

- 28 In BINAS tabel 671 staat de structuurformule van  $\beta$ -caroteen. Je ziet dat elf dubbele bindingen afgewisseld worden met tien enkelvoudige bindingen. Dit is een voorbeeld van een geconjugeerd systeem. In een geconjugeerd systeem kunnen per dubbele binding twee elektronen ‘vrij’ bewegen tussen het begin en het einde van het systeem. Daardoor zijn alle bindingen een beetje dubbel, zoals bij benzeen. De lengte  $L$  van het geconjugeerd systeem van  $\beta$ -caroteen is gelijk aan 2,5 nm.
- a Maak dit aannemelijk met behulp van gegevens uit BINAS tabel 53.
- In  $\beta$ -caroteen doen in totaal 22 elektronen mee binnen het systeem. Je kunt een  $\beta$ -caroteenmolecuul beschrijven met een eenvoudig model van een ééndimensionale energieput waarin 22 elektronen opgesloten zijn. De grondtoestand is de toestand waarin die elektronen een zo laag mogelijke energie hebben. Door absorptie van een foton komt het molecuul in de eerste aangeslagen toestand.
- b Leg uit dat het foton een overgang van  $n = 11$  naar  $n = 12$  veroorzaakt. Voor het energiever­schil van deze overgang geldt:
- $$\Delta E = 23 \cdot \frac{h^2}{8m \cdot L^2}$$
- $\Delta E$  is het energiever­schil in J.
  - $h$  is de constante van Planck in J s.
  - $m$  is de massa van het elektron in kg.
  - $L$  is de lengte van het geconjugeerde systeem in m.
- c Leid deze formule af.
- De oranje kleur van wortels komt door de aanwezigheid van  $\beta$ -caroteen. Dit betekent dat  $\beta$ -caroteen licht met een frequentie kleiner dan  $6 \cdot 10^{14}$  Hz niet absorbeert.
- d Maak dit aannemelijk met behulp van BINAS tabel 19A.
- Om het elektron van de hoogste bezette  $n$ -waarde naar de volgende  $n$ -waarde aan te slaan moet het een foton met een frequentie van  $6 \cdot 10^{14}$  Hz absorberen.
- e Toon met bovenstaande gegevens aan dat de lengte  $L$  van het geconjugeerde systeem van  $\beta$ -caroteen overeenkomt met de 2,5 nm die volgt uit BINAS tabel 53.

**Opgave 28**

- a Dat de lengte  $L$  gelijk is aan 2,5 nm maak je aannemelijk door de gemiddelde lengte van de 11 dubbele en 10 enkele bindingen op te vatten als de binding in benzeen. De 11 dubbele bindingen en 10 enkelvoudige bindingen vormen samen 21 bindingen zoals de C-C in benzeen. De bindingslengte in benzeen is  $140 \cdot 10^{-12}$  m. De lengte van het geconjugeerd systeem in  $\beta$ -caroteen is  $21 \times 140 \cdot 10^{-12} = 2,94 \cdot 10^{-9}$  m = 2,94 nm. De koolstofketen heeft een zigzagstructuur. Dus de lengte in rechte lijn is kleiner (en blijkbaar 2,5 nm).
- b Er zijn 22 elektronen beschikbaar. Voor de laagst mogelijke energie van het molecuul zijn de laagste 11 niveaus gevuld met twee elektronen. Bij de eerste aangeslagen toestand zit een elektron in niveau  $n = 12$ . Dus is er een overgang van  $n = 11$  naar  $n = 12$ .
- c De formule voor het energiever­schil leid je af met de formule voor de energie van een deeltje in een eendimensionale energieput en de waarden  $n = 12$  en  $n = 1$ .

$$E_n = n^2 \cdot \frac{h^2}{8m \cdot L^2}$$

$$\Delta E = 12^2 \cdot \frac{h^2}{8m \cdot L^2} - 1^2 \cdot \frac{h^2}{8m \cdot L^2} = (144 - 121) \cdot \frac{h^2}{8m \cdot L^2} = 23 \cdot \frac{h^2}{8m \cdot L^2}$$

- d Volgens BINAS tabel 19A heeft licht met frequentie kleiner dan  $6 \cdot 10^{14}$  blauwe en violette kleuren. Die kleuren worden geabsorbeerd en de andere weerkaatst. De weerkaatste kleuren zorgen voor een mengkleur van groen, geel en rood. Geel en rood levert de kleur oranje. Blijkbaar overheerst de kleur oranje in wortels.
- e De lengte  $L$  bereken je met de gegeven formule. Het energiever­schil bereken je met de formule voor de energie van een foton.
- $$\Delta E = h \cdot f$$
- $$h = 6,6260 \cdot 10^{-34} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$
- $$f = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$
- $$\Delta E = 6,6260 \cdot 10^{-34} \times 6 \cdot 10^{14}$$
- $$\Delta E = 3,975 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E = 23 \cdot \frac{h^2}{8m \cdot L^2}$$

$$m = 9,10938 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$3,975 \cdot 10^{-19} = 23 \cdot \frac{(6,6260 \cdot 10^{-34})^2}{89,10938 \cdot 10^{-31} \cdot L^2}$$

$$L = 1,86 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } L = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2 \text{ nm.}$$

Dat komt dus overeen met de 2,5 nm die volgt uit BINAS tabel 53.