

HERTENTAMEN

Van Quantum tot Materie

Prof. Dr. C. Gooijer en Prof. Dr. R. Griessen

April 14, 2005

18.30-21.30

Q 112

Dit schriftelijk tentamen bestaat uit 6 **opdrachten**. Na de titel van elk opdracht is het aantal punten aangegeven dat je maximaal kunt halen. Dit is de som van de punten bijbehorend bij de deelvragen van een opdracht. In totaal, voor het hele tentamen, kunnen 70 punten worden gehaald.

De docenten en werkcollegebegeleiders wensen jullie een succesvol tentamen.

1 H								2 He
3 Li	4 Be		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar

Natuurconstanten

e	$= 1.60$	10^{-19}	C
h	$= 6.63$	10^{-34}	Js
$\hbar$	$= 1.05$	10^{-34}	Js
m_e	$= 9.11$	10^{-31}	kg
c	$= 3$	10^8	m/s
μ_0	$= 4\pi$	10^{-7}	N/A ²
ϵ_0	$= 8.85$	10^{-12}	C ² /Nm ²
1 eV	$= 1.60$	10^{-19}	J

1. Nota Bene
2. Beantwoord elke van de 6 vragen op een apart vel papier; gebruik zo mogelijk het opgave-blad
3. Schrijf op elke bladzijde je naam
4. Schrijf duidelijk (onleesbare antwoorden leveren 0 punten op)

1. **Elektronenmicroscop (7)**

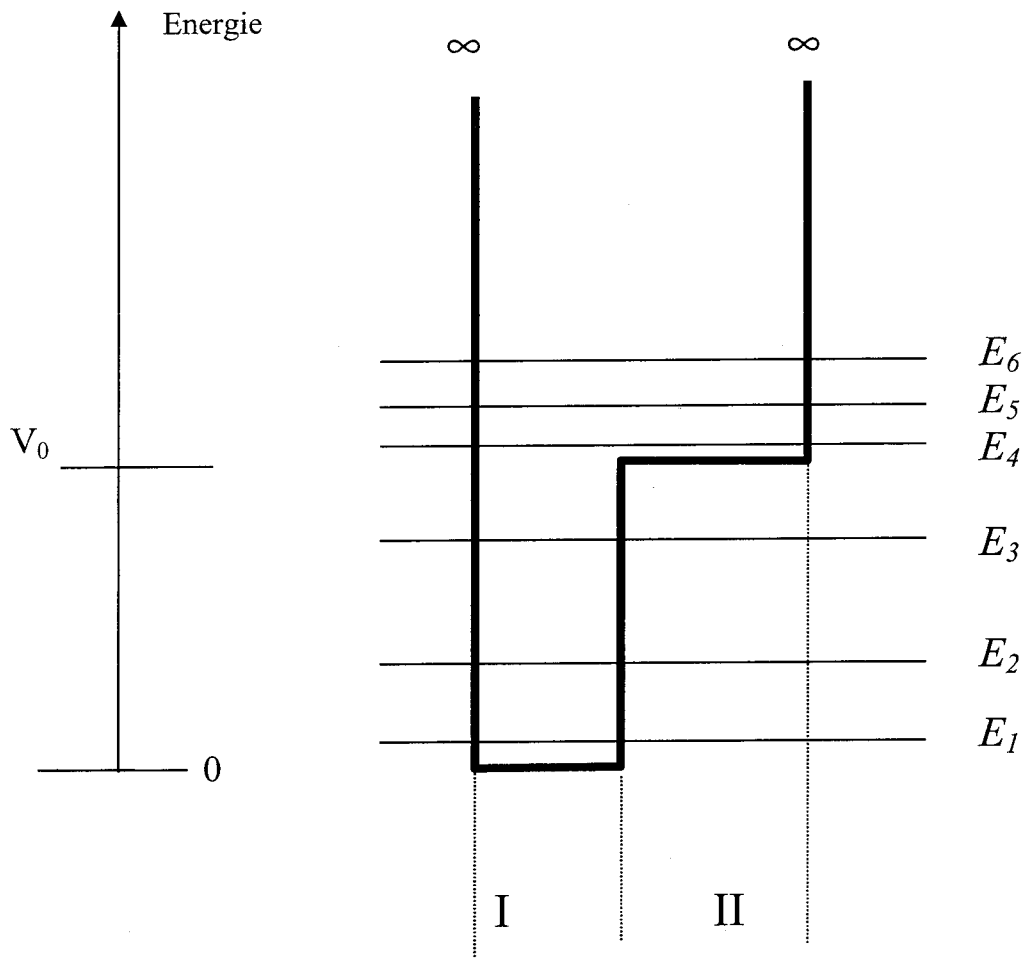
De werking van een elektronenmicroscop berust op het feit dat elektronen quantum deeltjes zijn.

- 3 a) Leid een relatie af voor de golflengte λ van een elektron dat door een spanning V is versneld.
- 1 b) Bepaal welke versnellingspanning nodig is om elektronen met een golflengte van 0.15 nm te produceren
- 1 c) Is het mogelijk om atomen te “zien” met zulke elektronen ?

I.p.v. de elektronen te gebruiken om preparaten te onderzoeken, schieten wij ze op een koper plaat. Daardoor ontstaan Röntgen stralen.

- 2 d) Bereken de minimale golflengte van deze X-stralen.

2. Deeltje in een potentiaalput (10)



Met behulp van een numerieke oplossing van de Schrödinger vergelijking voor een deeltje met massa m in het hier boven aangegeven 1-dimensionale potentiaalput zijn de energieniveaus $E_1, E_2, E_3, \dots$ gevonden.

- 2 a) Schrijf voor de gebieden I en II de Schrödinger vergelijking voor het deeltje op.
- 2 b) Geef de wiskundige vorm van de oplossingen van de Schrödinger vergelijkingen voor beide gebieden zonder de Schrödinger vergelijkingen helemaal op te lossen. Hierbij kun je het best $x=0$ bij de linker kant van de potentiaalput kiezen. Wat kun je zeggen over de amplitude van de golffunctie buiten de gebieden I en II?
- 4 c) Teken schematisch in de bovenstaande figuur de golffunctie voor elk aangegeven energieniveau zodat hun belangrijke kenmerken duidelijk naar voren komen (eventueel toelichten met een paar steekwoorden)
- 2 d) Waarom zijn de energieën gequantiseerd?

3. **Het Periodieke Systeem (15)**

De elektronenconfiguratie van de elementen in het Periodieke Systeem is grotendeels te begrijpen op basis van het niveau schema van waterstofachtige atomen en het Pauli principe.

- 3 a) Schrijf de Schrödinger vergelijking voor een waterstof atoom op. Geef voor elk term de fysische betekenis aan.
- 1 b) Wat verandert er in de Schrödinger vergelijking wanneer de kern van het atoom niet uit 1 proton bestaat maar uit Z protonen ?
- 3 c) Teken het niveau schema van het waterstof atoom. Hoe groot is de energie van de grondtoestand ? Hoe hangt de energie van het n -de niveau van het quantumgetal n af ?
- 2 d) Wat zegt het Pauli principe ?
- 3 e) M.b.v. de antwoorden op de voorafgaande vragen kun je nu de elektronen configuratie van de volgende elementen bepalen:
 - o Zuurstof (O)
 - o Aluminium (Al)
 - o Fosfor (P): geef duidelijk aan hoe de elektronen over de p_x , p_y en p_z toestanden zijn verdeeld. Leg uit.
- 3 f) Wat moet extra worden verondersteld om de configuratie van Scandium (atoomnummer 21) te begrijpen ?

4. Cyanide ionen (14)

Beschouw het cyanide anion CN^- en het cyanide kation CN^+ .

- 2 a) Geef voor het anion en voor het kation het aantal valentie elektronen.
- 3 b) Teken het Molecular Orbital diagram, gemakshalve veronderstellend dat het verschil in elektronegativiteit voor stikstof en koolstof verwaarloosbaar is.
- 2 c) Geef de meest gunstige elektronenstructuur van CN^- , bereken de bondorder en voorspel of CN^- diamagnetisch dan wel paramagnetisch zal zijn.
- 2 d). Doe hetzelfde als in vraag c. voor het cyanide kation.

De eerste aangeslagen toestand van een molecuul correspondeert met de op één na gunstigste verdeling van elektronen over de MO's.

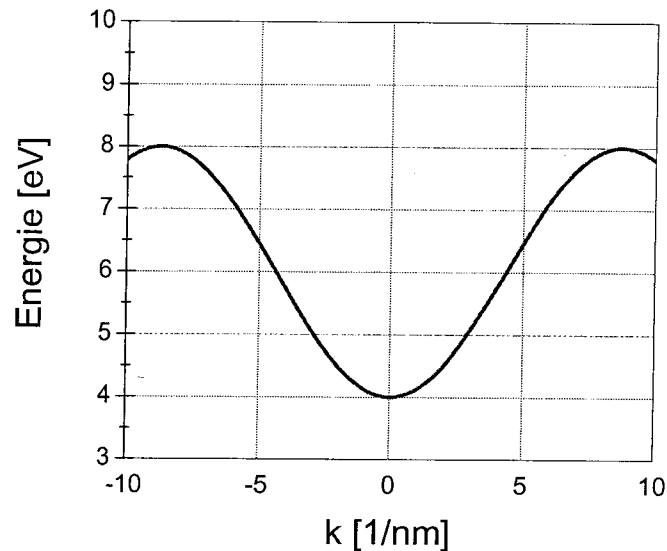
- 5 e) Geef deze verdeling voor CN^- en CN^+ . Welke van deze vraagt de meeste extra energie en waarom?

5. VSEPR / Lewisstructuren (14)

- 4 a) Teken de Lewis-structuren (en eventuele resonantie-structuren) van de moleculen en ionen CO_2 , H_2O , CH_3NH_2 , NO_3^- en NO_2^- .
- 2 b) Geef de formele ladingen op de atomen
- 2 c) Geef de ruimtelijke structuren
- 2 d) Geef aan of deze moleculen en ionen een elektrisch dipoolmoment hebben en licht je antwoord toe.
- 4 e) Beschouw het molecuul koolmonoxide. De elektronegativiteit van C is veel kleiner dan die van O. Toch blijkt CO slecht een klein elektrisch dipoolmoment te hebben. Geef een verklaring.

6. Elektrische geleiding in metalen en halfgeleiders (10)

Een vaste stof heeft een banden structuur zoals in de figuur aangegeven.



- 1 a) Neem aan dat voor een bepaalde stof de Fermi energie bij 6 eV ligt. Hoeveel valentie elektronen heeft elk atoom van deze stof? Leg uit.
- 1 b) Neem nu aan dat voor een bepaalde stof de Fermi energie bij 8 eV ligt. Hoeveel valentie elektronen heeft elk atoom van deze stof? Leg uit.
- 2 c) Geef aan welk soort materiaal (isolator of metaal) de stof in a) en in b) is.
- 4 d) Laat zien dat volle banden geen elektrische stroom kunnen dragen bij 0 Kelvin. Daarvoor moet je gebruik maken van een relatie tussen het elektrisch veld $\mathbf{E}$ en de k dat een Bloch Ψ_k toestand karakteriseert. Welke relatie is dit? Verder moet ook nog de relaxatietijd der elektronen worden meegenomen. Definieer de relaxatie tijd.
- 2 e) Bereken Δk wanneer een elektrisch veld van 10 V/m aangelegd wordt en de relaxatie tijd $\tau = 10^{-13}$ s is. Vergelijk de gevonden waarde van Δk met de grootte van de Brillouin zone (zie figuur boven).