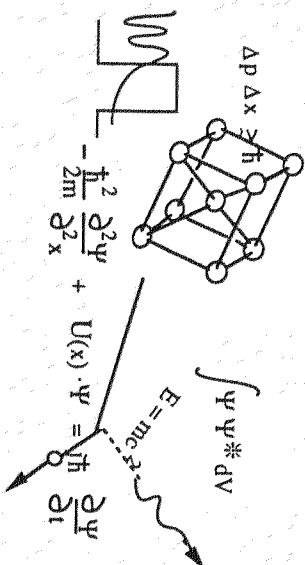


ÖVNINGSEXEMPEL

FYSIK DEL B FÖR E2

- A. RELATIVITETSTEORI
- B. STRÄLNINGSLAGAR
- C. FOTOLEKTRISKA EFFEKTEN
- D. COMPTONEFFEKTEN
- L. KÄRNOR. BINDNINGSENERGI
- M. FUSION. FISSION
- N. RADIOAKTIVT SÖNDERFALL
- O. KRISTALLSTRUKTURER OCH PUNKTDEFEKTER
- P. DIFFUSION
- Q. STATISTISK MEKANIK
- R. ENERGIBAND. ELEKTRISK KONDUKTIVITET. OPTISKA EGENSKAPER
- S. HALVLEDARE
- T. FRIELEKTRONMODELLEN
- U. BLANDADE FASTA TILLSTÄNDET



A. RELATIVITETSTEORI

1. Ett starkt fyrljus roterar med 120 varv/min och kastar ljusstrålen på en skärm 100 000 km från fyren. Skärmen är placerad vinkelrätt mot sammanbindningslinjen fyr-skärm. Vilken är
 - a) svephastigheten för ljusstrålen längs skärmen?
 - b) en foton's hastighet från fyren till skärmen?
 - c) den vinkel under vilken fotonen träffar skärmen?
2. Ange en metod för att synkronisera två klockor A och B belägna på ett avstånd L från varandra.
3. Hur snabbt skall ett föremål röra sig i förhållande till en observatör för att dess uppmätta längd skall vara 99 % av dess vilolängd?
4. Hur fort måste man färdas förbi en cirkulär skiva för att den skall uppfattas som elliptisk med storaxeln 5 ggr större än lillaxeln?
5. En radioaktiv kärna sönderfaller i två lika delar, som vardera har hastigheten 0,60 c i förhållande till den ursprungliga kärnan. Vilka hastigheter har delarna för en observatör i vila, om han ser den ursprungliga kärnan röra sig med hastigheten 0,50 c och sönderfallet sker längs samma rörelselinje?
6. En raket rör sig med hastigheten 0,90 c relativt jorden och avfyrar en liten projektil, som rör sig längs raketens rörelselinje med hastigheten 0,90 c relativt raketen. Beräkna projektilens hastighet relativt jorden.
7. En observatör på jorden ser två rymdskepp närma sig från motsatta håll med hastigheterna 0,80 c resp. 0,90 c. Vilken relativ hastighet mellan de två rymdskeppen uppmäter en observatör på endera skeppet?
8. En astronaut och en kosmonaut (det är skillnad det!) startar samtidigt och färdas med hastigheterna 0,80 c resp 0,60 c till en planet på 12 ljusårs avstånd från jorden. Hur länge får astronauten vänta innan han får tillfälle att samexistera med kosmonauten? Hur gamla är de båda herrarna (alt. damerna) - var och en enligt sin egen tidmätning - då de träffas, om båda vid starten var 35 år?

9. Ett rymdskepp passerar jorden med en hastighet som uppgår till 80 % av ljushastigheten. Sexio sekunder (mätt på en jordbunden klocka) efter passagen utsänds från jorden en ljussignal mot rymdskeppet. Då signalen når skeppet avser dess förare sin klocka. Hur lång tid finner han har förflutit sedan han passerade jorden?
10. Två observatörer, A på jorden och B i en rymdkapsel med hastigheten $2,00 \cdot 10^8$ m/s, ställer båda sina klockor på 1:00,0 när kapseln passerar jorden.
- a) Då A:s klocka visar 1:30,0, avläser A genom ett teleskop B:s klocka. Vad visar den?
- b) Då B:s klocka visar 1:30,0, avläser han A:s klocka på motsvarande sätt. Vad visar den?
11. Hur mycket energi per massenhet krävs för att accelerera en kropp från vila till hastigheten $2,94 \cdot 10^8$ m/s?
12. Hur stor är hastigheten hos en elektron, som från vila blivit accelererad av en elektrisk spänning på $5,0 \cdot 10^2$ kV? Hur stor är dess relativistiska massa?
13. Hur stor energi krävs för att fördubbla hastigheten hos en elektron, vars begynnelsehastighet är
- a) $7,0 \cdot 10^7$ m/s ?
- b) $1,4 \cdot 10^8$ m/s ?
14. Beräkna hastighet, rörelsemängd och relativistisk massa för en elektron vars kinetiska energi är 1,00 MeV.
15. En partikel rör sig med hastigheten 0,80 c relativt en observatör. Den sönderfaller i flykten, varvid en ny partikel med vilomassan 75 % av den ursprungliga emitteras i framåtriktningen och en partikel utan vilomassa (som kan betraktas som en foton i beräkningarna) i bakåtriktningen. Hur stor hastighet har de båda partiklarna relativt observatören?
16. En neutron med kinetiska energin 1000 MeV närmnar sig en proton som vibrerar kring ett jämviktsläge på sådant sätt att dess maximala kinetiska energi är 100 MeV. Vilken är den högsta resp. den lägsta tänkbara relativa hastigheten mellan partiklarna?

17. Ett proton-antiproton-par (p resp. $\bar{p}$) bildas då en mycket snabb proton kolliderar med en annan proton i vila:
- $$p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$$
- Beräkna tröskelenergin för denna reaktion, dvs den lägsta nödvändiga kinetiska energin hos den "anfällande" protonen. (De tre protonerna och antiprotonen är i detta extremitfall i vila relativt varandra omedelbart efter reaktionen.)
18. Med hastigheten 0,80 c passerar en E-teknolog en vilande M-teknolog. Vid just det ögonblick E sveper förbi M startar båda sina stoppur. Då M avsläser tiden 20,0 s på sin klocka sänder han en radarsignal mot E som tar emot och omedelbart återutsänder signalen mot M.
- a) Vid vilken M-tid tar M emot den returnerade signalen?
- b) Vid vilken M-tid tog E emot signalen?
- c) Vilken tid avläste E på sin klocka då han tog emot signalen?
19. Två observatörer (A och B), som rör sig med konstant hastighet i förhållande till varandra, betraktar samma två händelser. För observatör A sker händelserna i samma punkt men med en tidskillnad på 4,0 s. För observatör B är motsvarande tidskillnad 5,0 s. Dessutom uppfattar B att händelserna inträffar i olika punkter i rummet. Hur stort avstånd finner han det vara mellan dessa punkter?
20. Vilolängderna för rymdskeppen A och B är 90 m resp. 180 m. Antag att de färdas med konstant hastighet relativt varandra och i motsatta riktningar. Då de möts passerar de nära varandra. Piloten i A mäter då tiden från det att nosarna möts till dess att rymdskeppens bakdelar lämnar varandra. Han finner att denna tid är 0,90 μ s.
- a) Bestäm rymdskeppens hastighet relativt varandra.
- b) Till vilket resultat kommer piloten i B om han gör samma mätning som piloten i A?

21. En s k π^0 -meson (viloeenergi ≈ 135 MeV) kan sönderfalla i två fotoner. Viloeenergin övergår då i strålningseenergi. I ett experiment observerades att π^0 -mesoner i flykten sände ut en foton i framåtriktningen och en foton i bakåtriktningen (se figur). Då energierna hos fotonerna uppmättes fann man att dessa förhöll sig som 2:1.

Beräkna:

- fotonernas energier.
- π^0 -mesonens hastighet före sönderfallet.



22. Pionen är en instabil elementarpartikel med en viloeenergi på 140 MeV och medellivstiden $2,55 \cdot 10^{-8}$ s (i vilosystemet). Beräkna hastigheten och kinetiska energin hos pioner som i medeltal lämnar ett 1,2 m långt spår i en s k bubbelkammare. Hastigheten får antas konstant längs spåret.

23. En partikel rör sig med hastigheten $2/3$ c relativt en observatör. Partikeln sönderfaller i flykten i två delar vars vilomassor förhåller sig som 3:5. Den lätta (minst vilomassa) partikelns hastighet bestäms relativt observatören till $9/11$ c i den ursprungliga partikelns riktning. Bestäm den andra partikelns hastighet relativt observatören.

24. I en rymdfarkost som rör sig rakt ut från jorden med den konstanta hastigheten $1,00 \cdot 10^8$ m/s registreras hjärtslagen från en astronaut genom att en ljusblixt sänds ut varje gång som astronautens hjärta slår. Ljusblixtarna registreras av en kontrollstation på jorden, som uppmäter tidsavståndet 1,40 s mellan blixternas anländande. Vad mäter astronauten för tid mellan två hjärtslag?

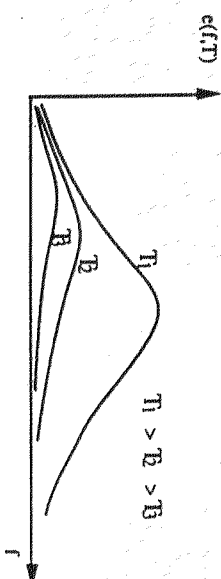
B. STRÅLNINGSLAGAR

Det korrekta uttrycket för den spektrala fördelningen av den elektromagnetiska strålningen från en svart kropp presenterades av Max Planck som fann följande uttryck för energitätheten (energi per volymenhet)

$$w(f,T)df = 8\pi hf^3/c^3 \cdot [\exp(hf/kT) - 1]^{-1} df$$

där h är Plancks konstant, f frekvensen, c ljushastigheten, k Boltzmanns konstant och T är absoluta temperaturen.

Om man istället önskar ett uttryck för den utstrålade intensiteten (effekt/ytenhet) från en svart kropp kan man visa att denna ges av: $e(f,T)df = c/4 \cdot w(f,T)df$



Detta innebär alltså att den energi som strålar ut per ytenhet och tidsenhet från en svart kropp och som har frekvenser mellan f och $f + df =$

$$= e(f,T)df = 2\pi hf^3/c^2 \cdot [\exp(hf/kT) - 1]^{-1} df \quad \text{om istället:}$$

emitterad intensitet med våglängder mellan λ och $\lambda + d\lambda$:

$$e(\lambda,T)d\lambda = 2\pi hc^2/\lambda^5 \cdot [\exp(hc/\lambda kT) - 1]^{-1} d\lambda$$

- Visa genom integration av Plancks strålningslag att den totala strålningseenergin är proportionell mot fjärde potensen av temperaturen, dvs $E = \sigma \cdot T^4$.

- Det kan ibland vara lämpligt att betrakta strålningen som funktion av våglängden. Härled $w(\lambda,T)$ utgående från $w(f,T)$.

- Härled utgående från Plancks strålningslag,

$$w(\lambda,T) = 8\pi hc/\lambda^5 \cdot [\exp(hc/\lambda kT) - 1]^{-1}$$

vid vilken våglängd strålningsintensiteten är maximal.

4. Beräkna solens ytemperatur om man antar att solstrålningens energimaximum ligger vid $0,5 \mu\text{m}$.
5. En fullständigt svart kropp med temperaturen 1185°C har energimaximum vid våglängden $2,0 \mu\text{m}$. Beräkna våglängden för energimaximum vid 1900°C .
6. En glödlampa som tillförs effekten 25 W har glödlådstemperaturen 2400 K . Vad blir denna temperatur om den tillförda effekten ökas till 40 W ? Glödlådens yta kan ur strålningssynpunkt betraktas som svart och den tillförda effekten kan i sin helhet anses omvandlad i strålning.
7. Vid studium av strålningen från solen har man funnit att intensitetsfördelningen väl ansluter till den teoretiska fördelningen från en svart kropp med ett maximum vid $0,50 \mu\text{m}$.
Beräkna ändringen i totalt utstrålad effekt om solens temperatur sänks med 500 K .
Beräkna dessutom ändringen i intensitet för en ultraviolet (2000 Å) och en infraröd (8000 Å) linje.
8. (Den använda spektrometern mätte intensiteten inom ett 10 Å brett våglängdsintervall.)
Den totalt emitterade strålningseffekten per ytenhet från en svart kropp är $0,91 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$. Hur stor är den emitterade effekten (per ytenhet) i våglängdsintervallet 10 Å vid den våglängd där strålningen har maximal intensitet?

C. FOTOELEKTRISKA EFFEKTER

1. Uträdesarbetet för natrium är $2,0 \text{ eV}$. Beräkna den maximala kinetiska energin hos de emitterade fotoelektronerna, då en natriumyta belyses med ljus av våglängden 4000 Å . Vad är elektronernas maximala hastighet?
2. 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 ultraviolet ljus av våglängden 180 nm .
3. Ljus med våglängden 700 nm kan nätt och jämnt utlösa elektroner från en kaliumyta.
a) Beräkna hur mycket energi som krävs för att frigöra en av de energirikaste elektronerna i kalium.
b) Beräkna den kinetiska energin och hastigheten hos en sådan elektron vid belysning av kaliumytan med ljus av våglängden 500 nm .
4. En fotocell anslutes till ett känsligt strömmätningssinstrument och en variabel spänningskälla. Om fotokatoden belyses med ljus av våglängden 4358 Å blir mätningssinstrumentet strömlöst vid en viss spänningsdifferens mellan elektroderna. Sker belysningen med ljus av våglängden 2537 Å måste spänningsdifferensen ändras med $2,04 \text{ volt}$ för att mätningssinstrumentet åter skall bli strömlöst.
Beräkna härur värdet av Plancks konstant.
5. Då monokromatiskt ljus med våglängden 6200 Å infaller mot en viss metallyta emitteras elektroner. Omedelbart utanför metallytan har de emitterade elektronerna hastigheter från 0 m/s och upp till $2,7 \cdot 10^5 \text{ m/s}$.
Beräkna uträdesarbetet (uttryckt i eV) för metallytan.

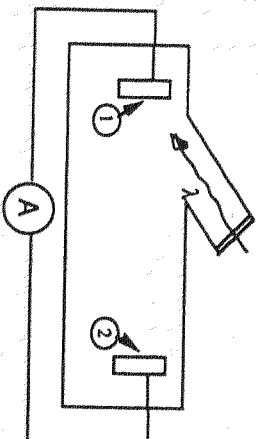
6.

Ett vakuumrör innehåller två elektroder (emitter och kollektor) tillverkade av metaller med olika utträdesarbete. Emittens utträdesarbete är 2,0 eV och kollektorns utträdesarbete är 3,5 eV. Elektroderna är utanför vakuumröret sammankopplade med en metalltråd och en amperemeter (se figur). Det faktum att det inte finns någon yttre spänningsskälla inkopplad innebär att Fermi-nivån för kollektor och emitter har samma energi.

- a) Då emittern belyses med ultraviolett ljus med våglängden 3100 Å flyter en ström genom amperemetern.

Beräkna den maximala kinetiska energin hos de från emittern utsända elektronerna dels

- då de befinner sig i området omedelbart utanför emittens yta (område ① i figuren).
 - då de befinner sig i området omedelbart framför kollektorns yta (område ② i figuren).
- b) Beräkna den längsta våglängd som ljus kan ha för att det skall flyta en ström genom amperemetern.

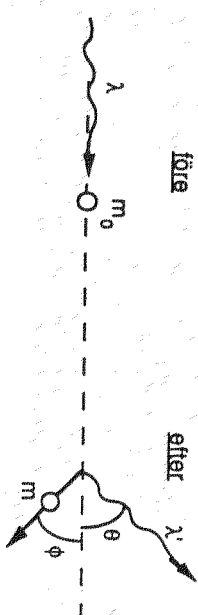


7. En fotocell (elektroderna är tillverkade av olika metaller med emittens och kollektorns utträdesarbeten kända; 2,3 resp. 2,8 eV) ansluts till en pikoampere-meter och en variabel spänningsskälla. Då emittern belyses med ljus av en viss våglängd flyter en ström genom amperemetern. Denna ström minskar när spänningsdifferensen mellan elektroderna ökar och vid en spärtpänning på 1,1 V blir amperemetern helt strömlös. Beräkna dels våglängden hos det mot emittern infallande ljuset och dels den maximala kinetiska energin hos de emitterade elektronerna i området omedelbart utanför emittens yta.

D. COMPTONEFFEKTEN

1. Härled Comptons spridningsformel:

$$\lambda' - \lambda = h/m_0c \cdot (1 - \cos\theta)$$



Beräkna värdet på comptonvåglängden: $\lambda_c = h/m_0c$, om den spridande partikeln är en elektron. (h är Plancks konstant, m_0 spridande partikelns vilomassa och c är ljushastigheten) Visa även att λ_c har dimensionen längd.

2. Betrakta en γ -foton som har en energi lika med viloeenergin för en elektron. Antag att fotonen sprids av en fri elektron som ursprungligen befinner sig i vila. Hur hög hastighet kan elektronen maximalt få vid en sådan process. Uttryck svaret i procent av ljushastigheten.

3. Om den mot fria elektroner anfallande fotonstrålens våglängd är 1,5 pm, vilka våglängder har de fotoner som sprides med avbøjningsvinkeln a) 45° och b) 135°? Vilken energi överföres till elektronerna i dessa båda fall?

4. Vid comptonspredning av en 2 MeV-foton mot en fri elektron ändras våglängden med 25 %. Hur stor energi har överförts till elektronen?

5. Ett gammakvantum med energin 300 keV comptonspreds av en fri elektron. Beräkna den maximala kinetiska energi som rekylelektronen kan erhålla!

6. Figuren ovan visar hur en foton comptonspreds mot en fri partikel, som ursprungligen befinner sig i vila. Det kan vid en sådan process inträffa att vinklarna θ och ϕ får samma värde. Visa utgående från grundläggande konserveringslagar att detta värde i så fall måste vara mindre än 60°.

7. En fri elektron som ursprungligen befinner sig i vila träffas av en γ -partikel med energi 0,500 MeV. Elektronen erhåller en kinetisk energi på 0,100 MeV. Bestäm spridningsvinkeln (dvs vinkeln mellan inkommande och utgående fotonriktningar).

L. KÄRNOR. BINDINGSENERGI

1. Beräkna den approximativa densiteten hos "kärnmateria".
2. När 1 kg dynamit exploderar frigörs $5,4 \cdot 10^6$ J. Hur stor del av totala energiinnehållet i 1 kg materia utgör detta?
3. Beräkna
 - a) totala bindingsenergin
 - b) bindingsenergin per nukleon för α -partikeln.
4. a) Beräkna differensen i bindingsenergi mellan tritium (${}^3_1\text{H}$) och helium-3 (${}^3_2\text{He}$).
 b) Vilket proton-proton-avstånd krävs i ${}^3\text{He}$ för att den just beräknade bindingsenergi-differensen skall kunna bokföras på Coulombenergins konto?
 c) Kontrollera rimligheten i detta proton-proton-avstånd genom att beräkna kärndiametern hos ${}^3\text{He}$ (och ${}^3\text{H}$).
5. Beräkna bindingsenergin 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 bindingsenergier är av teknologiskt ekonomiskt intresse.
6. 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:

$${}^{235}_{92}\text{U} + n \rightarrow {}^{139}_{56}\text{Ba} + {}^{94}_{36}\text{Kr} + 3n$$
 Bindningsenergin per nukleon för ${}^{235}\text{U}$, ${}^{139}\text{Ba}$ och ${}^{94}\text{Kr}$ är 7,7, 8,3 respektive 8,7 MeV.
7. 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

1. 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.
2. I en hypotetisk fusionsreaktion $3\text{H} + {}^6_3\text{Li} \rightarrow {}^9_4\text{Be}$ 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".
3. Vid fission av en ${}^{235}\text{U}$ -kärna frigörs i medeltal 200 MeV.
a) Vilken aktivitet (uttryckt i sönderfall per sekund) krävs för att producera effekten 1,0 MW?
b) Hur mycket ${}^{235}\text{U}$ (uttryckt i kg) måste tillföras under ett år för att effekten skall kunna hållas konstant?
4. Antag att energiproduktionen i en kärnreaktor domineras av fissionsprocessen ${}^{235}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{236}\text{U}^* \rightarrow {}^{144}\text{Ba} + {}^{89}\text{Kr} + 3 {}^1_0\text{n}$ där de två dotterkärnorna sedan via 4 resp 3 β^- -sönderfall övergår i de stabila nukliderna ${}^{144}\text{Nd}$ resp. ${}^{89}\text{Y}$.
Beräkna uranförbrukningen (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.
5. Bland de tänkbara processerna i framtida fusionsreaktorer diskuteras flera litium-deuterium-fusioner.
En av dessa är ${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He}$.
a) Beräkna energivinsten per fusion.
 ${}^6_3\text{Li}$ har atommassan 6,015123 u.
b) Beräkna den årliga bränsletgången (massan Li + D) i en fusionsreaktor, som kontinuerligt ger 800 MW bruttoeffekt.

6. Beräkna den frigjorda energin vid en med en termisk neutron inducerad fission av uran ${}^{235}\text{U}$, då fissionsprodukterna är de stabila nukliderna barium 138 och krypton 84 förutom ett antal neutroner.

Atommassor: ${}^{235}\text{U}$: 234,04098 u ${}^{138}\text{Ba}$: 137,90524 u
 ${}^{84}\text{Kr}$: 83,91150 u

N. RADIOAKTIVT SÖNDERFALL

1. 60 timmar efter det att β -källan ${}^{24}\text{Na}$ preparerats återstår endast 6,25 % av ${}^{24}\text{Na}$.
Beräkna isotopens halveringstid.
2. $3 \cdot 10^{-14}$ kg ${}^{214}\text{Pb}$ ger aktiviteten 1 millicurie ($1 \text{ Ci} = 3,70 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$).
Beräkna sönderfallskonstanten för ${}^{214}\text{Pb}$.
3. I ett uranmineral har man funnit bly ${}^{206}\text{Pb}$. Man vet att ${}^{238}\text{U}$ omvandlas till ${}^{206}\text{Pb}$ genom en serie av α - och β -sönderfall. Halveringstiden för ${}^{238}\text{U}$ 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.
4. ${}^{235}\text{U}$ kan användas för att ge en övre gräns för jordens ålder genom att jämföra den naturliga förekomsten av ${}^{238}\text{U}$ och ${}^{235}\text{U}$. Isotopförekomsterna utgör idag 99,28 % ${}^{238}\text{U}$ och 0,72 % ${}^{235}\text{U}$. Halveringstiden för ${}^{238}\text{U}$ är $4,5 \cdot 10^9$ år och för ${}^{235}\text{U}$ $7,1 \cdot 10^8$ 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 ${}^{235}\text{U}$. Beräkna jordens ålder.

5. 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}U) 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}U : 238,05082 u och ^{206}Pb : 205,97446 u.

6. ^{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 avta 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.

7. 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 rekylenergi.)

8. Strålningen från ett radioaktivt preparat registrerades med ett GM-rör.

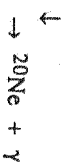
Antalet pulser som erhöles från GM-röret under en minut vid olika tidpunkter var:

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.

9. ^{20}F sönderfaller till grundtillståndet av ^{20}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.

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



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

Beräkna dels

- reaktionens Q-värde
- den sammanlagda kinetiska energin hos slutprodukterna. Atommassorna för $^{20}_{10}\text{Ne}$ och $^{19}_9\text{F}$ är 19,992440 u resp. 18,998405 u.

11. a) $^{61}_{28}\text{Cu}$ kan produceras genom bestrålning av $^{60}_{28}\text{Ni}$ med neutroner i en acceleratör



Vid en sådan bestrålning producerades $2,40 \cdot 10^{-12}$ g $^{61}_{29}\text{Cu}$. Hur stor var aktiviteten i detta preparat 24 timmar efter tillverkningen? Halveringstiden för $^{61}_{29}\text{Cu}$ är 3,41 timmar.

- b) $^{61}_{28}\text{Cu}$ sönderfaller genom β -sönderfall till $^{61}_{29}\text{Ni}$. Skriv upp sönderfallsformeln och beräkna maximala β -energin när sönderfallet sker till ett exciterat tillstånd som ligger 0,66 MeV över grundtillståndet i $^{61}_{29}\text{Ni}$. Atommassorna för $^{61}_{28}\text{Cu}$ och $^{61}_{29}\text{Ni}$ är 60,933462 u resp. 60,931057 u.

0. KRISTALLSTRUKTURER OCH PUNKTDEFEKTER

- Hur många "närmaste grannar" har en atom i strukturerna bcc, fcc resp. hcp?
- Om atomerna i en metall betraktas som sfärer (som tangerar sina närmsta grannar) kan deras radie R bestämmas utgående från kristallstrukturen och gitterkonstanten a.
 - Beräkna R uttryckt i a för ett enkelt, rymdcentrerat resp. ycentrerat kubiskt gitter.
 - Beräkna hur stor del av kristallens totala volym som upptas av "atomsfärerna" i de tre fallen. Vilken struktur är mest tätpackad?
- Kisel har diamanstruktur. Närmaste atomavstånd är 2,35 Å. Beräkna densiteten. (Atomvikten för Si är 28,0 u).
- Guld (fcc, ycentrerad kubisk) har densiteten 19 300 kg/m³ och atomvikt 197 u. Beräkna avståndet mellan två närliggande atomplan för den planskara där planen är maximalt tätpackade (dvs de plan som har det högsta antalet atomer per ytenhet). Beräkna också atomradien, om man antar att atomerna uppför sig som sfärer, vilka står i kontakt med varandra.
- 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.
- Aktiveringsenergin för bildning av en vakans i en viss metall är 0,65 eV. Beräkna dels förhållandet mellan antalet vakanser och antalet atomer i gittert vid rumstemperatur (300 K), dels förhållandet mellan antalet vakanser vid rumstemperatur resp. strax under smältpunkten (1100 K).

7. Visa att vakansstäheten 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.

8. Punkdefekter i en metall ger ett icke försumbart bidrag till resistiviteten vid låg temperatur p g elektronspredning mot defekterna. Denna extra spridning är direkt proportionell mot antalet punkdefekter.

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

$T(\text{K})$	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.

9. Gitterkonstanten för järn (bcc) är $a = 2,90\text{ Å}$. Neutroddiffraction observerades från (110)-plan. Vilken är den minsta kinetiska neutronenergi som erfordras för att erhålla 2:a ordningens diffraction från dessa plan?

10. Braggvinkeln för en viss reflex från ett prov bestående av kopperpulver var $47,75^\circ$ vid 20° C och $46,60^\circ$ vid 1000° C . Beräkna den termiska längdvidningskoefficienten hos Cu.

11. I ett s.k. Debye-Scherrer diffraktogram bestämmer man Braggvinklarna θ för diffraction. I ett visst experiment med Al-pulver noterades följande data med Cu K_α -strålning ($\lambda = 1,54\text{ Å}$).

$$\theta (^\circ) : 19,48, 22,64, 33,00, 39,68, 41,83, 50,35, 57,05, 59,42$$

Använd ovanstående för att ta reda på aluminiums kristallstruktur och aluminiums gitterkonstant. (Tillåtna reflexer: se fig. nedan från lab F3)

12. Vid en Debye-Scherrer-upptagning uppmäts de sex minsta Braggvinklarna till $9,57^\circ$, $13,6^\circ$, $16,7^\circ$, $19,4^\circ$, $21,8^\circ$ och $24,0^\circ$. Strålningens våglängd är $1,37\text{ Å}$. Identifiera ämnet med hjälp av tabellen nedan.

Kristallstruktur för grundämnen och föreningar.
Gitterkonstanter angivna i Å.

bcc:	Ba	Cr	Cs	Eu	K	Li	Mo
	5,015	2,878	6,033	4,578	5,225	3,509	3,141
	Na	Nb	Rb	Ta	W		
	4,282	3,294	5,585	3,299	3,158		
fcc:	Ag	Al	Ar	Au	Ca	Ce	Cu
	4,078	4,041	5,31	4,070	5,582	5,160	3,608
	Ir	K	Ne	Ni	Pb	Pd	Pt
	3,839	5,64	4,46	3,517	4,941	3,882	3,915
	Rh	Sr	Th	Yb			
	3,795	6,085	5,084	5,481			
sc:	CsCl	CsBr					
	4,115	4,277					

13. Röntgendiffraktion på ett ämne med yccentrerad kubisk struktur gav en (111)-reflex vid $\theta = 20,00^\circ$ (θ är Braggvinkeln, dvs är halva avböjningsvinkeln, på vanligt vis) när CuK_α -röntgenstrålning ($\lambda = 1,54\text{ Å}$) användes vid rumstemperatur (300 K). Då provets temperatur höjdes 300 grader, minskade θ med $0,0030$ radianer.

- a) Beräkna den linjära utvidningskoefficienten för gitterkonstanten (relativa längdförändringen per grad) hos ämnet ifråga.

- b) En separat mätning av ämnets längdvidning gav $1,7\%$ då provet värmdes 300 grader. Kan Du ge en möjlig orsak till varför längden varierar mer än vad man skulle vänta sig från den linjära utvidningen av gitterkonstanten?

14. Si kristalliserar i diamanstruktur, dvs ett fcc gitter med basen (0,0,0) och (1/4, 1/4, 1/4). Beräkna spridningsvinklarna för de första två tillåtna reflexerna i ett Debye-Scherrer-experiment. Gitterparametern för Si är $5,40\text{ Å}$. Röntgenstrålningens våglängd är $1,54\text{ Å}$. (Tillåtna reflexer se fig. nedan.)

15. Enhetcellen hos Cu (fcc) har kantlängden 0,36 nm. Vilken är den längsta våglängd som röntgenstrålning kan ha för att få diffraktion från de mest tätpackade planen? (i fcc är (111)-planen de mest tätpackade). Från vilka plan kan 0,50 nm strålning bli diffrakterad?

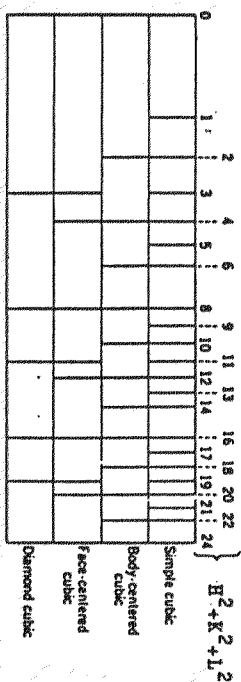


Fig. 8. Tillåtna reflexer för olika kubiska strukturer.

P. DIFFUSION

1. a) Beräkna förhållandet mellan diffusionskoefficienterna vid 1000 K resp. 300 K för självdiffusion i en metall, då den potentialvall en diffunderande atom har att passera är 1,7 eV.

b) I en egenledande halvledare som utsätts för ett elektriskt fält måste även om halvledaren inte alls är inkopplad i någon krets elektron- och hål-tätheterna reorganiseras på något sätt. De resulterande täthetsgradienterna bör leda till diffusionsströmmar, men vid stationärt tillstånd är naturligtvis nettoströmmen noll.

Visa att dessa krav leder till de s k Einsteinrelationerna mellan mobilitet och diffusionskoefficient för dels elektroner, dels hål.

2. Egenledande germaniums resistivitet vid 300 K är 0,47 ohm ·m. Elektron- och hål-mobiliteterna är resp. 0,36 m² V⁻¹ s⁻¹ och 0,17 m² V⁻¹ s⁻¹. Beräkna den intrinsiska elektron- och håltätheten.

3. Beräkna elektron- och håldiffusionskoefficienterna i rent Ge vid 300 K.

Nödvändig information i uppgiften ovan!

4. Uppskatta värdet på diffusionskonstanten för koltomer i järn vid 500 °C om den är 1,1 · 10⁻¹² m²/s vid 300 °C. Aktivierungsenergin för diffusionsprocessen är 0,9 eV.

5. För sfäriska kolloidala partiklar i ett lösningsmedel vars molekyler « partiklarna gäller en Einstein-relation analogt den vi känner för laddningsbärare i fasta kroppar. Laddningen e har då ersatts av partikelmassan m och mobiliteten μ definieras som kvoten mellan 'sedimenteringshastigheten' v och kraften per massenhet

$$\mu = \frac{v}{F/m} \quad \text{iffr. } \mu_e = \frac{v}{F/e}$$

Einsteinrelationen skrivs följaktligen $\mu kT = mD$. Visa att detta är korrekt.

Tips: jämför sedimenterings-och diffusionsfluxen för en kolloidal lösning i ett vertikalt kärl vid jämvikt.

Sedimenteringshastigheten bestäms av Stokes' lag (iffr fluidmekaniken) $F = 6 \pi \eta r v$.

Visa att diffusionskoefficienten kan skrivas

$$D = \frac{1}{6\pi\eta r} \frac{RT}{N_A}$$

där

R = allmänna gaskonstanten,
 N_A = Avogadros tal.

6. Den av The Svedberg konstruerade -med Nobelpris belönade- ultracentrifugen kan bl a användas vid bestämning av stora molekylers molekylvikter via Einstein-relationen (se problem P5).

Beräkna molekylvikten för hemoglobin på basis av följande data:

Vid varvtalet 533 s^{-1} förflyttas hemoglobimolekyler från läget $5,94 \text{ cm}$ till $7,17 \text{ cm}$ från rotationsaxeln på $10 \text{ h } 29 \text{ min}$.

Hemoglobinet är uppslammat i vatten, i vilket dess

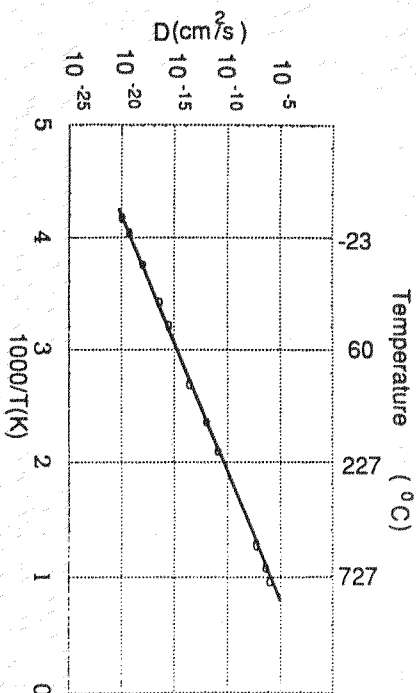
diffusionskoefficient vid den aktuella temperaturen 20°C är $D = 6,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Hemoglobinetts densitet är $1,335 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

Beräkna även diffusionskoefficienten under antagandet att molekylerna är sfäriska. Jämför med det givna värdet på D och besvara frågan om hemoglobimolekylerna är sfäriska eller ej.

Vattens viskositet är $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ vid 20°C .

7. I nedanstående diagram visas temperaturberoendet för diffusionskonstanten D vid diffusion av kolatomer i järn. Ange aktiveringsenergin i elektronvolt för diffusionsprocessen.



9. STATISTISK MEKANIK

1. En viss vägaslåga (vid temperaturen 5000 K) innehåller totalt 10^{20} atomer fördelade enhart på energinivåerna karakteriserade av $n = 2$ och $n = 3$. Hur många atomer finns det då på vardera nivån? 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 $0,5 \text{ eV}$? Betrakta elektronerna som en tvådimensionell gas av fria elektroner och utför beräkningen vid $T = 0 \text{ Kelvin}$.

Plotta först fram ett uttryck på tillståndstätheten (dvs antalet elektronstillstånd per energi- och ytenhet). Bestäm även Fermi-energin (dvs elektronernas maximala kinetiska energi vid $T = 0 \text{ Kelvin}$).

3. Antag att elektroner är fria att röra sig i endast en dimension uetter en sträcka, vars längd är L . Härled ett uttryck för tillståndstätheten (dvs antalet elektronstillstånd 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 bidrar med en elektron till ledningsbandet.)

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

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

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:

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

7. Som Stern-Gerlachs försök visar kan elektronens spin (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 spin upp (parallellt B) resp spin ner, då vi har en förtunnad elektron gas 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, hfi, 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 ökar till $3,0 \text{ cm}$. Hur många elektroner kan då maximalt rymmas i lådan om det skall vara möjligt att med hfi excitera en elektron från det lägsta energitillståndet? (antag: $T=0 \text{ K}$)

R. ENERGIBAND, ELEKTRISK KONDUKTIVITET, OPTISKA EGENSKAPER.

1. Beräkna elektronernas driftfäshastighet i Cu vid strömtätheten $10,0 \text{ A/mm}^2$. Cu har massalet 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 .
2. Beräkna ledningselektronernas Fermifäshastighet (hastigheten vid Fermiivåen) i koppar, då Fermienergin är $7,0 \text{ eV}$.
Varför har denna hastighet som så radikalt avviker från driftfäshastigheten inget med den makroskopiska strömmen genom en ledare att göra?
3. Mellan ändpunkterna av en jämnöck koppartråd (cirkulärt tvärsnitt med diametern $2,00 \text{ mm}$; längd $2,00 \text{ m}$) är spänningen $40,0 \text{ mV}$.
a) Beräkna strömtätheten j och strömsstyrkan i .
b) Beräkna ledningselektronernas driftfäshastighet.
c) Beräkna deras mobilitet.
d) Beräkna fermifäshastigheten.

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 $63,55 \text{ u}$
antal ledningselektroner per atom $1,00$
fermienergi $4,7 \text{ eV}$
4. 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. $2,00 \text{ eV}$.

Vi vet att de mest prominenta halvledarna har bandgap i trakterna av de första två värdena. Är det då rimligt att bekräfta det tredje ämnet för tendenser till elektronpolitisk isolatörism?
5. 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.

6. 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 .
7. Vilken blir den relativa ändringen i konduktivitet hos en halvledare vars bandgap är $1,00 \text{ eV}$ (vid och något över rumstemperatur), om dess temperatur höjs från 27°C till 37°C ?
8. För germaniums resistivitet gäller approximativt temperaturberoendet
$$\rho = \exp(E_g/2kT)$$

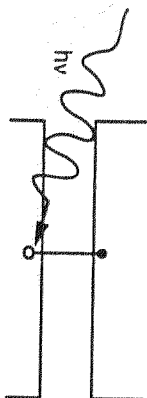
där E_g är bandgapet.

Beräkna bandgapet, om resistiviteten vid 20°C och 100°C uppmätts till 50 ohmm resp $2,5 \text{ ohmm}$.
9. För CuO , som kan betraktas som en egenledande halvledare, har man vid en mätning funnit följande temperaturberoende hos konduktiviteten:

Temperatur ($^\circ \text{C}$)	100	150	200	250	300	350
Konduktivitet((ohmm) $^{-1}$)	0,47	0,81	1,25	1,82	2,42	2,95

Bestäm bandgapet i eV .

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



- a) Beräkna den största våglängd som skulle kunna detekteras med germanium, vars bandgap är 0,72 eV.
- b) 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.
11. 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?
12. Härled ett uttryck för elektrontätheten i ledningsbandet (och hålltätheten 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.
13. 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?

5. HALVLEDARE

1. Ett germaniumprov av hög renhet har intrinsiskt (egenledande) uppförande vid 300 K. $\lambda^{-1} = 5,8 \cdot 10^5 \text{ m}^{-1}$ är våglängdsgränsvärdet då man får kontinuerlig absorption av optisk strålning. Hur mycket måste temperaturen höjas för att konduktiviteten skall öka 20 %?
2. Ett stycke Si innehåller $1 \cdot 10^{-4}$ atomprocent av fosfor. Alla fosforatomerna kan betraktas som joniserade vid rumstemperatur. Elektronmobiliteten är $0,13 \text{ m}^2/\text{Vs}$. Beräkna provets resistivitet. (Betänk att för högre Si vid rumtemp är elektron- och hål-tätheterna flera storleksordningar mindre än ovan givna donatorkoncentration). (Atomvikten är 28,1 u för Si medan densiteten är 2330 kg/m^3).
3. Ett n-dopat germaniumprov vid en viss temperatur innehåller 10^{23} joniserade donatorer per kubikmeter. Uppskatta förhållandet mellan resistiviteterna av detta material och av ett högre germaniumprov. Vid ifrågavarande temperatur gäller att $n \cdot p = n_i^2 = 1,0 \cdot 10^{38}/\text{m}^6$.
4. Den effektiva elektronmassan i indiumantimonid är ca 0,01 av fria elektronmassan. Relativa dielektricitetskonstanten är 17. Använd Bohrmodellen för att uppskatta jonisationsenergin hos en donatoratom. Vilken blir radien hos elektronbanan runt donatoratomen?
5. I en n-dopat halvledare av Ge är elektrontätheten i ledningsbandet vid rumstemperatur $1,7$ gånger större än vad den skulle vara i avsaknad av dopning. Vid ifrågavarande temperatur gäller att samtliga donatoratomer kan antas vara joniserade samt att $n \cdot p = 5,4 \cdot 10^{38}$. Beräkna förhållandet mellan antalet donatorer och Ge-atomer.

6. Rent Si innehåller $5 \cdot 10^{28}$ kiselatomer per m^3 . Intrinsiska hål- och elektronkoncentrationer, $n_i \sim 1.5 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$ vid 300K. Energigapet är ca 1.1 eV. Max löslighet av dopningsämnen ca 0,1 %. Normal dopning ca 10^{20} per m^3 . Elektron- och hålmobiliteterna:

$$\mu_e = 0.13 (T/300)^{-3/2} \text{ m}^2/\text{Vs};$$

$$\mu_h = 0.05 (T/300)^{-3/2} \text{ m}^2/\text{Vs}.$$

$$n = n_0 \exp \{ (E_F - E_g)/kT \};$$

$$p = p_0 \exp \{ -E_F/kT \} \text{ där } n_0 = p_0 = 2.5 \cdot 10^{25} \text{ vid } T = 300 \text{ K}$$

$$n \cdot p = n_i^2$$

- a) Beräkna n_i för $T = 250, 500, 700 \text{ K}$.
- b) Antag att Si n-dopas med 10^{20} As-atomer per m^3 . Beräkna n och p vid 300 K. (Beträkta alla donatorer som joniserade) För vilken temperatur blir halvledaren intrinsisk?
- c) Hur stor är resistiviteten för intrinsisk Si vid 300 K?
- d) n-dopa kiset med 10^{20} donatorer per m^3 . Uppskatta resistansen hos en provkropp $10 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ (mätt längs långa axeln) dels vid rumstemperatur (300K) och dels vid 700 K. Vilket temperaturberoende har resistansen i de två fallen?

7. Ett halvledarprov uppvisade följande resistansvärden vid olika temperaturer:

TKl	312	330	354	385	420
Rl[Ω]	11.8	5.88	2.33	0.90	0.35

Beräkna energigapet.

(Försumma temperaturberoendet hos mobiliteten jämfört med det exponentiella temperaturberoendet hos antalet laddningsbärare.)

8. Germanium dopas med 10^{-3} at % As. Hur påverkar detta ledningsförmågan? Beräkna kvoten mellan ledningsförmågorna för dopat och rent Ge. Ed för As i Ge ligger 0.013 eV från ledningsbandskanten och donatorerna kan anses joniserade då temperaturen är sådan att $n \cdot p = 1.0 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$. (För Ge gäller: atommassa = 72.6 u; $\rho = 5320 \text{ kg/m}^3$, elektron och hål-mobiliteterna: är 0,38 och 0,18 m^2/Vs respektive)

9. Ett germaniumprov är dopat med 0.001 atomprocent arsenik. Antag att samtliga arsenikatomer är joniserade och bestäm

- a) elektron- respektive hållätheten för provet.(Ge-data och temperatur från uppgift S8). Hur stor är resistiviteten vid ovan givna temperatur för
- b) rent Ge ?
- c) Ge med 0.001 atomprocent As ?

10. En halvledare med bandgap 0.30 eV är dopad med $1.0 \cdot 10^{21}$ donatoratomer per m^3 . Vid temperaturer över 100 K kan dessa betraktas som helt joniserade.

Beräkna koncentrationen av elektroner och hål vid temperaturerna 100 K, 200 K och 300 K.

11. 100 g Si dopas med 4 μg Al. Halten av övriga föroreningar är avsevärt mindre. Jonisationsenergin är av storleksordning 0.01 eV. Vilken konduktivitet fås vid rumstemperatur om mobiliteten för elektronerna i kisel är 0.13 m^2/Vs och för hål 0.05 m^2/Vs .

12. Ett kiselprov innehåller 10^{15} donatoratomer/ cm^3 . Donatornivån ligger 30 meV under ledningsbandets minimum. Ange Fermi-nivåns läge vid rumstemperatur, vid mycket låg temperatur och vid 1200 K.

13. a) En Si kristall dopas med 10^{21} As-atomer per m^3 . Beräkna resistiviteten vid den temperatur där du i uttrycket för n och p kan sätta $n_0 = p_0 = 2.5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$. Beräkna även Fermi-nivåns läge vid denna temperatur. Mobiliteterna i Si: $\mu_e = 0.13 \text{ m}^2/\text{Vs}$ och $\mu_h = 0.05 \text{ m}^2/\text{Vs}$.

- b) Hur kan man experimentellt bestämma bandgapets storlek och donatornivåns läge. Beskriv kortfattat två metoder för att bestämma bandgapet och en metod för att bestämma donator-nivån.

1. FRIELEKTRONMODELLEN

1. 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:

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

2. 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:

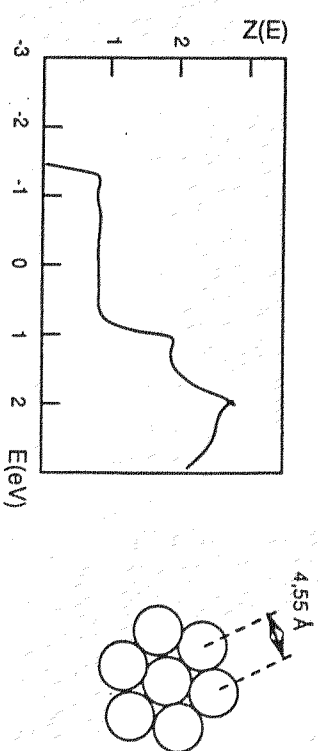
$$\frac{N(E)}{V} = 4\pi \left(\frac{\sqrt{2}m}{h} \right)^3 \cdot \sqrt{E}$$

3. 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:

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

4. 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 datorid. 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 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 bidrager 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 $N(E)$ kan Du alltså försöka räkna om till enheter av tillstånd per atom och eV för att kunna jämföra med diagrammet.

5. Hur stor andel av ledningselektronerna i koppar har kinetiska energier i intervallet 3,95-4,00 eV? Beträkta en elektron per Cu-atom som medlem i en "fri" elektron gas. (Nödvändiga Cu-data från handböcker)
6. Kalium har atomvikten 39 och tätheten 860 kg/m^3 . Bestäm
a) Fermienergin, E_F , vid 0 K, samt
b) tillståndstätheten vid E_F för ett prov med volymen 1 cm^3 .
c) Uppskatta hur stor del av de fria elektronerna som har energier inom kT av E_F vid $T = 300 \text{ K}$?

7. Fermienergin hos koppar vid 0 K är 7.0 eV. Beräkna ledningselektronernas medelenergi och deras rms-hastighet $\langle v^2 \rangle^{1/2}$.
8. Visa att Fermivektorn k_F ges av $k_F = (3\pi^2 n)^{1/3}$ där n är tätheten av fria elektroner.
9. Natrium är en monovalent metall som i många sammanhang beskrivs mycket väl av frielektronmodellen. Kristallstruktur och gitterkonstant framgår av tabellen på första sidan. Resistiviteten vid rumstemperatur är $4,2 \cdot 10^{-8} \Omega m$.
 - i) Beräkna numeriska värden på Fermivävektorn och Fermienergin för natrium.
 - ii) Vilken blir ledningselektronernas driftshastighet vid rumstemperatur i ett elektriskt fält av 1 V/m och hur mycket påverkas Fermisfären av detta fält?
 - iii) Hur nära är Fermisfären närmsta Brillouinzonegräns? Besvara frågan genom att beräkna kvoten mellan Fermisfärens radie och avståndet till närmsta Brillouinzonegräns. (Ledning: Reciproka gitter till ett bcc-gitter (med gitterkonstant = a) är ett fcc-gitter (med gitterkonstant = $4\pi/a$))

U. BLANDAT FASTA TILLSTÅNDET

1. a) Beräkna elektronbidraget till värmekapaciteten hos en mol koppar vid 300 K. Fermienergin kan sättas till 7.0 eV.
b) Vid vilken temperatur blir elektron- och gitterbidragen till värmekapaciteten lika?
Gitterbidraget $\approx 1941 (T/\theta_D)^3$ J/mol K. Debyetemperaturen $\theta_D = 349$ K.
2. Hallkoefficienten för flytande Al är $-3,9 \cdot 10^{-11} m^3/As$. Vid 77 K är elektronernas relaxationstid (tid mellan två spridningar) $6,5 \cdot 10^{-14}$ s. Hur stor är elektriska ledningsförmågan hos Al vid 77 K?
3. Fermienergin hos Al är 12 eV och elektriska resistiviteten är $3,0 \cdot 10^{-8} \Omega m$ vid 300 K. Beräkna fria medelväglängden för ledningselektronerna och deras genomsnittliga driftshastighet i ett elektriskt fält av 1000 V/m. Atomvikten för Al är 27 u och densiteten 2700 kg/m³.
4. Hallkoefficienten för kristallin Al är $-0,37 \cdot 10^{-10} Vm/AT$. Hur många elektroner per atom kan betraktas som fria? Atomvikten för Al är 27 u, densiteten är 2700 kg/m³.
5. Halleffekten används för att bestämma laddningsbärarkoncentrationer hos ledare och halvledare.
a) Vad menas med Halleffekt? Vad mäter man?
b) För metallen koppar uppmättes Hallkonstanten till $R_H = -0,55 \cdot 10^{-10} Vm/AT$ (eller m^3/As). Vad för slags laddningsbärare (elektroner eller hål) är det i Cu och hur många bidrar varje kopparatom med? Cu har fcc-struktur med gitterkonstant 3,6 Å.
6. Atomstrukturen hos en viss metall är rymdcentrerad kubisk (bcc). Centrumavståndet mellan två närmaste granatomer är 2,55 Å. Antag att varje atom bidrar med en elektron till den "fria" elektrongasen inuti metallen. Då en av metallytorna belyses med monokromatiskt ljus med våglängden 3100 Å emitteras elektroner, som i området omedelbart utanför metallytan har en maximal kinetisk energi av 0,5 eV.
a) Hur stor är Fermienergin för de "fria" ledningselektronerna?
b) Hur stort är utträdesarbetet?

7. I en viss ledningstråd är strömmätheten 500 A/cm^2 . För tråden, som är tillverkad av en "fri elektron" liknande metall gäller följande data:

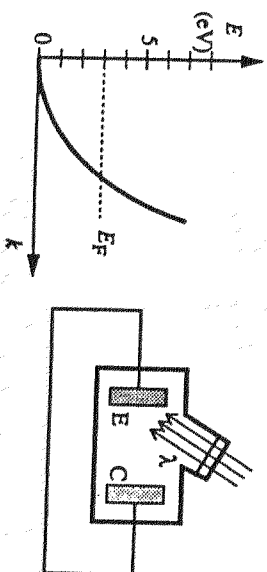
- valje atom bidrar med en ledningselektron
- kristallstrukturen = rymdcentrerad kubisk (bcc)
- gitterkonstanten (kubkanten) = $4,23 \text{ \AA}$
- densiteten = $0,97 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
- resistiviteten = $4,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$
- utträdesarbete = $2,7 \text{ eV}$

Beräkna numeriska värden på följande storheter:

- massan för en atom,
- driftshastigheten för elektronerna,
- hastigheten för en elektron vid Fermivå, v_F ,
- den minsta fotonenergi som krävs vid belysning av metallen för att få ut en elektron från botten av ledningsbandet.

8. Figuren nedan beskriver ett elektronband i en viss metall E. Närmaste undre band ligger långt under detta band. Vid belysning av metallen med ljus vars våglängd är $3000 \text{ \AA}$ är den högsta hastigheten hos de fotoemitterade elektronerna $6,3 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

- Hur stort är metallens utträdesarbete?
- Ljusets våglängd minskas till $1900 \text{ \AA}$. Inom vilket hastighetsintervall återfinner man då de fotoemitterade elektronerna? (Borise från inelastisk spridning).
- Metallen E säus i elektrisk kontakt (se figuren) med en annan metall C, vars utträdesarbete är $4,0 \text{ eV}$. E tjänar som emitter och C som kollektor. Om vi skulle mäta hastigheterna hos elektronerna som befinner sig omedelbart utanför kollektorn, inom vilket intervall skulle då hastigheterna ligga?



9. I vissa supraleddare bildar de atomer, som man anser vara mest betydelsefulla för supraleddningen, kedjor av närmaste grannar. Vi kan betrakta ledningselektroner på dessa kedjor som om de rör sig i ett endimensionellt gitter med energin $E = A - B \cos ka$ (där E , k och a har vanliga betydelsen av energi, vågital och gitterparameter). Skissera utseendet av

- E vs k samt
- tillståndstätheten $N(E)$ vs E .

10. Nära botten av ledningsbandet för en halvledare gäller sambandet mellan energi och vågital: $E = A \cdot k^2$, där $A = 5 \cdot 10^{-37} \text{ J m}^2$. Bestäm effektiv massa m^* samt förhållandet m^*/m_e .

11. För ett tillstånd med vågtalet k nära valensbandskanten i ett ämne ges elektronenergin i joule av $E = -10^{-37} \cdot k^2$, räknat från valensbandets kant och vågtalet givet i enheten m^{-1} . En elektron tas bort från tillståndet $k = 10^9 \text{ k}_x \text{ m}^{-1}$ (där k_x är enhetsvektorn i k_x -riktningen) medan alla andra tillstånd är besatta. Beräkna:

- hålets effektiva massa,
- hålets vågvektor,
- hålets hastighet, och
- hålets energi (relaterad till valensbandets kant).

12. Vid låg temperatur är bidraget till elektriska resistiviteten från ett visst antal föroreningsatomer i en metall proportionellt mot $(\Delta Z)^2$, där ΔZ är skillnaden i valens mellan föroreningsjonen och värdmetallen. Ett högre kopparprov har en återstående resistivitet, ρ_0 , av $10^{-10} \Omega \text{m}$ vid låg temperatur. När kopparn legeras med $0,1$ atomprocent Cd^{2+} ökar resistiviteten till $5 \cdot 10^{-10} \Omega \text{m}$. Uppskatta resistiviteten hos koppar legerad med $0,1$ atomprocent In^{3+} .

13. Tätheten av ledningselektroner i en metall är $8,5 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ och dess resistivitet vid rumstemperatur är $1,68 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$. Hur stor är då ledningselektronernas driftshastighet i ett elektriskt fält med styrkan 10 V/m .

A. SVAR.

1. a) $12,6 \cdot 10^8$ m/s b) $3,0 \cdot 10^8$ m/s c) vinkelrätt.
2. t ex : Ställ B att visa tiden L/c. Sänd ljussignal från A (vid tiden =0) mot B. Låt B starta när signalen når B.
3. $4,2 \cdot 10^7$ m/s
4. $0,98$ c
5. $0,85$ c resp. $0,14$ c åt motsatta håll.
6. $0,99$ c eller 0.
7. $0,99$ c
8. 5 år, astronauten 49 år, kosmonauten 51 år.
9. 180 sekunder.
10. a) 1:13,4 b) 1:13,4
11. $3,6 \cdot 10^{17}$ J/kg
12. a) $2,6 \cdot 10^8$ m/s b) $1,8 \cdot 10^{-30}$ kg
13. a) $8,4 \cdot 10^{-15}$ J b) $1,4 \cdot 10^{-13}$ J
14. $2,8 \cdot 10^8$ m/s, $7,6 \cdot 10^{-22}$ kgm/s, $2,7 \cdot 10^{-30}$ kg
15. $0,88$ c resp. c (tips: energi och rörelsemängdskonservering i ursprungliga partikelns vilosystem $\rightarrow v = 0,28$ c = hastigheten i ursprungliga partikelns vilosystem. Transform till observatörens system $\rightarrow v = 15/17$ c $\approx 0,88$ c fotonens hastighet = c i alla koordinatsystem)
16. $0,948$ c resp. $0,715$ c
17. $5,63$ GeV
18. a) 180 s b) 100 s c) 60 s
19. $9 \cdot 10^8$ m

20. a) $0,76$ c b) $1,04$ μ s
21. a) $47,7$ MeV resp. $95,5$ MeV. b) $c/3 = 1,0 \cdot 10^8$ m/s
22. $4,65 \cdot 10^7$ m/s resp $1,71$ MeV
23. $+0,53$ c (tips: se tips på uppgift A15)
24. $0,99$ s

B. SVAR.

1. $E(T) = \int_0^\infty e(T,T) dT = \sigma T^4$, där $\sigma = \text{konst} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
(användbar integral: $\int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \pi^4/15$)

2. Se text till uppgift nr B3.
3. Wiens förskjutningsslag: $\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
(Konstantens värde från grafisk lösning.)
4. 5800 K
5. $1,3$ μ m
6. 2700 K
7. Minskning med 30 % (totala) resp minskning med 69 % (2000 Å) och 26 % (8000 Å).
8. $4,1 \cdot 10^2 \text{ W/m}^2$ (inom 10 Å vid $1,45$ μ m)

C. SVAR.

1. $1,8 \cdot 10^{-19}$ J resp. $6,2 \cdot 10^5$ m/s
2. $1,5$ eV resp $7,3 \cdot 10^5$ m/s
3. a) $1,8$ eV b) $0,71$ eV resp. $5,0 \cdot 10^5$ m/s

4. $6,61 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

5. $1,8 \text{ eV}$

6. a) (i) $2,0 \text{ eV}$, (iii) $0,5 \text{ eV}$ b) $\approx 3,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

7. $0,32 \mu\text{m}$; $1,6 \text{ eV}$

D. SVAR.

1. $\lambda_c = 0,0243 \text{ \AA}$

2. $v = 0,80 \text{ c}$

3. a) $0,022 \text{ \AA}$; 264 keV b) $0,056 \text{ \AA}$; 606 keV

4. $0,4 \text{ MeV}$

5. 162 keV

7. $41,90^\circ$

L. SVAR.

1. $2,3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$

2. $6 \cdot 10^{-9} \%$

3. a) $28,3 \text{ MeV}$ b) $7,07 \text{ MeV}$

4. a) $0,76 \text{ MeV}$ b) $1,9 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ c) $3,5 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

5. $7,07 \text{ MeV}$, $8,77 \text{ MeV}$ resp $7,57 \text{ MeV}$

6. $3,0 \cdot 10^9 \text{ W}$

7. $4,95 \text{ MeV}$

M. SVAR.

1. $7,28 \text{ MeV}$

2. $17,7 \text{ MeV}$ resp. $1,89 \cdot 10^{14} \text{ J}$

3. a) $3,1 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$ b) $0,38 \text{ kg}$

4. 314 kg

5. a) $22,37 \text{ MeV}$ b) $93,8 \text{ kg}$

6. $112,02 \text{ MeV}$

N. SVAR.

1. 15 timmar

2. $4,4 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

3. $4,2 \cdot 10^9 \text{ \AA r}$

4. $6,0 \cdot 10^9 \text{ \AA r}$

5. a) $2,6 \cdot 10^9 \text{ \AA r}$ b) $51,7 \text{ MeV}$ resp $1,9 \cdot 10^3 \text{ MWh}$

6. a) $0,60 \text{ MeV}$ b) ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}$ c) $1120 \text{ \AA r}$

7. $1,5 \text{ W}$

8. $3,0 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ resp. $2,3 \cdot 10^3 \text{ s}$

9. i) $7,0 \text{ MeV}$ ii) $5,4 \text{ MeV}$

10. i) $-12,85 \text{ MeV}$ ii) $1,95 \text{ MeV}$

11. a) $1,0 \cdot 10^4 \text{ Bq}$ b) $0,56 \text{ MeV}$

O. SVAR.

1. $8, 12 \text{ och } 12$

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. $2,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
4. $0,235 \text{ nm}; 0,144 \text{ nm}$
5. $2,73 \text{ \AA}; 3,15 \text{ \AA}$
6. $n_v/N = 10^{-11}; \frac{n_v(300 \text{ K})}{n_v(1000 \text{ K})} \approx 10^{-8}$
8. $1,0 \text{ eV}$
9. $3,1 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
10. $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
11. fcc ; $4,0 \text{ \AA}$
12. sc ; $a = 4,12 \text{ \AA}$ dvs CsCl
13. $\alpha = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$; $1,7 \%$ i stället för $0,8 \%$ 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 (110) och (110) är förbjudna reflexer för fcc)

P. SVAR.

1. a) $10^{20} : 1$ b) Se kompendium sid. D27.
2. $2,5 \cdot 10^{19}$ elektroner eller hål per m^3 .
3. $D_c = 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; $D_h = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
4. $1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$
6. 68000 u ; $7,8 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$; Nej
7. $0,9 \text{ eV}$

O. SVAR.

1. $N_2 = 0,98 \cdot 10^{20}$; $N_3 = 2,2 \cdot 10^{18}$
2. $\frac{N(E)}{S} = \frac{4\pi m}{h^2}$; $E_F = 1,44 \text{ eV}$; andel med $E_{\text{kin}} < 0,5 \text{ eV} = 35 \%$
3. $\frac{N(E)}{L} = \frac{2\sqrt{2} m}{h} \frac{1}{\sqrt{E}}$
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. ca 95%
8. $0,71 \text{ eV}$
9. $0,30 \text{ eV}$
10. a) $1,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ b) $5,1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; rött

11. Transparent; transmission av rönt; 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

S. SVAR.

1. 4 K

2. $9,7 \cdot 10^{-4} \Omega \text{m}$

3. 10^{-4}

4. $5 \cdot 10^{-4} \text{ eV}$; 10^{-7} m

5. $1,7 \cdot 10^9$

6. a) $2,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}$; $7,2 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$; $2,8 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$;

b) 10^{20} m^{-3} ; $2,3 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-3}$; ca 500 K;

c) 2300 Ωm ;

d) 5000 Ω och 500 Ω

huvudsakligen $\sim T^{3/2}$ resp $\sim eE_g/kT$;

7. 0,7(2) eV

8. $\sigma_{\text{dop}}/\sigma_{\text{odop}} = (n_d \mu_c/n_i(\mu_c + \mu_h)) = 3 \cdot 10^{-4}$

9. a) $n = 4,4 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}$; $p = 2,2 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}$

b) $p(\text{odop}) = 1,1 \Omega \text{m}$

c) $p(\text{dop}) = 3,7 \cdot 10^{-5} \Omega \text{m}$

10. $n = 1,0 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$ och $p = 10^{13} \text{ m}^{-3}$ vid $T = 100 \text{ K}$

$n = 2,4 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$ och $p = 1,7 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$ vid $T = 200 \text{ K}$

$n = p = 8 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ vid $T = 300 \text{ K}$

11. 17 (Ωm)⁻¹

12. Lågt T: $\mu = E_g - E_d/2 + kT/2 \ln(N_d/n_0) = E_g - 15 \text{ meV}$ då $T \rightarrow 0 \text{ K}$.

Rums T: (alla joniserade): $\mu = E_g + kT \ln(N_d/n_0) = E_g - 0,25 \text{ eV}$

$T = 1200 \text{ K}$: $n_i \gg N_d$, egenledning dominerar och $\mu \approx E_g/2$

13. resistiviteten = 0,05 Ωm ; $\mu = E_g - 0,26 \text{ eV}$

T. SVAR.

1. a) $2,6 \cdot 10^{28} \text{ el/m}^3$ b) 3,2 eV

2. 2,1 %

3. a) $2,4 \cdot 10^{22}$ atomer b) = 7,0 eV

4. $E_F - U_0 = 1,33 \text{ eV}$;

$N(E) = 2,6 \cdot 10^{37} \text{ m}^{-2} \text{J}^{-1} = 0,75$ tillstånd per atom och eV.

5. 0,8 % ($E_F = 7,0 \text{ eV}$)

6. a) 2,0 eV b) = $10^{22} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-3}$ c) = någon procent

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

9. i) $k_F = 0,91 \text{ \AA}^{-1}$, $E_F = 3,2 \text{ eV}$

ii) $v_d = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$; $\delta k/k_F = 10^{-8}$ iii) $k_F/k_{Bz} = 0,88$

U. SVAR.

1. a) 0,15 J/mol b) 3,3 K

2. $0,29 \cdot 10^9 (\Omega \text{m})^{-1}$

3. 13 nm ; 1,1 m/s

4. ca: 2,9

5. ca: 1,3

6. a) 6,6 eV b) 3,5 eV

7. a) 22 u b) $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ c) $1,1 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ d) 5,9 eV

8. a) 3,0 eV b) 4,2 - $10,9 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ c) $0,9,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

9. $N(E) \sim (dE/dk)^{-1}$

10. 1,1 $\cdot 10^{-32} \text{ kg}$; 0,012

11. a) $5 \cdot 10^{-32} \text{ kg}$ b) 10^9 kg m^{-1} c) $2 \cdot 10^6 \text{ kg m/s}$ d) 10^{-19} J

12. $1,7 \cdot 10^{-9} (\Omega \text{m})^{-1}$ 13. $4,4 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$