukleon för α -partikeln.
- L4
- Beräkna differensen i bindningsenergi mellan tritium (${}^3_1\text{H}$) och helium-3 (${}^3_2\text{He}$).
 - Vilket proton-proton-avstånd krävs i ${}^3\text{He}$ för att den just beräknade bindningsenergi-differensen skall kunna bokföras på Coulombenergins konto?

c) Kontrollera rimligheten i detta proton-proton-avstånd genom att beräkna kärndiametern hos ${}^3\text{He}$ (och ${}^3\text{H}$).

- L5 Beräkna bindningsenergin per nukleon för de tre atomkärnorna ${}^4_2\text{He}$, ${}^{59}_{27}\text{Co}$ och ${}^{238}_{92}\text{U}$, vilkas atommassor är 4,002604 u, 58,933188 u resp. 238,05082 u.

Beskriv på vad sätt dessa bindningsenergier är av teknologiskt ekonomiskt intresse.

- L6 En kärnkraftverksreaktor förbrukar 3,9 kg ${}^{235}\text{U}$ per dygn. Beräkna den effekt som utvecklas i reaktorn. Den frigjorda energin per fissionsprocess kan beräknas ur:



Bindningsenergin per nukleon för ${}^{235}\text{U}$, ${}^{139}\text{Ba}$ och ${}^{94}\text{Kr}$ är 7,7, 8,3 respektive 8,7 MeV.

- L7 Atommassan för ${}^{13}\text{C}$ är 13,00335 u. Beräkna hur stor energi (uttryckt i MeV) det krävs för att avlägsna en neutron från ${}^{13}\text{C}$.

M. FUSION. FISSION

- M1 I vissa stjärnors inre kan man tänka sig en fusionsprocess enligt formeln ${}^4\text{He} + {}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C}$. Beräkna hur stor energi som frigörs.

- M2 I en hypotetisk fusionsreaktion ${}^3_1\text{H} + {}^6_3\text{Li} \rightarrow {}^9_4\text{Be}$ är de aktuella atommassorna 3,01605 u, 6,01513 u respektive 9,01219 u. Beräkna den vid processen frigjorda energin samt energin per kg av "bränslet".

- M3 Vid fission av en ${}^{235}\text{U}$ -kärna frigörs i medeltal 200 MeV.
- Vilken aktivitet (uttryckt i sönderfall per sekund) krävs för att producera effekten 1,0 MW?
 - Hur mycket ${}^{235}\text{U}$ (uttryckt i kg) måste tillföras under ett år för att effekten skall kunna hållas konstant?

M4 Antag att energiproduktionen i en kärnreaktor domineras av fissionsprocessen ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{236}_{92}\text{U}^* \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3 {}^1_0\text{n}$

där de två dotterkärnorna sedan via 4 resp 3 β^- -sönderfall övergår i de stabila nukliderna ${}^{144}_{60}\text{Nd}$ resp. ${}^{89}_{39}\text{Y}$.

Beräkna uranförförbrukningen (massan rent ${}^{235}\text{U}$) under ett år av kontinuerlig drift vid effekten 800 MW.

Atommassor: ${}^{235}\text{U}$: 235,04394 u, ${}^{235}\text{U}$: 143,91013 u, ${}^{89}\text{Y}$: 88,905867 u.

M5 Bland de tänkbara processerna i framtida fusionsreaktorer diskuteras flera litium-deuterium-fusioner.

En av dessa är ${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow 2 \cdot {}^4_2\text{He}$.

a) Beräkna energivinsten per fusion.

${}^6\text{Li}$ har atommassan 6,015123 u.

b) Beräkna den årliga bränsleåtgången (massan Li + D) i en fusionsreaktor, som kontinuerligt ger 800 MW bruttoeffekt.

M6 Beräkna den frigjorda energin vid en med en termisk neutron inducerad fission av uran 234, då fissionsprodukterna är de stabila nukliderna barium 138 och krypton 84 förutom ett antal neutroner.

Atommassor: ${}^{234}_{92}\text{U}$: 234,04098 u ${}^{138}_{56}\text{Ba}$: 137,90524 u
 ${}^{84}_{36}\text{Kr}$: 83,91150 u

N. RADIOAKTIVT SÖNDERFALL

N1 60 timmar efter det att β^- -källan ${}^{24}\text{Na}$ preparerats återstår endast 6,25 % av ${}^{24}\text{Na}$.

Beräkna isotopens halveringstid.

N2 $3 \cdot 10^{-14}$ kg ${}^{214}\text{Pb}$ ger aktiviteten 1 millicurie (1 Ci = $3,70 \cdot 10^{10}$ s $^{-1}$).

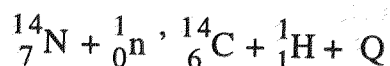
Beräkna sönderfallskonstanten för ${}^{214}\text{Pb}$.

- N3 I ett uranmineral har man funnit bly ^{206}Pb . Man vet att ^{238}U omvandlas till ^{206}Pb genom en serie av α - och β -sönderfall. Halveringstiden för ^{238}U är $4,5 \cdot 10^9$ år, medan övriga halveringstider i serien är försumbara i jämförelse härmed. Beräkna mineralets ålder, om det innehåller 0,80 g bly för varje gram rent uran och vi antar att allt blyet tillkommit genom sönderfall.
- N4 ^{235}U kan användas för att ge en övre gräns för jordens ålder genom att jämföra den naturliga förekomsten av ^{238}U och ^{235}U . Isotopförekomsterna utgör idag 99,28 % ^{238}U och 0,72 % ^{235}U . Halveringstiden för ^{238}U är $4,5 \cdot 10^9$ år och för ^{235}U $7,1 \cdot 10^8$ år. Om man antar att isotoperna från början fanns i lika mängd och ingen isotopseparation uppstått genom andra kemiska eller fysikaliska förändringar måste kvoten mellan de nuvarande förekomsterna återspegla den kortare halveringstiden hos ^{235}U . Beräkna jordens ålder.
- N5 En av de viktigaste sönderfallsserierna i naturen är uran-radiumserien. Den börjar med uranisotopen ^{238}U och slutar med den stabila blyisotopen ^{206}Pb . Halveringstiden för uranet (238) är $4,5 \cdot 10^9$ år. Övriga halveringstider i serien är förhållandevis korta.
- a) Beräkna efter hur lång tid ett mineral, som ursprungligen endast innehåller ^{238}U , kommer att innehålla 1 atom bly per två atomer uran.
- b) Beräkna hur stor energi som frigjorts under serien för varje uransönderfall samt totalt då en tredjedel av 1 kg anrikat ^{238}U sönderfallit.

Atommassor: $^{238}_{92}\text{U}$: 238,05082 u och $^{206}_{82}\text{Pb}$: 205,97446 u.

N6 ^{14}C -metoden.

I de övre atmosfärskikten förekommer neutroner. Dessa kan infångas av kvävekärnor:

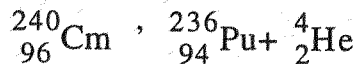


- a) Beräkna Q uttryckt i MeV om ^{14}N -atomen har massan 14,00307 u och ^{14}C -atomen massan 14,00327 u.

b) Radiokol, ^{14}C , sönderfaller under negativt β -sönderfall. Skriv reaktionsformeln.

c) ^{14}C upptas ständigt av levande materia. Efter döden kommer halten ^{14}C att avtaga enligt den sedvanliga sönderfallslagen. Aktiviteten från ^{14}C i nu levande organismer uppgår till 15,4 sönderfall per minut från 1 gram kol. Beräkna åldern på ett fynd av trä där nämnda aktivitet uppgår till 11,8 sönderfall per minut från 2 gram av nämnda fynd. Halten kol i fyndet uppgår till 44 %. Halveringstiden för ^{14}C är 5600 år.

N7 Curiumisotopen ^{240}Cm sönderfaller med en halveringstid på 27 dygn enligt:



α -partiklarnas kinetiska energi är 6,25 MeV.

En sluten behållare innehåller 2,0 mg av ifrågavarande curiumisotop. Hur stor effekt utvecklas i behållaren vid försökets början. (Hänsyn måste tagas till dotteratomens rekyleenergi.)

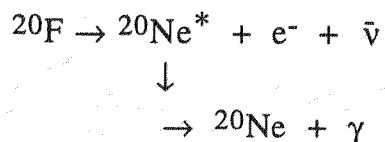
N8 Strålningen från ett radioaktivt preparat registrerades med ett GM-rör. Antalet pulser som erhöles från GM-röret under en minut vid olika tidpunkter var:

Tid(min)	0	20	40	70	100	130	160	190
Pulser/min	1110	760	534	333	203	136	93	65

Då det radioaktiva preparatet avlägsnades från detektorn registrerade denna 30 pulser/min.

Bestäm värdet på sönderfallskonstant och halveringstid för den radioaktiva nukliden.

N9 $^{20}_9\text{F}$ sönderfaller till grundtillståndet av $^{20}_{10}\text{Ne}$ enligt följande:



där $^{20}\text{Ne}^*$ är ett exciterat tillstånd av ^{20}Ne

Bestäm dels

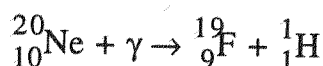
i) reaktionens Q-värde (dvs den totalt frigjorda energin då ^{20}F sönderfaller till grundtillståndet av ^{20}Ne).

ii) den maximala kinetiska energin hos de utsända elektronerna om man vet att γ -energin är 1,6 MeV.

(Rekylenergierna hos $^{20}\text{Ne}^*$ och ^{20}Ne vid β - resp. γ -sönderfallet kan försummas.)

Atommassorna för ^{20}F och ^{20}Ne är 19,99995 u resp. 19,99244 u.

N10 $^{20}_{10}\text{Ne}$ kan sönderdelas i en sk kärnfotoreaktion enligt formeln



I ett experiment där denna reaktion studerades var γ -kvantats energi 14,80 MeV. (Mätt i laboratoriet = Ne-atomens vilosystem.)

Beräkna dels

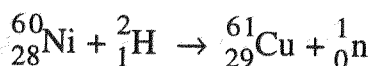
i) reaktionens Q-värde

ii) den sammanlagda kinetiska energin hos slutprodukterna.

Atommassorna för ^{20}Ne och ^{19}F är

19,992440 u resp. 18,998405 u.

N11 a) ^{61}Cu kan produceras genom bestrålning av ^{60}Ni med neutroner i en accelerator



Vid en sådan bestrålning producerades $2,40 \cdot 10^{-12}$ g ^{61}Cu . Hur stor var aktiviteten i detta preparat 24 timmar efter tillverkningen? Halveringstiden för ^{61}Cu är 3,41 timmar.

b) ^{61}Cu sönderfaller genom β -sönderfall till ^{61}Ni . Skriv upp sönderfallsformeln och beräkna maximala β -energin när sönderfallet sker till ett exciterat tillstånd som ligger 0,66 MeV över grundtillståndet i ^{61}Ni . Atommassorna för ^{61}Cu och ^{61}Ni är 60,933462 u resp. 60,931057 u.

O. KRISTALLSTRUKTURER OCH PUNKTDEFEKTER

- O1 Hur många "närmaste grannar" har en atom i strukturerna bcc, fcc resp, hcp?
- O2 Om atomerna i en metall betraktas som sfärer (som tangerar sina närmsta grannar) kan deras radie R bestämmas utgående från kristallstrukturen och gitterkonstanten a .
- a) Beräkna R uttryckt i a för ett enkelt, rymdcentrerat resp. ytcentrerat kubiskt gitter.
- b) Beräkna hur stor del av kristallens totala volym som upptas av "atomsfärerna" i de tre fallen. Vilken struktur är mest tätpackad?
- O3 Beräkna densiteten. (Atomvikten för Si är 28.0 u).
- O4 Guld (fcc, ytcentrerad kubisk) har densiteten 19 300 kg/m³ och atomvikt 197 u. Beräkna planavståndet för den mest tätpackade planskaran. Beräkna atomradien, om man antar att atomerna uppför sig som sfärer, vilka står i kontakt med varandra.
- O5 Molybden (atomvikt = 95,9 u) kristalliserar i rymdcentrerad kubisk struktur (bcc) med densiteten 10,2 g/cm³. Beräkna avståndet mellan centrum på två atomer som är närmsta grannar. Beräkna dessutom gitterkonstanten för molybden.
- O6 Aktiveringsenergin för bildning av en vakans i en viss metall är 0,65 eV. Beräkna dels förhållandet mellan antalet vakanser och antalet atomer i gittret vid rumstemperatur (300 K), dels förhållandet mellan antalet vakanser vid rumstemperatur resp. strax under smältpunkten (1100 K).
- O7 Visa att vakanstätheten vid termisk jämvikt i en metall vid temperaturen T kan beräknas med uttrycket

$$n_v/N = 3 (\Delta L/L - \Delta a/a)$$

där N är antalet atomer och ΔL resp Δa är de vid temperaturändring från 0 K till T uppmätta ändringar i metallprovets längd resp gitterkonstant.

- O8 Punktdefekter i en metall ger ett icke försumbart bidrag till resistiviteten vid låg temperatur p g a elektronspridning mot defekterna. Denna extra spridning är direkt proportionell mot antalet punktdefekter.

I tabellen visas den uppmätta relativa resistivitetsändringen i guld vid 78 K, då guldproverna chockkylts till den låga temperaturen från några höga temperaturer T.

T(K)	920	970	1020	1060	1220
Resistiv- tetsänd- ring. (relativt långsamt kylt guld)	0,41	0,70	1,4	2,3	9,0

Beräkna aktiveringsenergin för vakansbildning i guld.

- O9 Gitterkonstanten för järn (bcc) är $a = 0.290$ nm. Neutrongdiffraktion observerades från (110)-plan. Vilken är den minsta neutronenergi som erfordras för att erhålla 2:a ordningens diffraktion från dessa plan?
- O10 Braggvinkeln för en viss reflex från ett prov bestående av kopparpulver var 47.75° vid 20° C och 46.60° vid 1000° C. Beräkna den termiska längdutvidgningskoefficienten hos Cu.
- O11 I ett Debye Scherrer diffraktogram bestämmer man Braggvinklarna θ för diffraktion. I ett visst experiment med Al-pulver noterades följande data med Cu K_α -strålning ($\lambda = 1.54$ Å)..

$\theta (^\circ)$: 19.48, 22.64, 33.00, 39.68, 41.83, 50.35, 57.05, 59.42

Använd ovanstående för att ta reda på aluminiums struktur och aluminiums gitterkonstant.

- O12 KCl och KBr är alkalihalider med NaCl-struktur. Följande reflexer observerades vid röntgendiffraktion:

KBr:	(111)	(200)	(220)	(311)	(222)	(400)	(331)	(420)
KCl:	-	(200)	(220)	-	(222)	(400)	-	(420)

Varför får man denna skillnad mellan de två ämnena, som har samma geometriska struktur? (Atomnumren är 17 för Cl, 19 för K, 35 för Br.)

- O13 Röntgendiffraktion på ett ämne med ytcentrerad kubisk struktur gav en (111)-reflexion vid $\theta = 20.00^\circ$ (θ är halva avböjningsvinkeln, på vanligt vis) när CuK_α - röntgenstrålning ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$) användes vid rumstemperatur (300 K). Då provets temperatur höjdes 300 grader, minskade θ med 0.0030 radianer.
- Beräkna den linjära temperaturutvidgningskoefficienten (relativa längdförändringen per grad) hos ämnet ifråga.
 - En separat mätning gav en täthetsförändring av 5 % då provet värmdes 300 grader. Kan Du ge en möjlig orsak till varför tätheten varierar mer än vad man skulle vänta sig från den linjära utvidgningen av gitterkonstanten?
- O14 Si kristalliserar i diamantstruktur, dvs ett fcc gitter med basen (000) och $(1/4 \ 1/4 \ 1/4)$. Beräkna spridningsvinklarna för de första två tillåtna reflexerna i ett Debye-Scherrer-experiment. Gitterparametern för Si är 5.40 Å. Röntgenstrålningens våglängd är 1.54 Å.
- O15 Enhetscellen hos Cu (fcc) har kantlängden 0.36 nm. Vilken är den längsta våglängden hos röntgenstrålning som kan ge diffraktion från de mest tätpackade planen? Från vilka plan kan 0.50 nm strålning bli diffrakterad?

Q. STATISTISK MEKANIK

- Q1 En viss vätgaslåga (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 $2n^2$.
- Q2 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).

Q3 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).

Q4 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).

Q5 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 bidrar med en elektron till ledningsbandet.)

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

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

Q6 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:

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

Q7 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.

$B = 3,24 \text{ Vs m}^{-2}$.

- Q8 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 $3,0 \text{ \AA}$?
Antag att kantlängden på potentiallådan ökas till $3,0 \text{ cm}$. 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: $T=0 \text{ K}$)
- Q9 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.
- Q10 Betrakta ett system av identiska atomer, som lyder Maxwell-Boltzmann statistik. Varje atom har tre energinivåer (samma multiplicitet) med energidifferanserna $E_2-E_1=E_3-E_2=6,25 \cdot 10^{-5}$.
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 .
- Q11 Beräkna den temperatur vid vilken 1% av atomerna i en atomär vätgas befinner sig i tillståndet $n=2$.

R. ENERGIBAND. ELEKTRISK KONDUKTIVITET. OPTISKA EGENSKAPER.

- R1 Beräkna elektronernas drifthastighet i Cu vid strömtätheten $10,0 \text{ A/mm}^2$. Cu har masstalet 64, densiteten $8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, resistiviteten $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ ohm} \cdot \text{m}$ och valensen 1.
- R2 Beräkna ledningselektronernas Fermihastighet (hastigheten vid Fermi-nivån) i koppar, då Fermienergin är $7,0 \text{ eV}$.

Varför har denna hastighet som så radikalt avviker från drifthastigheten inget med den makroskopiska strömmen genom en ledare att göra?

- R3 Mellan ändpunkterna av en jämntjock koppartråd (cirkulärt tvärsnitt med diametern 2,00 mm; längd 2,00 m) är spänningen 40,0 mV.
- Beräkna strömtätheten j och strömstyrkan i .
 - Beräkna ledningselektronernas drifhastighet.
 - Beräkna deras mobilitet.
 - Beräkna fermihastigheten.

För kopparen gäller: konduktivitet $5,7 \cdot 10^7 \text{ (ohm} \cdot \text{m)}^{-1}$
 densitet $8,93 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
 atommassa 63,55 u
 antal ledningselektroner per atom 1,00
 fermienergi 4,7 eV

- R4 Beräkna förhållandet mellan konduktiviteterna vid 300 K för tre halvledare/ isolatorer då dessa antas ha identiska egenskaper utom beträffande bandgapen som är 0,50, 1,00 resp. 2,00 eV.

Vi vet att de mest prominenta halvledarna har bandgap i trakterna av de första två värdena. Är det då rimligt att beskylla det tredje ämnet för tendenser till elektronpolitisk isolationism?

- R5 I en germaniumkristall är koncentrationen av elektroner i ledningsbandet $1,0 \cdot 10^{22}/\text{m}^3$. Elektronernas mobilitet är $0,38 \text{ m}^2/\text{Vs}$. Beräkna elektronernas bidrag till konduktiviteten.
- R6 Diffusionskoefficienterna för elektroner och hål i egenledande germanium vid 300 K är $9,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ respektive $4,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Bestäm ledningsförmågan vid 300 K om elektron- (och hål-) tätheten är $2,5 \cdot 10^{19}$ elektroner (och hål) per m^3 .
- R7 Vilken blir den relativa ändringen i konduktivitet hos en halvledare vars bandgap är 1,00 eV (vid och något över rumstemperatur), om dess temperatur höjs från 27 °C till 37 °C?

- R8 För germaniums resistivitet gäller approximativt temperaturberoendet

$$\rho \sim \exp(E_g/2kT)$$

där E_g är bandgapet.

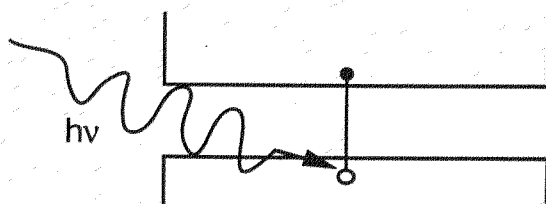
Beräkna bandgapet, om resistiviteten vid 20° C och 100° C uppmätts till 50 ohmcm resp 2,5 ohmcm.

- R9 För CuO, som kan betraktas som en egenledande halvledare, har man vid en mätning funnit följande temperaturberoende hos konduktiviteten:

Temperatur (°C)	100	150	200	250	300	350
Konduktivitet((ohmm)-l)	0,47	0,81	1,25	1,82	2,42	2,95

Bestäm bandgapet i eV.

- R10 Användningen av en ren halvledare som fotocell baseras på ökningen i konduktivitet på grund av elektron-hål-parbildning vid absorptionen av ljuskvanta.



- Beräkna den största våglängd som skulle kunna detekteras med germanium, vars bandgap är 0,72 eV.
 - Gör motsvarande beräkning för kadmiumsulfid, CdS, vars bandgap är 2,42 eV. CdS får anses höra till isolatorerna. Beskriv, med hjälp av den beräknade våglängdsgränsen, hur vitt ljus skulle te sig efter passage genom CdS.
- R11 Diamant, kadmiumsulfid och kisel är elektriska isolatorer eller halvledare med bandgapen 5,33, 2,42 resp. 1,14 eV. Vilka blir de tre kristallernas optiska egenskaper (vad avser transmissions- och absorptionsförmåga) för synligt ljus?

R12 Härled ett uttryck för elektrontätheten i ledningsbandet (och håltätheten i valensbandet) och beräkna densamma vid 273 K för en intrinsisk halvledare, vars energigap är 1,00 eV och där effektiva massan är lika med den ordinära elektronmassan. Vid härledningen görs lämpliga approximationer under antagandet att energigapet är stort (i förhållande till kT) och att Ferminivån ligger mitt i energigapet.

R13 Germaniums energigap är 0,72 eV (som vi låter vara temperaturoberoende).

a) Beräkna våglängden för en foton som med nöd och näppe kan excitera ett elektron-hål-par då den absorberas i halvledaren.

b) Beräkna den temperatur ovanför vilken en så omfattande termisk excitation av elektron-hål-par skulle äga rum, att konduktiviteten för Ge skulle närma sig en metallisk ledares. Kan en sådan ökning av konduktiviteten realiseras?

R14 En bit av en viss metall har volymen $0,4 \text{ cm}^3$. Varje metallatom bidrager med 3 elektroner till mängden av alla ledningselektroner. Ledningselektronerna är approximativt fria att röra sig i hela metallbiten (som är hållen vid en temperatur nära den absoluta nollpunkten). Den maximala kinetiska energin hos ledningselektronerna är 11,6 eV.

Beräkna

a) antalet atomer i metallstycket

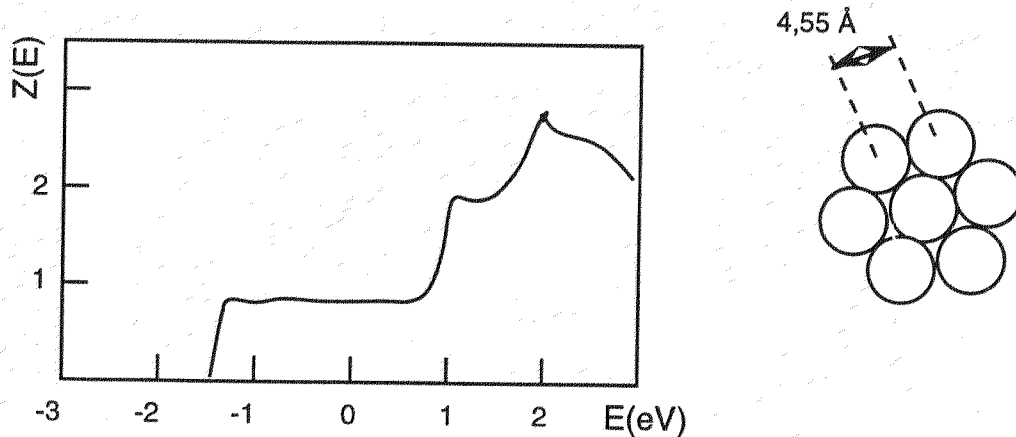
b) medelvärdet av ledningselektronernas kinetiska energier.

Tillståndstätheten i ledningsbandet:

$$Z(E) = 4\pi \left(\frac{\sqrt{2m}}{h} \right)^3 \cdot \sqrt{E - U_0}$$

R15 I nedanstående diagram visas den beräknade tillståndstätheten (i enheter av antalet tillstånd per atom och eV) för ett enda fritt svävande atomlager kalium. Atomerna i lagret antas tätpackade, dvs ordnade i ett hexagonalt mönster (se nedan). Beräkningen, som publicerades 1983, utgår från atomära potentialer och har krävt åtskillig datortid. Som synes har man valt att placera noll i energi vid Fermienergin, E_F . Närmsta grannavståndet har antagits vara detsamma som i kaliummetall, dvs $4,55 \text{ Å}$.

Visa att man ganska väl kan förstå kurvans utseende i området $E < E_F$ utgående från antagandet att kaliumlagret kan betraktas som en tvådimensionell frielektronmetall där varje K-atom bidrar med en elektron till elektrongasen. Jämför den beräknade bredden $E_F - U_0$ på den fyllda delen av ledningsbandet med motsvarande värde för frielektronmodellen.



Anm. I SI-systemet anges $Z(E)$ i enheter av antal tillstånd per m^2 och J (för en 2-dim. el. gas). När Du har beräknat $Z(E)$ kan Du alltså försöka räkna om till enheter av tillstånd per atom och eV för att kunna jämföra med diagrammet.

- R16 Hur stor andel av ledningselektronerna i koppar har kinetiska energier i intervallet 3,95-4,00 eV? Betrakta en elektron per Cu-atom som medlem i en "fri" elektrongas. (Nödvändiga Cu-data från handböcker)

Svar:

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

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

$$C2 \quad t = t_0 + \frac{r_2 - r_1}{\alpha l_1 \cdot r_1 - \alpha_{\text{st}} l_1 \cdot r_2} = \underline{229^\circ \text{ C}}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$C9 \quad t = \frac{4kT}{p} \sqrt{\frac{\pi M_{\text{mol}}}{8rT}} \frac{\theta}{\pi r^2} = \underline{3,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}}$$

där θ = täckningen
(här 10 % dvs 0,10)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$t = 11 \text{ 00}$$

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

$$C22 \quad \text{Isoterm: } \Delta W = nRT \ln \frac{V_1}{V_2} = 2,33 \cdot 10^3 \text{ J}$$

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

$$\text{Isokor: } T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} = 2727 \text{ K} = 2,73 \cdot 10^3 \text{ K}$$

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

$$C23 \quad \text{Isoterm: } V_1 = \frac{P_0}{P_1} V_0 = 32 \text{ m}^3, W = P_0 V_0 \ln \frac{V_1}{V_0} = 6,7 \cdot 10^6 \text{ J}$$

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

$$\text{Adiabat: } V_1 = V_0 e^{\frac{1}{\gamma} \ln \frac{P_0}{P_1}} = 14 \text{ m}^3$$

$$T_1 = T_0 \frac{P_1 V_1}{P_0 V_0} = 174 \text{ K}, \Delta U = \frac{3}{2} P_0 V_0 (T_1 - T_0) = -2,7 \cdot 10^6 \text{ Js}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$C31 \quad \Delta S = nR \left[\frac{3}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{P_1}{P_2} \right] = -89 \text{ J/K}$$

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

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

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

$$C35 \quad n_s = \frac{1}{4} \langle v \rangle \frac{p^N}{RT} = 4,41 \cdot 10^{21} / (\text{m}^3 \text{s})$$

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

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

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

$$C38 \quad (T_1 - 180.9) T_1 = (T_1 - 111.2)^2 \Rightarrow T_1 = 298 \text{ K}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_1 - 111.2}{T_1} \Rightarrow \gamma = 1.67 \quad \therefore \text{anatomig gas.}$$

$$C39 \quad \underline{64 \text{ g}}$$

$$C40 \quad \underline{27 \text{ W/m} \cdot \text{K}}$$

$$C41 \quad T(R_y) - T(R_i) = \frac{p \cdot l^2}{\pi(R_y^2 - R_i^2)} \left[R_y^2 \ln \frac{R_y}{R_i} - \frac{1}{2} (R_y^2 - R_i^2) \right]$$

$$\Rightarrow T(R_y) = \underline{0.31^\circ \text{C}}$$

$$C42 \quad \underline{1.73 \cdot 10^3 \text{ K}}$$

$$C43 \quad \underline{3.9 \cdot 10^2 \text{ W/m} \cdot \text{K}}$$

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

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

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

F. SVAR.

1. $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0eU}} \left(1 + \frac{eU}{2m_0c^2}\right)^{-1/2}$

2. 12,3 Å, 1,23 Å, 0,122 Å resp 0,0087 Å

3. $2,6 \cdot 10^{-14}$ m

4. 1,4 Å

5. $3,3 \cdot 10^{-34}$ m

6. a) 226 MeV b) 27 MeV c) 226 MeV
(Diametern $= 2R \approx 2R_0 A^{1/3} \approx 5,5 \cdot 10^{-15}$ m)

G. SVAR.

1. a) $E_n = n^2 \cdot \frac{h^2}{8ma^2}$

b) $1,1 \cdot 10^{15}$ Hz; $1,8 \cdot 10^{15}$ Hz; $2,9 \cdot 10^{15}$ Hz

2 a) 1 eV b) 72 eV

3. 4; $1,3 \cdot 10^{21}$

4. a) 0,196 b) 0,402 c) 1/3 d) 1/3

5. $7 \cdot 10^6$ m/s (orelativistisk räkning)

6. $\approx 10^{-7}$ m

7. E_{kin} av storleksordningen 10 MeV

9. $\delta\lambda \approx 10^{-13}$ m

10. 36 % ; 0,64 μ A

11. 0,04 (4 Å) ; 0,3 (2 Å) ; 0,0006 (8 Å)

12. $\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\alpha} - 1}} \cdot \frac{h I}{2\pi q U_0}$; q = 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.

1. $r = a$

2. $P(r) = 1 - \frac{4}{a^3} \cdot e^{-2r/a} \cdot \left[\frac{ar^2}{2} + \frac{a^2r}{2} + \frac{a^3}{4} \right]$;
 $P(a) = 1 - 5e^{-2} \approx 0,32$

3. $8 \delta e^{-2} \approx 1,08 \delta$

4. $5,24 a$

5. $45 e^{-4} \approx 0,824$

6 a) a = radien i elektronbanan i grundtillståndet.

b) $\Psi_{n|l|m|}$ n = huvudkvanttalet, l = azimuthala kvanttalet,
 m_l = magnetiska kvanttalet.

$L_z = m_l \hbar$ $0, 0 \text{ resp } 2\hbar$

c) $r = a$

7. a) $64 e^{-3} \approx 3,19$ b) $E = -\frac{1}{4} \cdot \frac{m}{2\hbar^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2$

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

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. $B \gtrsim 2 \text{ Vs/m}^2$

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. $4,5 \text{ eV}$

K. SVAR.

1. a) $3,48 \text{ \mu m}$ b) 485 N/m

2. $2,6 \cdot 10^4 \text{ K}$

3. c:a 1 ppm ($1,2 \cdot 10^{-6}$)
4. a) $53 \cdot 10^{-46} \text{ kgm}^2$ b) 1 = 19 á 20
5. c:a.1:3 (0,35)
6. 2,7 Å
7. a) $2,64 \cdot 10^{-47} \text{ kgm}^2$ b) 1,28 Å

L. SVAR.

1. $2,3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$
2. $6 \cdot 10^{-9} \%$
3. a) 28,3 MeV b) 7,07 MeV
4. a) 0,76 MeV b) $1,9 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ c) $3,5 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
5. 7,07 MeV, 8,77 MeV resp 7,57 MeV
6. $3,0 \cdot 10^9 \text{ W}$
7. 4,95 MeV

M. SVAR.

1. 7,28 MeV
2. 17,7 MeV resp. $1,89 \cdot 10^{14} \text{ J}$
3. a) $3,1 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$ b) 0,38 kg
4. 314 kg
5. a) 22,37 MeV b) 93,8 kg
6. 112,02 MeV

N. SVAR.

1. 15 timmar
2. $4,4 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$
3. $4,2 \cdot 10^9 \text{ år}$
4. $6,0 \cdot 10^9 \text{ år}$
5. a) $2,6 \cdot 10^9 \text{ år}$ b) 51,7 MeV resp $1,9 \cdot 10^3 \text{ MWh}$
6. a) 0,60 MeV b) ${}^{14}_6\text{C}, {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}$ c) 1120 år
7. 1,5 W
8. $3,0 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ resp. $2,3 \cdot 10^3 \text{ s}$
9. i) 7,0 MeV ii) 5,4 MeV
10. i) -12,85 MeV ii) 1,95 MeV
11. a) $1,0 \cdot 10^4 \text{ Bq}$ b) 0,56 MeV

O. SVAR.

1. 8, 12 och 12
2. a) $\frac{1}{2}a, \frac{\sqrt{3}}{4}a$ resp. $\frac{\sqrt{2}}{4}a$
b) 0,52, 0,68 resp. 0,74; fcc
3. 2330 kg/m^3
4. 0,235 nm; 0,144 nm
5. 2,73 Å; 3,15 Å
6. $n_v/N \approx 10^{-11}$; $\frac{n_v(300 \text{ K})}{n_v(1000 \text{ K})} \approx 10^{-8}$
8. 1,0 eV

9. $3,12 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
10. $1,91 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
11. fcc ; $4,0 \text{ \AA}$
13. $\alpha = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$; 5% i stället för 2,5 % pga vakansbildning
14. Braggvinklarna är $14,3^\circ$ och $23,8^\circ$. (Spridningsvinklarna blir då dubbelt så stora)
15. $0,42 \text{ nm}$; inga plan (ty (100) och (110) är förbjudna reflexer för fcc)

Q. 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. $Z(E) = \frac{2\sqrt{2} m}{h} \frac{1}{\sqrt{E}}$
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) $5,5 \cdot 10^{24}$

R. SVAR.

1. $7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
2. $1,6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

3. a) $1,14 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$; $3,58 \text{ A}$ b) $8,41 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
 c) $4,20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{Vs}$ d) $1,3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
4. $6,4 \cdot 10^{-5} : 4,1 \cdot 10^{-9} : 1,7 \cdot 10^{-17}$
5. $6,1 \cdot 10^2 (\Omega\text{m})^{-1}$
6. $2,1 (\Omega\text{m})^{-1}$
7. c:a 95 %
8. 0,71 eV
9. 0,30 eV
10. a) $1,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ b) $5,1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; rött
11. Transparent; transmission av rött; total absorption.
12. $1,3 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$
13. a) $1,73 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ b) $T > 10^4 \text{ K}$; Nej
14. a) $2,4 \cdot 10^{22} \text{ atomer}$ b) $\approx 7,0 \text{ eV}$
15. $E_F - U_0 = 1,33 \text{ eV}$;
 $Z(E) = 2,6 \cdot 10^{37} \text{ m}^{-2}\text{J}^{-1} = 0,75 \text{ tillstånd per atom och eV.}$
16. 0,8 % ($E_F \approx 7,0 \text{ eV}$)