

TENTAMEN

Institution: MSI, Fysik

Examinator: Pieter Kuiper

Datum: 24 mars

Tid:

Plats:

Kurskod: FY1041

Kurs/provmoment: Atom- & kärnfysik (atomdelen)

Hjälpmedel: linjal, räknedosa, två sidor egna anteckningar

Namn:
Adress:
.....
Personnummer: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> - <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>

Skriv helst lösningarna på tentan. Skriv ditt namn på eventuella tillägsblad.

Den här tentan har 0 problem.

Lycka till!

	1	2	3	4	5	Summa	Betyg
Inlämnad							
Poäng							

Uppvisat legitimation:	Ja <input type="checkbox"/>	Nej <input type="checkbox"/>
Uppvisat kårlegitimation:	Ja <input type="checkbox"/>	Nej <input type="checkbox"/>
Tid för inlämning:	Tentavaktens signatur:	

LÖSNINGAR

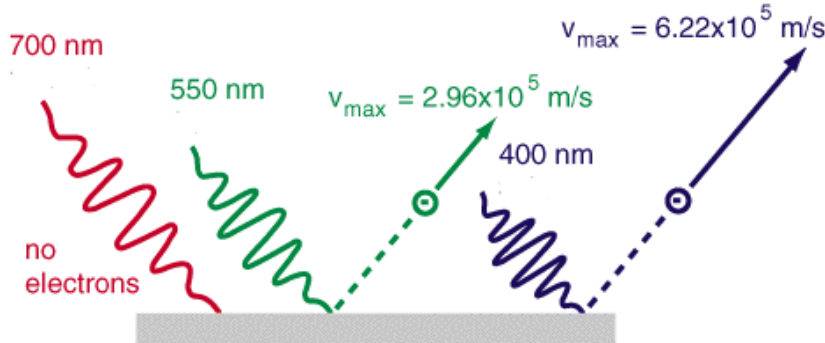
Tabell 1: Några utvalda naturkonstanter:

Namn	Symbol	Värde	Enhet
Ljushastighet	c	$2,998 \cdot 10^8$	m/s
Elementarladdning	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$	C
Plancks konstant	h	$6,626 \cdot 10^{-34}$	Js
	\hbar	$1,055 \cdot 10^{-34}$	Js
Finstrukturkonstanten	α	1/137,04	
Boltzmanns konstant	k_B	$1,381 \cdot 10^{-23}$	J/K
Absoluta nollpunkten		-273,15	°C
Avogadros tal	N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$	mol ⁻¹
Gaskonstanten	$R = k_B N_A$	8,314	J/(mol K)
Coulombkonstant	$1/(4\pi\epsilon_0)$	$8,99 \cdot 10^9$	Nm ² /C ²
Elektriska fältkonstanten	ϵ_0	$1/(\mu_0 c^2)$	As/Vm
Magnetiska fältkonstanten	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	Vs/Am = N/A ²
Elektronens massa	m_e	$9,109 \cdot 10^{-31}$	kg
Protonens massa	m_p	$1,673 \cdot 10^{-27}$	kg
Atomära massenheten	amu	$1,661 \cdot 10^{-27}$	kg
Bohr magneton $eh/2m_e$	μ_B	$9,274 \cdot 10^{-24}$	J/K
Bohr radie	a_0	$5,292 \cdot 10^{-11}$	m
Rydberg	R_∞	13,606	eV
Lorentztal	L	$2,45 \cdot 10^{-8}$	WΩ/K ²
Madelungkonstant (NaCl)	α	1,747565	
tyngdkraftens acceleration	g	9,81	m/s ²

Tabell 2: Några viktiga data för halvledare:

	Kisel Si	Germanium Ge	Galliumarsenid GaAs	Indiumantimonid InSb
E_g (eV) vid 300 K	1,1	0,72	1,4	
E_g (eV) vid 0 K	1,21	0,785	1,52	
densitet (g/cm ³)	2,33	5,32		
Atommassa	28,09	72,59		
gitterkonstant a (Å)	5,431	5,657		
n_i (m ⁻³) vid 300 K	$1,5 \cdot 10^{16}$	$2,5 \cdot 10^{19}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	
ϵ_r	12	16	11	
m_n^*/m_e	0,43	0,60	0,065	
m_p^*/m_e	0,54	0,28	0,5	
μ_n (m ² /Vs)	0,13	0,38	0,85	
μ_p (m ² /Vs)	0,05	0,18	0,04	

Problem 1. Figuren nedan visar hastigheten för de snabbaste fotoelektronerna när en viss yta bestrålas med ljus av några olika våglängder.



a) Beräkna ett värde för Plancks konstant utifrån de data som är givna i figuren. (2p)

Lösning:

Det blåa ljuset ger fotoelektroner med en kinetisk energi på högst $E = mv^2/2 = 9,109 \cdot 10^{-31} \times (6,22 \cdot 10^5)^2 / 2 = 1,76 \cdot 10^{-19}$ J. För det gröna ljuset är det $9,109 \cdot 10^{-31} \times (2,96 \cdot 10^5)^2 / 2 = 0,40 \cdot 10^{-19}$ J. En plot av dessa energier som funktion av ljusets frekvens $f = c/\lambda$ följer sambandet $E_{kin} = h\nu - W_f$. Lutningen ger Plancks konstant $h = \frac{(1,76 - 0,40) \cdot 10^{-19}}{(7,49 - 5,45) \cdot 10^{14}} = \frac{1,36}{2,04} \times 10^{-33} = 6,7 \cdot 10^{-34}$ Js. Alternativt kan man skriva två ekvationer med två obekanta. Eliminering av utträdesarbetet ger samma uttryck.

2

b) Vad händer om man fördubblar ljusintensiteterna? (1p)

Lösning:

Fotoströmmen fördubblas, det vill säga för blått och grönt ljus blir det två gånger så många elektroner, utan någon ändring i maximal hastighet. För de våglängderna med för liten fotonenergi blir det ingen skillnad.

1

c) Berätta om något fotoelektriskt fenomen som var svårt att förklara inom 1800-talets fysik. (2p)

Lösning:

I klassisk elektromagnetism verkar ljus på laddningar genom det oscillerande elektriska fältet. Det sätter laddningar i rörelse, och om partikelns energi har blivit stort nog, kan det flyga iväg. I en sådan bild är det obegripligt att ljus med våglängder längre än ett visst värde inte skulle leda till emission, hur höga intensiteterna och starka de elektriska fälten än var. Det är nästan lika obegripligt att emissionen är exakt proportionellt mot ljusintensitet, hur låg intensiteterna än blir. Det är också svårt att förstå att emission börjar omedelbart när ljuset slås på.

2

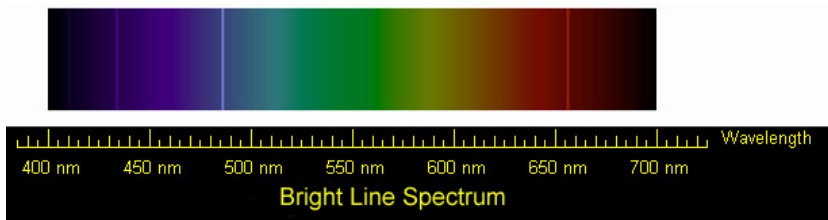
d) Figuren visar något som är lite tveksamt, eller som kan missförstås. Förklara vad och varför. (1p)

Lösning:

Det är tveksamt att rita fotoner som vågpaket. Monokromatiskt ljus har vågtåg som är oändligt långa. Och det är alltså inte fotonens väg som representeras av vågorna, utan den elektriska fältstyrka. En annan sak som kan missförstås är att fotoemission skulle ske vinkelrätt på ljusets infallsriktning.

1

Problem 2. Figuren nedan visar fyra linjer i emissionspektrum av atomärt väte.



a) Vad är det matematiska sambandet mellan våglängderna? (2p)

Lösning:

Detta är våglängder i Balmerserien med vågtalen enligt $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ med $m = 2$ och $n \geq 3$, alltså som $\frac{5}{36} : \frac{3}{16} : \frac{21}{100} : \frac{2}{9}$. Våglängdsförhållandet mellan den violetta linjen H_δ och H_α är $\frac{5}{36} : \frac{2}{9} = \frac{5}{8}$; det experimentella värdet tas från figuren. I Balmers tid fanns Anders Ångströms värden $\frac{4101,2}{6562,10} = 0,62498$.

På samma sätt för H_γ i det blå: $\frac{5}{36} : \frac{21}{100} = \frac{500}{36 \times 21} = 0,66138$; det experimentella värdet i Balmers tid var $\frac{4340,1}{6562,10} = 0,66139$.

På samma sätt för H_β i det blågröna: $\frac{5}{36} : \frac{3}{16} = \frac{20}{27} = 0,74074$; det experimentella värdet var $\frac{4860,74}{6562,10} = 0,74073$.

b) Vid vilka våglängder finns det absorptionslinjer i väte? (1p)

Lösning:

Absorption kan ske från grundtillståndet, alltså från nivån med $n = 1$ (Lymanserien). Övergången till nivå med $n = 2$ ligger vid en våglängd som förhåller sig till den röda linjen som $\frac{5}{36} : \frac{3}{4} = 5 : 27$ och ligger alltså vid $\lambda = \frac{5}{27} \times 656 = 121,5$ nm (experiment ger 121,568 nm). På samma sätt övergången till $n = 3$: våglängden förhåller sig till H_α som $\frac{5}{36} : \frac{8}{9} = 5 : 32$ så att man får $\lambda = \frac{5}{32} \times 656 = 102,5$ nm.

c) Berätta om två experimentella fakta om väte som Bohrs modell kunde förklara. (2p)

Lösning:

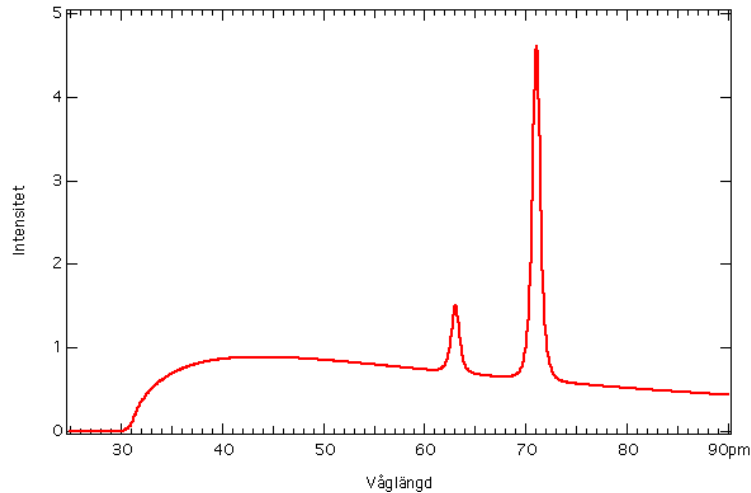
Det första var att en kombination av Plancks konstant med relevanta elektromagnetiska storheter till något med dimension längd gav som resultat en avståndsskala som är typisk för atomer. I detalj ger Bohrs modell $a_0 = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e e^2} = 0,53$ Å. Det andra var att han kunde räkna ut Rydbergs konstant utifrån kända storheter.

d) Berätta minst en sak där Bohrs modell inte stämmer överens med verkligheten. (1p)

Lösning:

Enligt Bohrs modell var väteatomen platt som en pankaka, där elektronen kretsade kring kärnan i en planetbana. Men atomer har en sfärisk laddningsfördelning. Lösningen kom senare, med Schrödingerekvationen och Heisenbergs obestämbarhetsprincip. Relationer som $\Delta p \Delta x \geq \hbar/2$ visar att det är omöjligt att säga att en elektron är på ett visst konstant avstånd med konstant fart från kärnan. Man kan inte heller säga att positionen i z -riktningen vinkelrätt på banans plan alltid är noll. Det finns en osäkerhetsrelation för rörelsemängd och vinkel $\Delta L \Delta \theta \geq \hbar$; nu vet vi att grundtillståndet av väte har $L = 0$, så att det inte finns någonting att säga om banans vinkel. Det finns heller ingen kringström och inget magnetiskt banmoment.

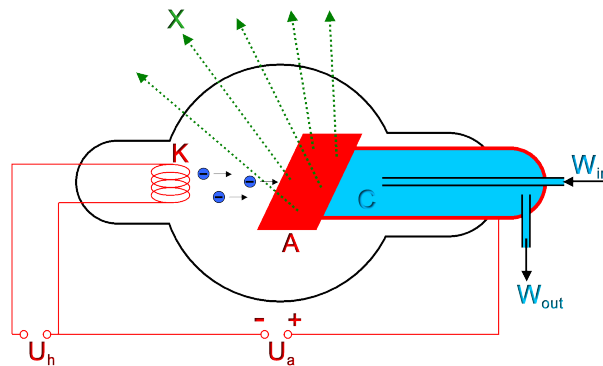
Problem 3. I figuren nedan ser man ett spektrum från ett röntgenrör.



a) Skissa ett röntgenrör med anslutningar, ange spänningar, och beskriv kort hur röret fungerar. (1p)

Lösning:

1



En mindre spänning U_{heat} ger en ström genom ett filament, så att denna katod glöder. På anoden står en högspänning på tiotals keV, positiv, för att attrahera elektronerna som termiskt emitteras från katoden. Elektronerna får hög kinetisk energi, och de avger röntgenstrålning (bromsstrålning och karakteristisk strålning) i interaktion med anodmaterialet. Men det mesta blir värme och anoden kyls (i bilden med vatten). Det hela befinner sig i ett vakuumrör.

b) Vilken accelerationsspänning användes i grafens röntgenrör? (1p)

Lösning: Gränsvåglängden är 0,31 Å; högsta fotonenergi är $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ eller i lämpligare enheter $E_{max} = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{12,4}{0,31} = 40$ keV; högspänningen är 40 kV.

1

c) Vilket grundämne avger röntgenstrålningen? (1p)

Lösning: $Z - 1 \approx \sqrt{\frac{4}{3} \frac{E(K\alpha)}{13,6}} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{12400/0,71}{13,6}} = 41,37$; $Z = 42$ (Mo), som även förklarar $K\beta$.

1

d) Om vi utnyttjar en litiumfluoridkristall för att registrera spektrum, vid vilken vinkel kommer vi då att registrera spektrumets starkaste röntgentopp? Avståndet mellan atomplanen i LiF är 2,01 Å. Ange tydligt vilken vinkel du har räknat ut. (1p)

Lösning: Braggs lag ger $\theta = \arcsin \frac{\lambda}{2d} = \arcsin \frac{0,71}{2 \times 2,04} = \arcsin(0,174) = 10,0^\circ$.

1

Problem 4.

a) Ange elektronkonfigurationen för Zn ($Z = 30$). (1p)

Lösning: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$

1

b) Uppskatta energi (svar i eV) av karakteristisk K_α -strålning för zinc. (2p)

Lösning:

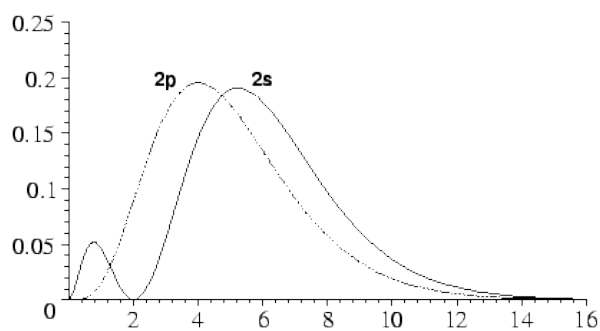
$$E(K_\alpha) \approx \frac{3}{4} R_\infty (Z - 1)^2 = \frac{3}{4} \times 13,6 \times 29^2 = 8,6 \text{ keV.}$$

2

c) Skissa kvalitativt elektrontätheten som funktion av avstånd till Zn-kärnan för elektroner i orbital 2s och i orbital 2p. (1p)

Lösning:

1



Uträknad för atomära väteliknande joner, där grafens horisontala skala är i enheter a_0/Z ; 2p-kurvan har därför sitt maximum vid exakt 2^2 .
