

Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Let op het juiste aantal significante cijfers en vergeet de eenheden niet! Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

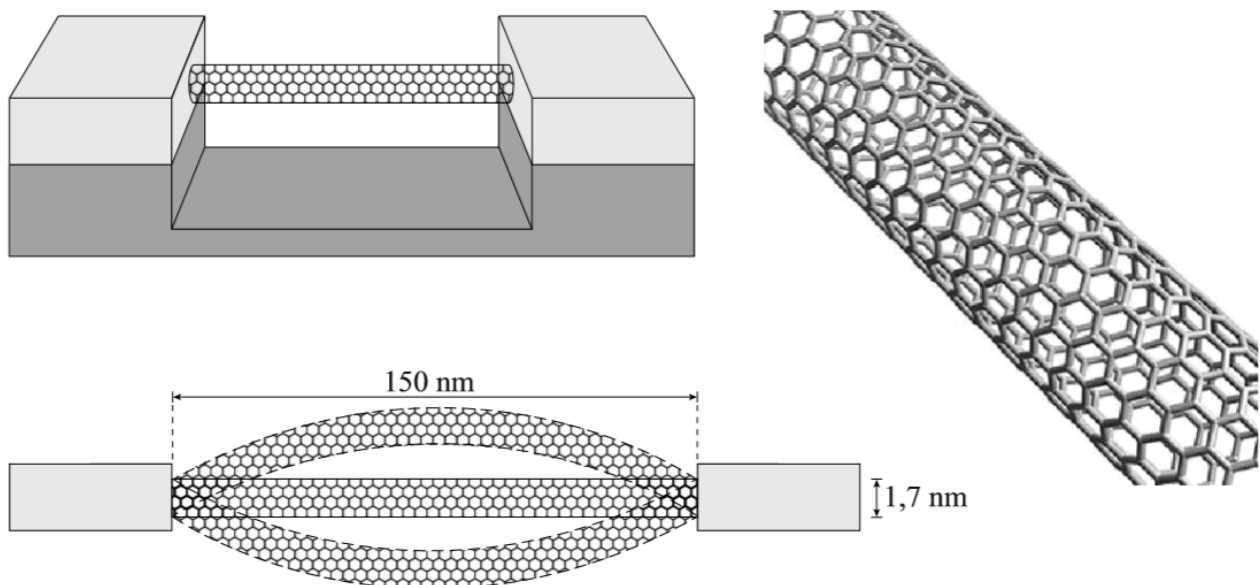
Met potlood geschreven *tekst* wordt niet gecorrigeerd!  
Het gebruik van Tipp-Ex is niet toegestaan.

### Opgave 1

Onderzoekers beweren dat ze een 'weegschaal' hebben ontwikkeld, die een enkel proton kan wegen. De weegschaal bestaat uit een nanobuisje dat aan twee zijden is vastgeklemd en trilt als een staande golf.

Zie onderstaande linker afbeelding. Deze afbeelding is niet op schaal. Als een deeltje aan het buisje vasthecht, verandert de trillingstijd. Hieruit is de massa van dat deeltje te bepalen.

Het nanobuisje is opgebouwd uit koolstofatomen die in een honingraatstructuur zijn geordend. Zie onderstaande rechter afbeelding. De massa van het vastgeklemd nanobuisje bedraagt  $6,2 \cdot 10^{-22}$  kg.



In bovenstaande afbeelding staat de 'weegschaal' schematisch getekend met de bijbehorende afmetingen in de evenwichtsstand en de uiterste standen van de staande golf. Het buisje trilt met de grondfrequentie van 1,86 GHz.

a) **Bepaal** de golfsnelheid in het nanobuisje.

Als één of meer deeltjes aan het nanobuisje vasthechten, verandert de resonantiefrequentie van het buisje. Voor de frequentieverandering stellen de onderzoekers de volgende formule op:

$$\Delta f = \frac{-\Delta m}{2m_{\text{nano}}} \cdot f_0$$

Hierin is:

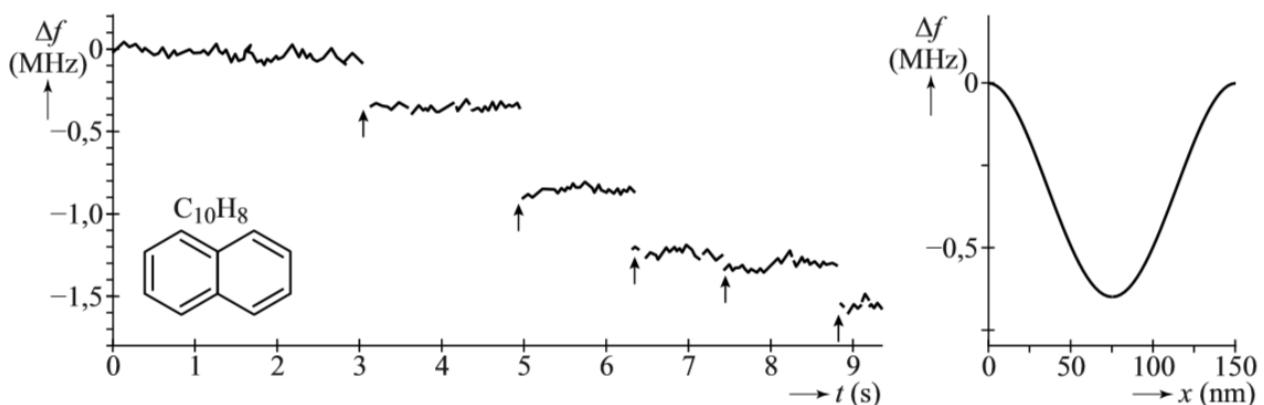
- $f_0$  grondfrequentie van het nanobuisje vóór vasthechten (in Hz);
- $\Delta f$  de frequentieverandering ten opzichte van  $f_0$  (in Hz);
- $\Delta m$  de massa van de aangehechte deeltjes (in kg);
- $m_{\text{nano}}$  de massa van het nanobuisje (in kg).

Uit de formule is op te maken dat de resonantiefrequentie afneemt als er één of meer deeltjes aan het nanobuisje vasthechten.

b) Voer de volgende opdrachten uit:

- **Leg uit** hoe uit de gegeven formule volgt dat de resonantiefrequentie afneemt.
- **Leg uit** of de golfsnelheid groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft als een deeltje vasthecht aan het nanobuisje.

Om de weegschaal te 'ijken' laat men eerst één molecuul en daarna meer moleculen naftaleen ( $C_{10}H_8$ ) aan het buisje vasthechten. De massa van een molecuul naftaleen bedraagt 128 u. Gedurende een meettijd van ongeveer 10 s bepalen de onderzoekers een aantal keer per seconde  $\Delta f$ . De resultaten gaven zij weer in onderstaande linker afbeelding. Met vijf pijlen zijn vijf momenten aangegeven waarop een extra naftaleenmolecuul vasthecht.



Op tijdstip  $t = 8,8$  s zijn er in totaal 5 naftaleenmoleculen vastgehecht.

c) Laat zien of op dit tijdstip de gemeten  $\Delta f$  overeenkomt met de  $\Delta f$  die uit de formule volgt.

In bovenstaande linker afbeelding is te zien dat niet alle stapjes in  $\Delta f$  even groot zijn.

In bovenstaande rechter afbeelding staat de frequentieverandering  $\Delta f$  uitgezet tegen de positie  $x$  van één naftaleenmolecuul op het nanobuisje.

d) **Leg** met behulp van bovenstaande rechter afbeelding **uit** waarom de stapjes van  $\Delta f$  in bovenstaande linker afbeelding niet even groot zijn.

In bovenstaande linker afbeelding is te zien dat de metingen van deze weegschaal 'ruis' hebben. Ruis is een continue (kleine) variatie in de waarden door

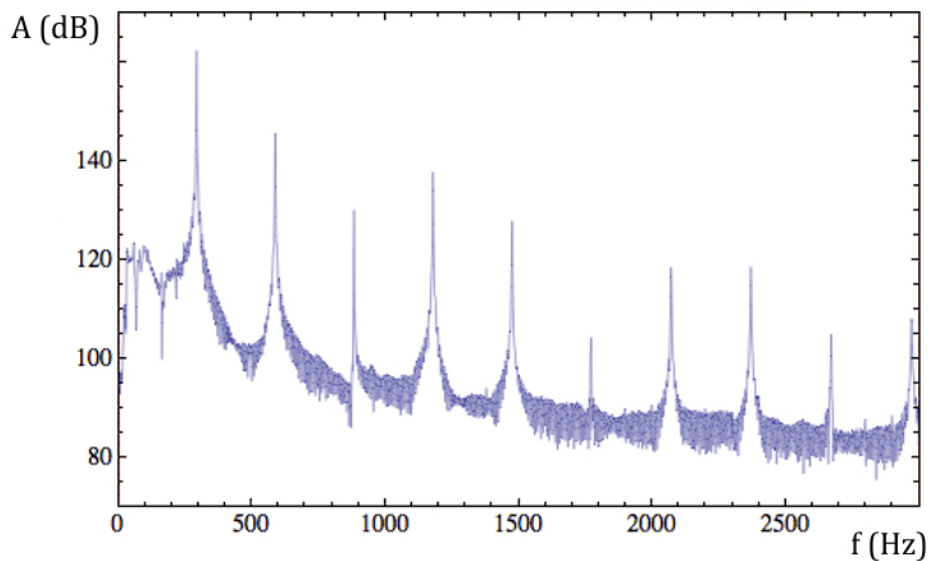
meetonnauwkeurigheden. Zo is tot  $t = 3$  s de waarde van  $\Delta f$  niet constant. Met deze 'weegschaal' willen de wetenschappers de massa bepalen van één enkel proton.

e) Laat zien of de massa van één enkel proton met deze opstelling gemeten kan worden.

Tip: bepaal hiertoe de nauwkeurigheid waarmee er gemeten moet worden om de massa van één enkel proton te kunnen bepalen.

## Opgave 2

In onderstaande afbeelding staat het spectrum van een muziekinstrument weergegeven. In dit spectrum staat de amplitude van het geluidssignaal als functie van de frequentie uitgezet.



**Leg uit** of het hier gaat om het spectrum van een blaasinstrument of het spectrum van een snaarinstrument.

## Opgave 3

Een homogene, dunne metalen staaf wordt verticaal opgesteld en ingeklemd. Met behulp van een trillingsapparaat wordt de staaf in trilling gebracht. We voeren de frequentie langzaam op. Slechts bij zeer bepaalde frequenties leidt interferentie tot een staande golf in de staaf.

a) Hoe heet dit verschijnsel?

We belichten de staaf met een stroboscoop. Nevenstaande afbeelding. Bij een flitsfrequentie van 104 Hz zien we steeds de opeenvolgende uiterste standen van de staande golfbeweging. Het deel van de staaf waarin de staande golfbeweging optreedt, heeft een lengte van 49 cm.

b) **Bepaal** de golflengte van de staande golf.

c) **Bereken** de golfsnelheid.

