

Beker van Lycurgus

In het British Museum staat de beker van Lycurgus (zie figuur 1a en 1b). De kleur van het glas van deze beker hangt af van de belichting. Als de beker van **binnenuit** wordt beschenen met wit licht, dan heeft de beker een rode kleur. Als de beker van **buitenaf** wordt beschenen met wit licht, dan heeft de beker een groene kleur.

figuur 1a



rode kleur

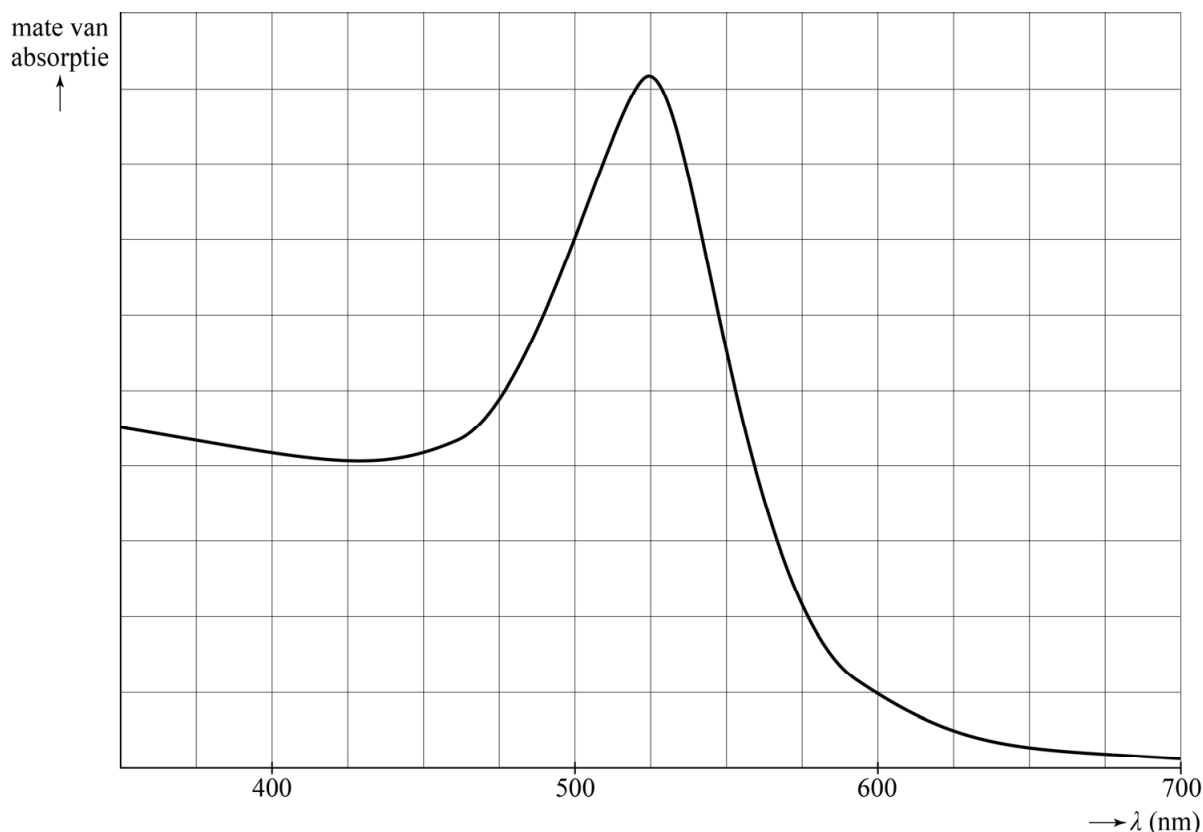
figuur 1b



groene kleur

Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van nanodeeltjes goud in het glas. Nanodeeltjes zijn deeltjes die kleiner zijn dan 100 nm. Als het glas wordt beschenen, wordt een deel van het licht door het glas geabsorbeerd en wordt de rest van het licht doorgelaten. De mate van absorptie is afhankelijk van de golflengte van het licht dat erop valt. Een deel van het geabsorbeerde licht wordt weer uitgezonden met dezelfde golflengte. Dit is zichtbaar als gereflecteerd licht. In figuur 2 is weergegeven hoe de mate van absorptie door de nanodeeltjes in de beker van Lycurgus afhankelijk is van de golflengte van het licht.

figuur 2



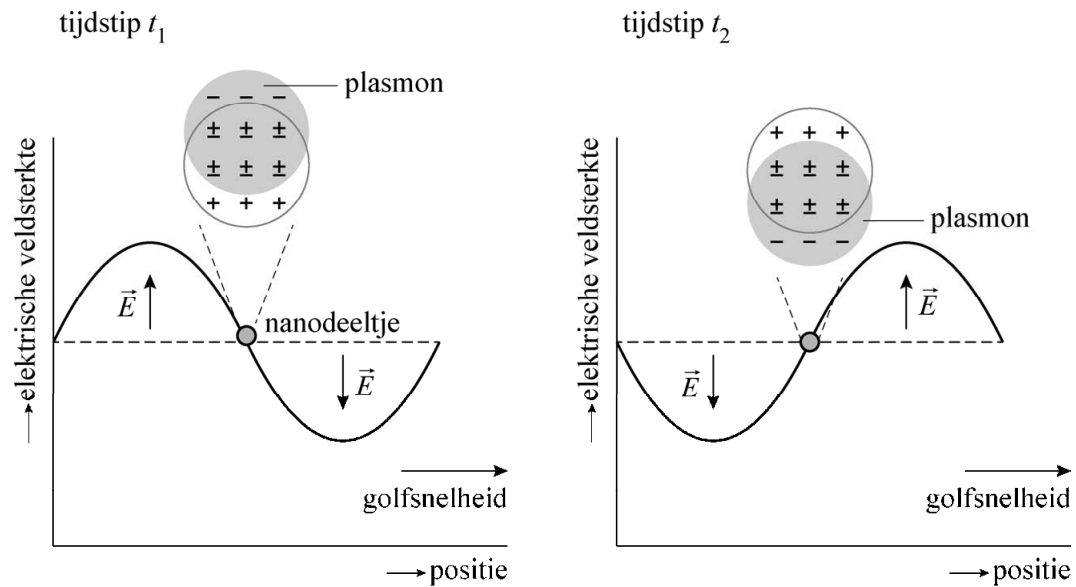
De buitenkant van de beker kleurt bij belichting van binnenuit rood (figuur 1a) en bij belichting van buitenaf groen (figuur 1b).

3p 7 Leg dit uit met behulp van figuur 2.

Het ontstaan van de absorptiepiek in figuur 2 kan worden begrepen met behulp van het zogenaamde plasmonmodel. Uitgangspunt van dit model is dat elk metalen nanodeeltje bestaat uit veel positieve ionen, omringd door geleidingselektronen. Deze geleidingselektronen reageren op licht. Een lichtgolf heeft een sinusvormig variërend elektrisch veld, dat de geleidingselektronen als één geheel in trilling brengt. Deze trillende wolk van geleidingselektronen wordt ook wel een 'plasmon' genoemd.

In figuur 3 is de situatie voor een plasmon op twee verschillende tijdstippen weergegeven. De lichtgolf in figuur 3 beweegt naar rechts. Op tijdstip t_1 heeft het elektrische veld het negatieve plasmon naar zijn hoogste stand getrokken en op een later tijdstip t_2 naar zijn laagste stand. De positieve ionen blijven op hun plaats, waardoor een ladingsscheiding in het nanodeeltje optreedt. De richting van het elektrische veld \vec{E} is in de figuur aangegeven. Op de positie van het nanodeeltje wisselt \vec{E} dus voortdurend van richting. Dit is een reden waarom het plasmon telkens weer in de richting van de evenwichtspositie beweegt.

figuur 3



- 5p 8 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan waardoor de metaalionen op hun plaats blijven.
 - Geef een andere reden dan het elektrisch veld van de lichtgolf waarom het plasmon telkens weer in de richting van de evenwichtspositie beweegt.
 - In figuur 3 is aangegeven dat de lichtgolf naar rechts beweegt. Leg aan de hand van de figuur uit dat dit inderdaad het geval is.

De absorptiepiek in figuur 2 is het gevolg van resonantie. De sterkste absorptie van licht vindt plaats als de eigenfrequentie van het plasmon overeenkomt met de frequentie van het licht dat erop valt. Het plasmonmodel is vergelijkbaar met een massa-veersysteem waarbij de elektrische kracht de rol van veerkracht heeft. Voor de resonantiefrequentie van het plasmonmodel geldt:

$$f_{\text{res}} = k \sqrt{\frac{ne^2 f}{\pi m}} \quad (1)$$

Hierin is:

- f_{res} de frequentie waarbij resonantie optreedt in Hz
- n het aantal geleidingselektronen per m^3
- e de lading van het elektron in C
- f de constante (in de wet) van Coulomb in Nm^2C^{-2}
- m de massa van een elektron in kg
- k een constante

- 3p 9 Leid af of k een eenheid heeft.

Goud bevat één geleidingselektron per ion.
Voor goud geldt: $n = 5,90 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$.

3p **10** Toon dat aan.

De constante k hangt onder andere af van de grootte en de vorm van het nanodeeltje.

4p **11** Bepaal met behulp van formule (1) de waarde van de constante k die hoort bij de absorptiepiek in figuur 2.