

PROEFTENTAMEN

Van Quantum tot Materie

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

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 **65** 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

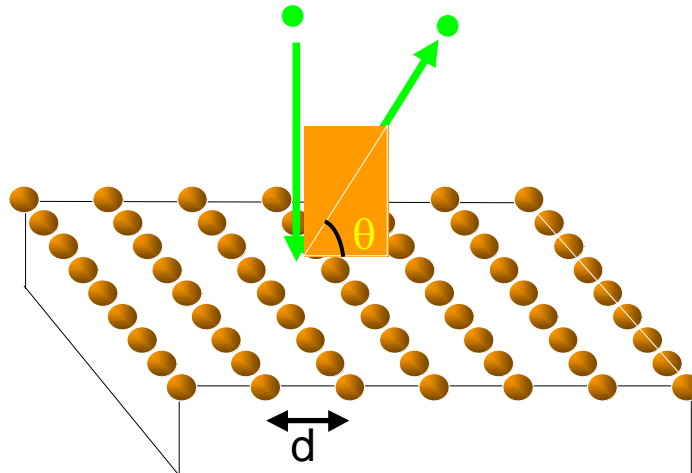
$$\begin{aligned}
 e &= 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\
 h &= 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\
 \hbar &= 1.05 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\
 m_e &= 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\
 c &= 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\
 \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2 \\
 \epsilon_0 &= 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2 \\
 1 \text{ eV} &= 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ J}
 \end{aligned}$$

Nota Bene:

- 1. Beantwoord elke van de 6 vragen op een apart vel papier; gebruik zo mogelijk het opgave-blad**
- 2. Schrijf op elke bladzijde je naam**
- 3. Schrijf duidelijk (onleesbare antwoorden leveren 0 punten op)**
- 4. Geen rekenmachine**
- 5. Geen boeken**
- 6. Geen formulentabellen (b.v. BINAS)**

1. Davisson-Germer experiment (10)

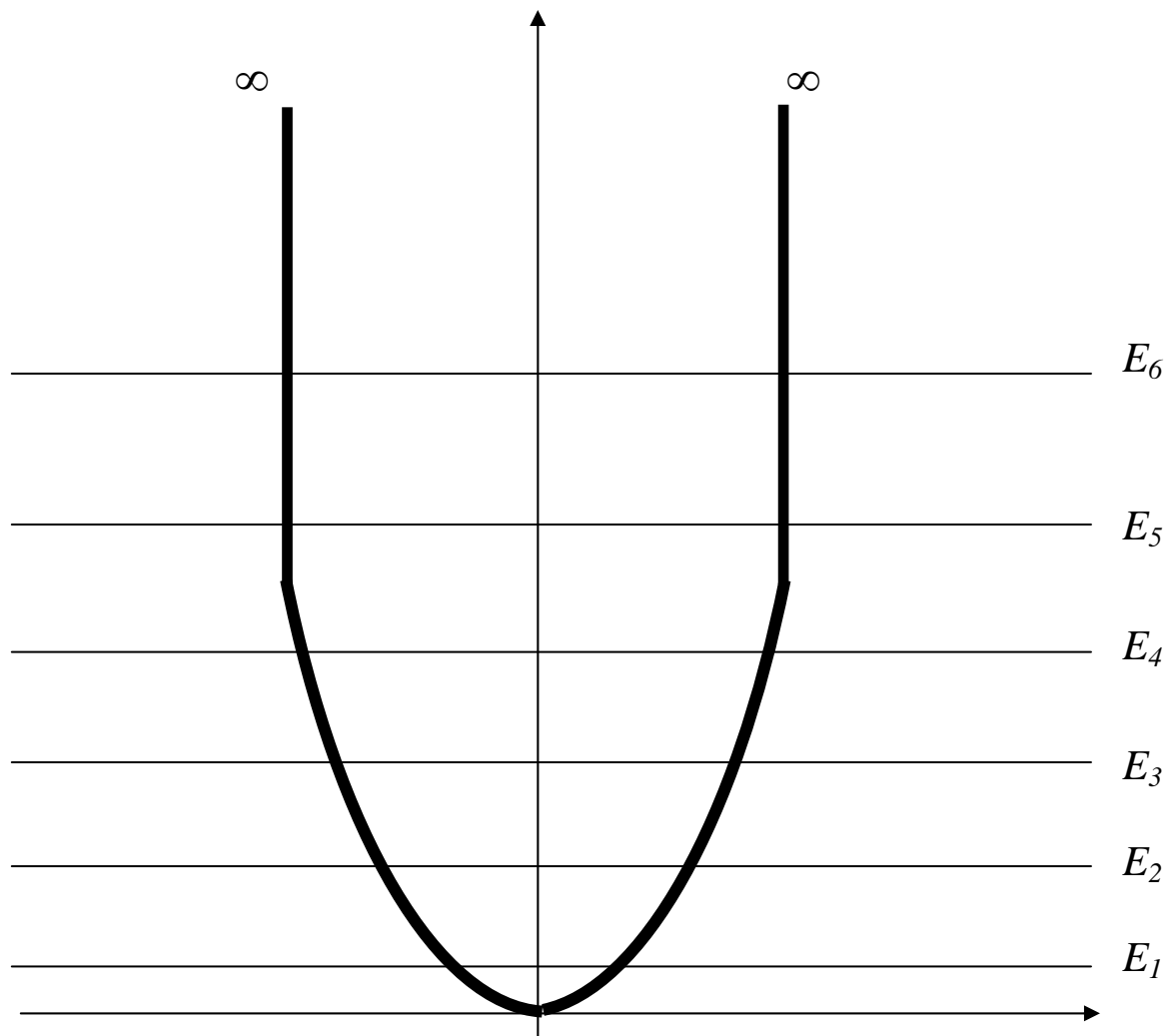
In dit historische experiment werden elektronen versneld met een spanning van 54 V loodrecht op een nikkel kristal. Davisson en Germer zagen toen dat elektronen vaak onder een hoek $\theta=40^\circ$ verstrooid werden.



- 2 a) Bereken de De Broglie golflengte van de elektronen.
- 5 b) Bereken de afstand tussen atoomrijen aan het oppervlak van het nikkel kristal.
- 2 c) Zijn er nog andere hoeken waaronder elektronen met grote waarschijnlijkheid worden verstrooid? Indien ja, welke?
- 1 d) Wat bewees het experiment van Davisson en Germer?

Bij vragen a), b) en c) gaat het om een schatting aangezien er geen rekenmachine mag worden gebruikt.

2. Oneindige potentiaalput met parabolische bodem (12)

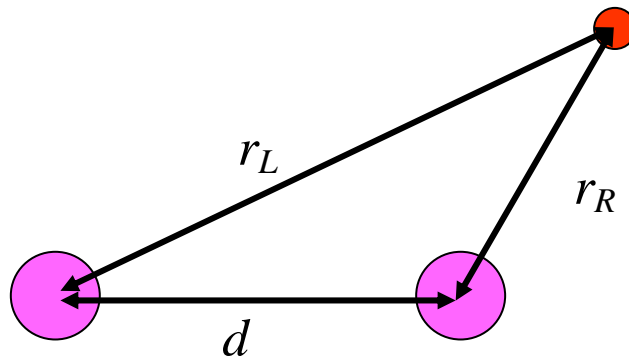


Met behulp van een numerieke oplossing van de Schrödinger vergelijking voor een deeltje met massa m in de hierboven aangegeven 1-dimensionale potentiaalput zijn de energieniveaus E_1, E_2, E_3, \dots gevonden. De bodem van de potentiaalput is van de vorm $V(x) = \frac{1}{2}Kx^2$.

- 2 a) Schrijf de Schrödinger vergelijking voor het deeltje op.
- 2 b) Aan welke randvoorwaarden moeten de oplossingen van de Schrödinger vergelijking voldoen?
- 4 c) Teken schematisch in de bovenstaande figuur de golf functie voor elk aangegeven energieniveau zodat hun belangrijke kenmerken duidelijk naar voren komen (eventueel toelichten met een paar steekwoorden)
- 2 d) Wat valt je op voor de energieën van de 4 laagste niveaus? Geef een argument waarom de niveaus zo liggen als ze liggen.
- 2 e) Waarom is de grondtoestand niet bij $E=0$?

3. H_2^+ molecuul-ion (11)

Een H_2^+ molecuul-ion bestaat uit twee protonen en een elektron. De afstand tussen de twee protonen is d .



- 3 a) De Schrödinger vergelijking voor H_2^+ hebben wij geschreven als

$$(T - V_L - V_R + V_{pp})\Psi(\mathbf{r}) = E\Psi(\mathbf{r})$$

Geef de fysische betekenis aan van elke term T, V_L, V_R, V_{pp} en E .

- 2 b) Wij hebben een oplossing van deze Schrödinger vergelijking in de vorm $\Psi(\mathbf{r}) = aL(\mathbf{r}) + bR(\mathbf{r})$ gezocht. Wat zijn $L(\mathbf{r})$ and $R(\mathbf{r})$
- 2 c) Bij niet al te kleine afstand tussen de protonen heffen de aantrekking tussen het elektron en de rechtse proton en de afstoting tussen de twee protonen elkaar op. Wat bepaalt dan het verschil tussen bonding en antibonding states?
- 2 d) Teken de golffunctie Ψ bijbehorend bij de bonding state (bindend) en de antibonding state (antibindend). Neem hierbij de x-as langs de verbindingsas tussen de twee protonen. Hoe groot zijn a en b voor de bonding state (bindend) en de antibonding state (antibindend)?
- 2 e) Teken de bijbehorende kansverdeling (probability density) van het elektron voor deze twee toestanden.

4. Homo- en hetero-nucleaire moleculen (13)

We vergelijken de moleculen N_2 , NO en O_2 .

- 2 a) Geef de elektronenconfiguratie van het geïsoleerde atoom N en het geïsoleerde atoom O.
- 2 b) Geef het MO energieniveau diagram van O_2 .

Ga er van uit dat dit diagram ook voor N_2 en O_2 toepasbaar is.

- 3 c) Geef de elektronenverdeling over de MO's voor elk van de drie moleculen.
- 3 d) Geef de bondorders en de magnetische eigenschappen voor elk van de drie moleculen.
- 3 e) Ga na of de eigenschappen voorspeld onder d) ook uit de Lewisstructuren volgen.

5. Structuren van moleculen (11)

We vergelijken koolmonoxide en kooldioxide.

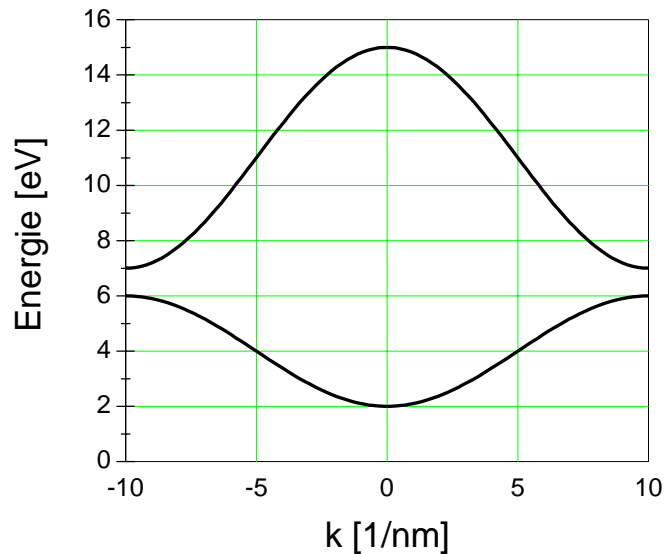
- 3 a) Geef voor beide moleculen de Lewisstructuur, de formele lading op alle atomen en de ruimtelijke structuur volgens het VSEPR model.
- 2 b) Wat verwacht je voor de elektrische dipoolmomenten van beide moleculen?
- 2 c) Geef de gehybridiseerde golffuncties van alle atomen en beschrijf op basis van deze functies de chemische bindingen.

Jodium vormt in waterige oplossingen een stabiel complex met jodide nl. I_3^- .

- 2 d) Geef de Lewisstructuur van I_3^- en licht deze toe.
- 2 e) Voorspel de geometrische structuur op basis van het VSEPR model.

6. Elektrische geleiding in metalen en halfgeleiders (8)

Een vaste stof heeft een bandenstructuur zoals beneden aangegeven.



- 1 a) Neem aan dat voor een bepaalde stof de Fermi energie bij 4 eV ligt. Hoeveel valentie elektronen heeft elk atoom van dit stof? Leg uit.
- 1 b) Neem nu aan dat voor een bepaalde stof de Fermi energie bij 6 eV ligt. Hoeveel valentie elektronen heeft elk atoom van dit stof? Leg uit.
- 2 c) Geef aan welk soort materiaal (isolator of metaal) de stof in a) en in b) zijn.
- 2 d) Geef met een tekening aan hoe de elektrische weerstand van een metaal van de temperatuur afhangt.
- 2 e) Geef met een tekening aan hoe de elektrische weerstand van een halfgeleider van de temperatuur afhangt.