

31 Het is mogelijk om atomen af te remmen met behulp van lasers. Deze techniek wordt gebruikt om extreem lage temperaturen te bereiken.

- Een foton met een energie van 1,59 eV passeert een atoom van ⁸⁵Rb. Als het atoom niet beweegt, is de energie van het foton net te klein om het atoom in aangeslagen toestand te brengen. Als het atoom het foton tegemoetkomt met een snelheid van 0,500 m s⁻¹, wordt het atoom wel aangeslagen. Dit komt door de dopplerverschuiving van licht.
- a Leg uit hoe de dopplerverschuiving verklaart dat het atoom aangeslagen raakt, ondanks het feit dat de energie van het foton eigenlijk te klein is.

Korte tijd later valt het atoom terug uit zijn aangeslagen toestand door een foton uit te zenden. Na het uitzenden van het foton heeft het atoom nog een snelheid van 0,495 m s⁻¹.

- b Toon aan dat het frequentieverschil tussen het geabsorbeerde foton en het uitgezonden foton gelijk is aan 5·10⁶ Hz.

Deze techniek wordt gebruikt om een wolk van atomen af te koelen. Daarvoor wordt een wolkje gas vanuit meerdere richtingen met lasers bestraald.

De Rb-atomen kunnen niet eindeloos worden afgekoeld. Zelfs als het atoom na absorptie van het foton stilstaat, krijgt het bij het uitzenden van een foton toch weer snelheid.

- c Leg dit uit.

Laserkoeling wordt toegepast om te proberen Rb-atomen in een gezamenlijke quantumtoestand (Bose-Einsteincondensatie) te krijgen. Hierbij wordt de golflengte die bij afzonderlijke atomen hoort zo groot dat de golven van verschillende deeltjes elkaar overlappen.

Na het uitzenden van het foton heeft het atoom in ieder geval een deBroglie-golflengte die net zo groot is als de deBrogliegolflengte van het uitgezonden foton.

- d Laat zien dat een Rb-atoom door laserkoeling niet verder kan worden afgeremd dan tot een snelheid van 6,03 mm s⁻¹.

Opgave 31

- a Het atoom beweegt naar het foton toe. Hierbij treedt blauwverschuiving op: dus naar hogere frequenties. Voor de fotonenergie geldt $E_f = h \cdot f$. Omdat h een constante is, betekent een hogere frequentie een hogere fotonenergie. Daardoor heeft het foton wel voldoende energie om het atoom aan te slaan.
- b Het frequentieverschil bereken je met het verschil in fotonenergie tussen de twee fotonen. Het verschil in fotonenergie volgt volgens de wet van behoud van energie uit het verschil in kinetische energie van het atoom. De kinetische energie van het atoom bereken je met de formule voor kinetische energie van het atoom ⁸⁵Rb.

$$\Delta E_k = E_{k,\text{voor}} - E_{k,\text{na}}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$m = 84,91179 \text{ u} = 84,91179 \times 1,6605 \cdot 10^{-27} = 1,40996 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

$$v_{\text{voor}} = 0,500 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{na}} = 0,495 \text{ m s}^{-1}$$

Invullen levert:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \times 1,40996 \cdot 10^{-25} \times 0,500^2 - \frac{1}{2} \times 1,40996 \cdot 10^{-25} \times 0,495^2 = 3,507 \cdot 10^{-28} \text{ J}$$

Volgens de wet van behoud van energie is $\Delta E_f = \Delta E_k$.

$$\Delta E_f = h \cdot \Delta f$$

$$h = 6,6260 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,03515 \cdot 10^{-26} = 6,6260 \cdot 10^{-34} \times \Delta f$$

$$\Delta f = 5,3048 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta f = 5 \cdot 10^6 \text{ Hz.}$$

- c Als een atoom een foton uitzendt, is er sprake van een kracht van het atoom op het foton. Volgens de derde wet van Newton is er dan ook sprake van een kracht van het foton op het atoom. Hierdoor krijgt het atoom een versnelling en dus snelheid.
- d De snelheid bereken je met de formule voor de deBrogliegolflengte. De (deBroglie)golflengte bereken je met de formule voor de fotonenergie. De fotonenergie bereken je met de oorspronkelijke fotonenergie en het verschil in kinetische energie van het atoom bij een botsing.

$$E_f = E_{f,\text{voor}} + \Delta E_k$$

$$E_{f,\text{voor}} = 1,59 \text{ eV} = 1,59 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 2,54718 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E_k = 3,507 \cdot 10^{-28} \text{ J} \quad (\text{zie vraag b})$$

$$E_f = 2,54718 \cdot 10^{-19} + 0,03515 \cdot 10^{-26} = 2,54718 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$h = 6,6260 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$2,54718 \cdot 10^{-19} = \frac{6,6260 \cdot 10^{-34} \times 2,9979 \cdot 10^8}{\lambda}$$

$$\lambda = 7,79846 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

$$h = 6,6260 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$m = 1,40996 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \quad (\text{zie vraag 30b})$$

$$\text{Invullen levert: } 7,79846 \cdot 10^{-7} = \frac{6,6260 \cdot 10^{-34}}{1,40996 \cdot 10^{-25} \cdot v}$$

$$v = 6,026 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$$

Afgerond: $v = 6,03 \text{ m s}^{-1}$.