

## Protonenweegschaal?

### 16 maximumscore 3

uitkomst:  $v = 558 \text{ ms}^{-1}$

voorbeeld van een bepaling:

In de grondfrequentie geldt:  $\ell = \frac{1}{2}\lambda$ .

Hieruit volgt voor de golflengte:  $\lambda = 2\ell = 2 \cdot 150 \cdot 10^{-9} = 300 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ .

Voor de golfsnelheid geldt dan:  $v = \lambda f = 300 \cdot 10^{-9} \cdot 1,86 \cdot 10^9 = 558 \text{ ms}^{-1}$ .

- inzicht dat in de grondfrequentie geldt:  $\ell = \frac{1}{2}\lambda$  1
- gebruik van  $v = \lambda f$  1
- completeren van de bepaling 1

### 17 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

- De afname in resonantiefrequentie blijkt uit het minteken in de formule.
- De resonantiefrequentie neemt af. De golflengte in het nanobuisje verandert niet (de lengte van het nanobuisje blijft immers gelijk). Dus zal de golfsnelheid afnemen.

- inzicht dat de afname blijkt uit het minteken in de formule 1
- inzicht dat de golflengte constant blijft 1
- completeren van het antwoord 1

### 18 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

Voor de massa van een naftaleenmolecuul geldt:

$$m_{\text{C}_{10}\text{H}_8} = 128 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 2,12 \cdot 10^{-25} \text{ kg.}$$

Invullen in de formule levert:

$$\Delta f = \frac{-\Delta m}{2m_{\text{nano}}} \cdot f_0 = \frac{-5 \cdot 2,12 \cdot 10^{-25}}{2 \cdot 6,2 \cdot 10^{-22}} \cdot 1,86 \cdot 10^9 = -1,6 \cdot 10^6 \text{ Hz.}$$

Dit komt overeen met de waarde in de grafiek op  $t = 8,8 \text{ s}$ .

- gebruik van  $\Delta f = \frac{-\Delta m}{2m_{\text{nano}}} \cdot f_0$  1
- omrekenen van de massa van het molecuul van u naar kg 1
- completeren van de berekening 1
- aflezen van de grafiek en consequente conclusie 1

*Opmerking*

*In deze vraag hoeft uiteraard geen rekening gehouden te worden met significantie.*

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

**19 maximumscore 2**

voorbeeld van een antwoord:

In figuur 5 is te zien dat de frequentieverandering afhankelijk is van de plaats waar het naftaleenmolecuul vasthecht op het nanobuisje. Als dit meer bij de uiteinden van het buisje plaatsvindt, zal  $\Delta f$  kleiner zijn.

- inzicht in de betekenis van figuur 5 1
- inzicht dat de moleculen op verschillende plaatsen op het buisje vasthechten 1

**20 maximumscore 3**

voorbeeld van een antwoord:

De massa van een proton is een factor 128 kleiner dan de massa van een naftaleenmolecuul. Dus is  $\Delta f$  ook dezelfde factor kleiner.

Dit geeft voor  $\Delta f$  van één proton:  $\Delta f = \frac{-3,2 \cdot 10^5}{128} = -2,5 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ .

Deze  $\Delta f$  is (veel) kleiner dan de ruis (variatie) in de frequentieverandering.

De massa van één enkel proton is dus niet meetbaar.

- inzicht dat in de formule voor  $\Delta m$  de protonmassa gebruikt moet worden 1
- inzicht dat  $\Delta f$  een factor 128 kleiner wordt / berekenen van  $\Delta f$  voor één proton 1
- vergelijken van deze frequentieverandering met de ruis en conclusie 1