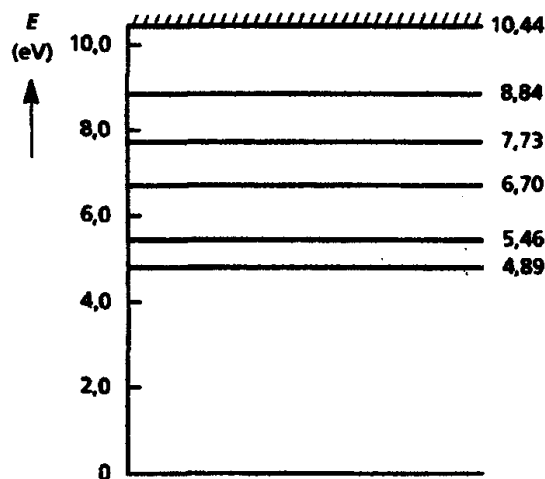


Het proefwerk bestaat uit 2 opgaven met samen 32 punten.

(NB. Je mag GEEN gebruik maken van de CALC-intersect-functie van je GRM!)

Opgave 1: Kwiklamp (17 p)

Kwiklampen worden toegepast voor straatverlichting. Bij spectraalanalyse van het licht van een kwiklamp vind je o.a. lijnen met de kleuren geel ($f = 0,517 \cdot 10^{15}$ Hz), groen ($f = 0,548 \cdot 10^{15}$ Hz) en blauw ($f = 0,687 \cdot 10^{15}$ Hz).



figuur 4.1

3p a) Bereken voor alle drie kleuren licht de energie van een foton in eV.

In figuur 4.1 zie je het energieniveauschema van kwik. Deze figuur staat ook op de bijlage. Het uitzenden van deze drie kleuren licht kan in het energieniveauschema worden weergegeven met drie pijlen.

3p b) Leg met een berekening uit bij welke overgangen uit het energieschema de drie emissielijnen (geel, groen en blauw) horen en teken de bijbehorende pijlen in het schema op de bijlage.

Omdat deze drie emissielijnen de grootste intensiteit hebben, verwaarlozen we andere frequenties die door de kwiklamp worden uitgezonden. Het licht van de kwiklamp valt vervolgens op een fotocel met een kathode die bedekt is met een laagje natrium.

2p c) Leg uit (met een gegeven uit BINAS) welke van de drie kleuren in staat is/zijn om een fotostroom te veroorzaken.

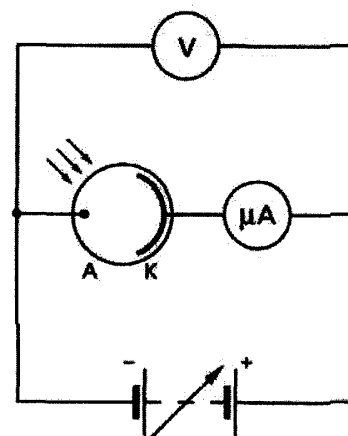
4p d) Bereken de snelheid waarmee een elektron vrijkomt als het blauwe licht op de Na-kathode valt.

Over de fotocel wordt een spanning tussen anode en kathode aangelegd (U_{AK} , zie figuur 4.2). Het verband tussen de aangelegde spanning U_{AK} en de bijbehorende fotostroom I staat weergegeven in figuur 4.3. Een negatieve spanning in figuur 4.3 is een spanning waarbij de plus- en minpool van de spanningsbron in figuur 4.2 zijn omgedraaid.

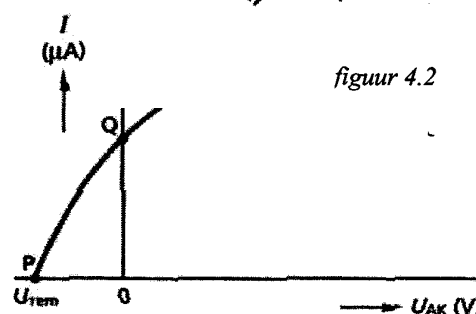
2p e) Leg duidelijk uit waarom bij toenemende spanning U_{AK} (>0) de stroomsterkte aanvankelijk groter wordt (traject QR in figuur 4.3), maar uiteindelijk constant wordt (traject RS).

Dezelfde opstelling wordt nu tegelijkertijd beschienen door twee (identieke) kwiklampen die met dezelfde intensiteit op de fotocel schijnen.

In de bijlage staat figuur 4.3 vergroot weergegeven.



figuur 4.2



figuur 4.3

- 3p f)** Geef in deze figuur **op de bijlage** aan hoe het (I,U)-diagram eruitziet bij beschijning door de twee kwiklampen. Licht je antwoord toe.

Opgave 2: Moord (15 p)

Op 1 november 2006 werd de Russische overgelopen geheim agent Alexandr Litvinenko met vergiftigingsverschijnselen opgenomen in een Londens ziekenhuis. Op 23 november stierf hij, 22 dagen na de vergiftiging. Onderzoek wees uit dat het isotoop ^{210}Po (Polonium-210) in dodelijke dosis aan hem was toegediend. Hij slikte slechts $10\ \mu\text{g}$ van deze stof in tijdens het drinken van thee met twee Russen in het Londense Millennium Hotel.

- 3p a)** Schrijf de vervalreactie van het isotoop ^{210}Po op.
- 2p b)** Geef twee argumenten waarom ^{210}Po een geschikt isotoop is om iemand mee te vergiften. Gebruik voor elk argument een gegeven uit BINAS.

Dat Litvinenko op 1 november $10\ \mu\text{g}$ Po-210 inslikte, betekent dat hij op dat moment $2,87 \cdot 10^{16}$ atomen ^{210}Po binnen kreeg.

- 3p c)** Bereken het aantal atomen ^{210}Po dat vervallen is in de 22 dagen tussen inslikken en overlijden.

Heb je bij d) geen antwoord gevonden, reken dan verder met $1,2 \cdot 10^{16}$ atomen.

Alle uitgezonden α -straling werd door het lichaam van Litvinenko (massa 70 kg) geabsorbeerd, waardoor hij een bepaald 'stralingsdosisequivalent' ontving. Het dosisequivalent H (in Sievert, Sv) wordt uitgerekend met de formule:

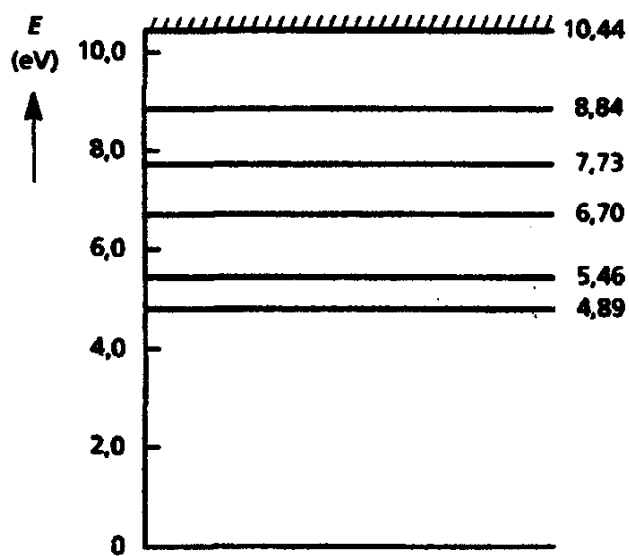
$$H = \frac{Q \cdot E_{\text{abs}}}{m} \quad (\text{met } m = \text{massa in kg, } E_{\text{abs}} = \text{de}$$

geabsorbeerde energie in J, Q = de weegfactor, die voor α -straling de waarde 20 heeft).

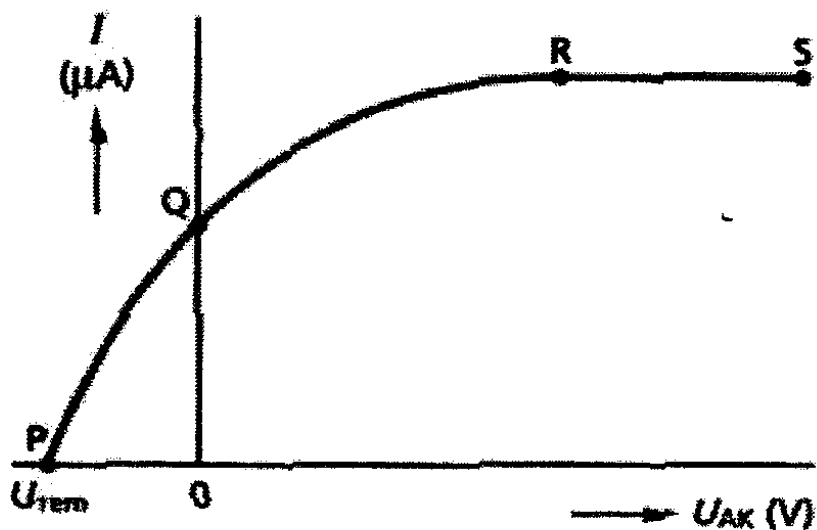
- 4p d)** Bereken het geabsorbeerde dosisequivalent H in Sv, als gevolg van de α -straling, en maak met BINAS27H aannemelijk dat een dergelijk dosisequivalent dodelijk is. (Gebruik voor je berekening een gegeven over Po-210 uit BINAS25)

Met een Geigerteller bij de thee had Litvinenko wellicht zijn dood kunnen voorkomen. De γ -straling van ^{210}Po gaat immers door de thee en de theepot heen en had gedetecteerd kunnen worden. Elk γ -foton van ^{210}Po heeft een energie van (ongeveer) 1,0 MeV. Voor het gemak gaan we ervan uit dat het polonium precies **in het midden** zit van de volle theepot, die een diameter van 15 cm heeft. De γ -straling gaat even goed door thee als door water. De theepot zelf is erg dun, dus we verwaarlozen de absorptie door de wand van de theepot.

- 3p e)** Bereken hoeveel % van de door ^{210}Po uitgezonden γ -straling door de thee heen komt (en dus gedetecteerd had kunnen worden).



figuur 4.1



figuur 4.3

Uitwerking

Opgave 1: Kwiklamp (17 p)

- a)
geel: $E = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 0,517 \cdot 10^{15} = 3,43 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,14 \text{ eV}$
groen: $E = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 0,548 \cdot 10^{15} = 3,63 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,27 \text{ eV}$
blauw: $E = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 0,687 \cdot 10^{15} = 4,55 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,84 \text{ eV}$ 3 x 1 =
3p
- b)
geel: niveau $5 \rightarrow 3$, $8,84 - 6,70 = 2,14 \text{ eV}$; groen: $4 \rightarrow 2$, $7,73 - 5,46 = 2,27 \text{ eV}$; blauw: $4 \rightarrow 1$, $7,73 - 4,89 = 2,84 \text{ eV}$; tekenen van deze pijlen, naar beneden in diagram
Berekeningen en noemen juiste niveaus: **2p**, Pijlen: **1p** (naar boven tekenen: geen punt voor pijlen!)
- c)
BINAS 24: W_u van Na = 2,28 eV 1p
Blauw: $E_f > W_u$, dus fotostroom; andere twee niet ($E_f < W_u$) 1p
- d)
 $E_k = E_{f, \text{blauw}} - W_u = 2,84 - 2,28 = 0,56 \text{ eV}$ 1p
 $= 8,97 \cdot 10^{-20} \text{ J}$ 1p
 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, met $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ 1p
Uitwerken: $v^2 = 1,97 \cdot 10^{11}$; $v = 4,44 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ 1p
- e)
Door de aantrekkende spanning halen steeds meer vrijgemaakte elektronen de anode 1p
Bij bepaalde spanning bereiken alle elektronen de overkant, en dus zit stroom op max. 1p
- f)
Tekening: RS 2x zo hoog en elders ook 2x zo hoog 1p
Uitleg: 2x zo hoge intensiteit betekent 2x zo veel fotonen, dus 2x zoveel vrijgemaakte elektronen 1p
Tekening: U_{rem} blijft gelijk; uitleg: U_{rem} hangt af van de kinetische energie waarmee elektronen vrijkomen en deze blijft gelijk 1p

Opgave 2: Moord (15 p)

- a)
 ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{206}_{82}\text{Pb} + \text{gamma}$
Alfa-deeltje juist rechts 1p
Reactie kloppend 1p
Gamma erbij 1p
- b)
het is een alfa-straler met grote energie (5,4 MeV), dus groot ioniserend vermogen bij besmetting (en vergiftiging is besmetting) 1p
- De halveringstijd is 138 dagen, dus het vervalft goed, maar ook niet te snel 1p
- c)
 $N(t) = N(0) \cdot \frac{1}{2}^{t/t_{1/2}}$, met $t_{1/2} = 138$ dagen 1p
 $N(22) = 2,87 \cdot 10^{16} \cdot \frac{1}{2}^{22/138} = 2,57 \cdot 10^{16}$ 1p
dus vervallen: $(2,87 - 2,57) \cdot 10^{16} = 0,30 \cdot 10^{16}$ atomen 1p
- d)
1 vervallen atoom heeft energie van $5,4 \text{ MeV} = 5,4 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 8,65 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ 1p
In totaal is de energie dus: $0,30 \cdot 10^{16} \cdot 8,65 \cdot 10^{-13} = 2595 \text{ J}$ (altern: 10381 J) 1p
 $H = 20 \cdot 2595 / 70 = 741 \text{ Sv} = 7,4 \cdot 10^2 \text{ Sv}$ (altern: 2966 Sv) 1p
BINAS 27H: 50000 mSv = 50 Sv acute sterfte, dus absoluut dodelijk 1p
- e)
BINAS 28^E: $d_{1/2} = 9,8 \text{ cm}$ 1p
 $x = d/2 = 7,5 \text{ cm}$ 1p

$$I(x) = I(0) \cdot \frac{1}{2}^{x/d1/2} = 100 \cdot \frac{1}{2}^{7,5/9,8} = 58,8 \% = 59\%$$

1p