

Welke kwantumstip heeft welke kleur?



Programma

1. Nanomaterialen in de media
2. Kennismaking nanomaterialen, hun eigenschappen en toepassingen

Word nanowetenschapper!

Hoe groot is een nanometer?

Grote verhouding oppervlak tov volume

Kwantumstippen

3. Fluorescentie van anorganische CdTe kwantumstippen
4. Bereiden van organische koolstofkwantumstippen
5. Fluorescentiespectroscopie van organische koolstofkwantumstippen
6. Opruimen

Welke kwantumstip heeft welke kleur?

1. Nanomaterialen in de media

Zoek de personen die een aanvullend deel van jouw artikel hebben.

Vat in één zin samen waarover jouw artikel gaat:

.....

.....

2. Kennismaking nanomaterialen, hun eigenschappen en toepassingen

Nanomaterialen zijn structuren en moleculen op een schaal van 1 tot 100 nm.
Bedenk: **1 nm = 1 nanometer = $1 \cdot 10^{-9}$ meter**.

De schaalgrootte van deze deeltjes geeft hen gewijzigde en uitzonderlijke eigenschappen.
Nanowetenschappers maken deze deeltjes en bestuderen hun eigenschappen.

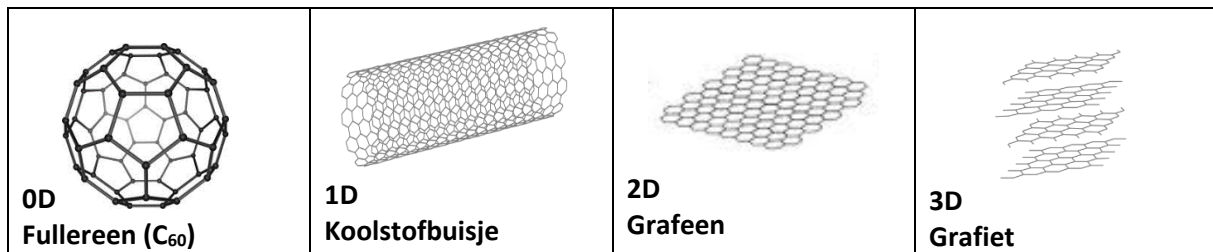
Door hun bijzondere eigenschappen worden nanodeeltjes in allerlei nieuwe, praktische toepassingen gebruikt. De nanotechnologie ontwikkelt zich razendsnel in heel wat sectoren zoals materiaalkunde, milieu, alternatieve energiebronnen, medische toepassingen, ...

Tabel "Word nanowetenschapper!"

Vul de grote A3 tabel "Word nanowetenschapper" verder aan:

- ✓ Bekijk de verschillende voorbeelden.
- ✓ Leg de kaartjes met de omschrijving bij de juiste voorbeelden in de tabel.
- ✓ Gebruik nu de informatie op de volgende pagina's om de tabel aan te vullen: noteer bij elk voorbeeld de juiste eigenschappen.

1. Indeling op basis van hun afmeting: 0D, 1D, 2D, 3D



Figuur 1. Indeling van nanomaterialen op basis van hun afmetingen

0D-nanomaterialen:

- Alle drie dimensies zijn op nanometerschaal.
- In de **x**-, **y**- en **z**-richting zijn de afmetingen **kleiner dan 100 nm**, de deeltjes zijn dus **bolvormig**
- vb. ultrafijne poeders, kwantumstippen, nanokristallen

1D-nanomaterialen:

- Eén dimensie wijkt af van de nanometerschaal.
- Deze materialen zijn vaak **naaldvormige** materialen.
- vb. nanotubes, nanovezels

2D-nanomaterialen:

- Twee van de drie dimensies bevinden zich buiten de nanometerschaal.
- Hierdoor zijn 2D-nanomaterialen **plaatvormige** materialen.
- vb. sub-micron bekledingen en films

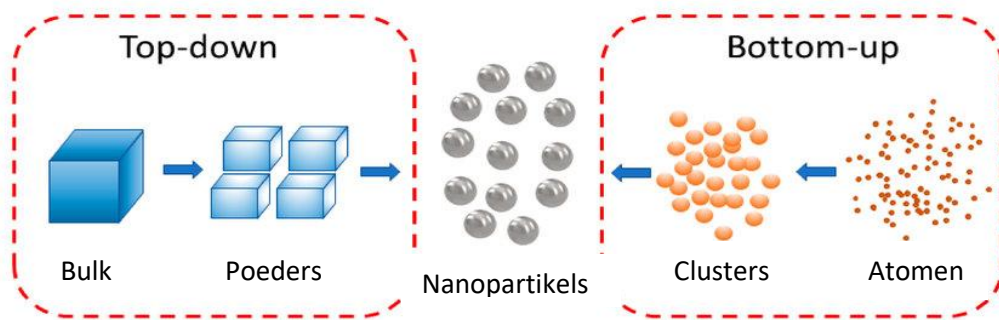
3D-nanomaterialen:

- De drie dimensies zijn **groter dan 100 nm** en dus buiten het nanometerbereik.
- Deze materialen zijn opgebouwd uit individuele blokken waarvan de dimensies wel op nanometerschaal zijn. Doordat 3D-nanomaterialen **opgebouwd zijn uit kleinere nanomaterialen**, vertonen ze vaak inwendige kenmerken van nanomaterialen.
- vb. polykristallen, dikke bekledingen en films met een nanostructuur, vaste stoffen met nano-organisatie

2. Indeling op basis van hun synthese:

Nanopartikels kunnen op twee manieren bekomen worden:

- ✓ Een vast materiaal kan verkleind worden tot een poeder met nanodeeltjes = fysische bewerking
- ✓ Nanopartikels kunnen gevormd worden vanuit atomen of moleculen, die nog kleiner zijn dan nanodeeltjes = chemische bewerking



Figuur 2. Synthese van nanopartikels

3. Indeling op basis van hun samenstelling:

Organisch stof/ Anorganisch stof

4. Indeling op basis van hun oorsprong:

Natuurlijk voorkomend / Synthetisch gemaakt

Hoe groot is een nanometer?

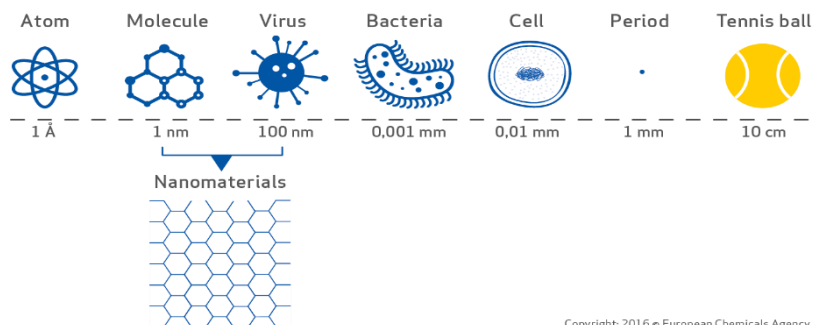
1 nanometer = 1 millimeter verdeeld in een miljoen stukjes!

Om gevoel te krijgen voor de grootte van een nanometer, ga je nu je lengte in centimeter (cm) omzetten naar een lengte in nanometer (nm). *En neen, je gebruikt hiervoor geen wetenschappelijke notatie!*

Jouw lengte in cm =

Jouw lengte in nm =

Dit geeft jou een idee hoe klein een nanometer eigenlijk is...



Copyright: 2016 © European Chemicals Agency

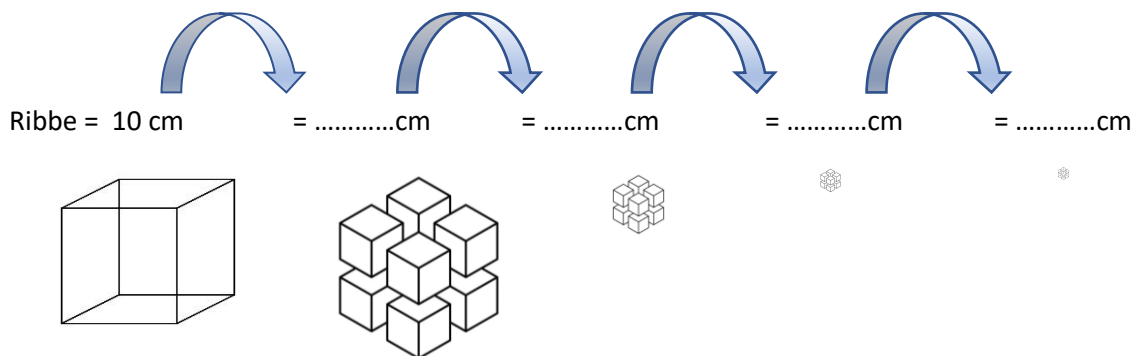
Figuur 3. Nanoschaal

Grote verhouding oppervlak tov volume geven nanomaterialen hun speciale eigenschappen.

Hoe zit dat juist?

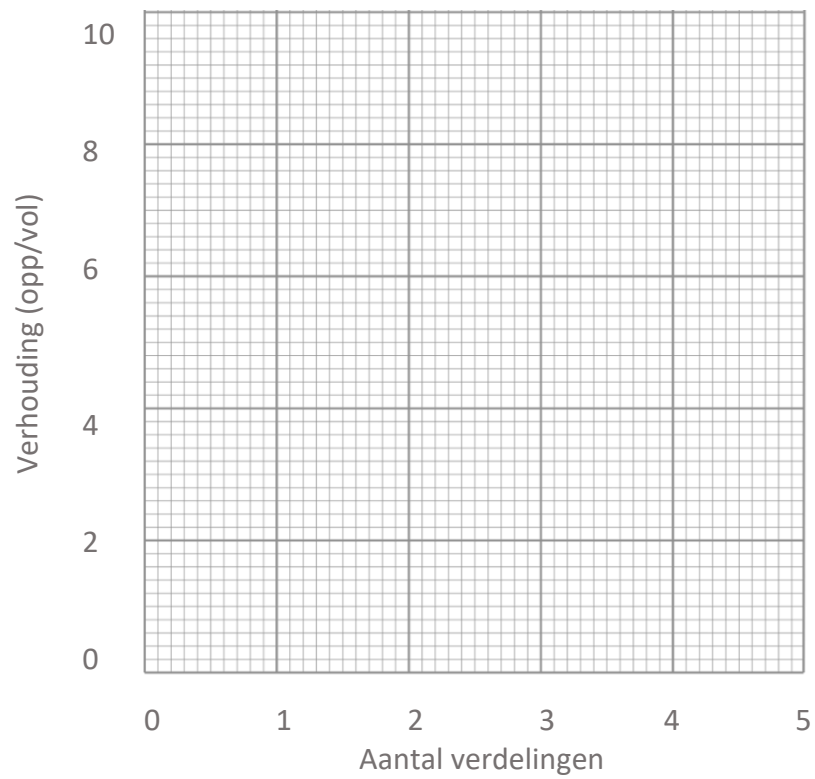
Stel je hebt een kubus met ribben van 10 cm.

- ✓ Bereken het oppervlak en volume van deze kubus en hun verhouding.
- ✓ Dan deel je de kubus op in 8 gelijke delen (= halveren in de drie dimensies).
- ✓ Bereken opnieuw het oppervlak en volume van de **nieuw ontstane kubus** en hun verhouding.
- ✓ Herhaal dit nog 3 keer en noteer je uitkomsten in de tabel.



Verdeling	Oppervlakte (cm ²) van één kubus	Volume (cm ³) van één kubus	Verhouding opp/vol
Kubus met een zijde van 10 cm	=	=	
Eerste verdeling De zijde heeft dan een lengte van cm	=	=	
Tweede verdeling De zijde heeft dan een lengte van cm	=	=	
Derde verdeling De zijde heeft dan een lengte van cm	=	=	
Vierde verdeling De zijde heeft dan een lengte van cm	=	=	

Zet nu deze verhouding uit tov het aantal verdelingen.



Wat voor soort curve krijg je?

.....

Wat gebeurt er met de verhouding wanneer je de ribbe van de kubus halveert?

.....

.....

.....

Kwantumstippen of quantum dots

Kwantumstippen of in het Engels “quantum dots” zijn een soort van nanomaterialen. De afmeting van de deeltjes is slecht tussen de 1 en 100 nm. Het zijn dus zgn. 0D-nanomaterialen. Het zijn kristallen van enkele nm diameter die slechts enkele honderden tot enkele duizenden atomen bevatten. En hoewel het kristallen zijn, gedragen ze zich meer als individuele atomen - vandaar de bijnaam kunstmatige atomen.

Hoeveel atomen zitten er in 1 korrel keukenzout?

Volume van 1 korrel = $1 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm} \cdot 0,5 \text{ mm} = 0,5 \text{ mm}^3 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$

Dichtheid = $2,16 \text{ g/cm}^3$

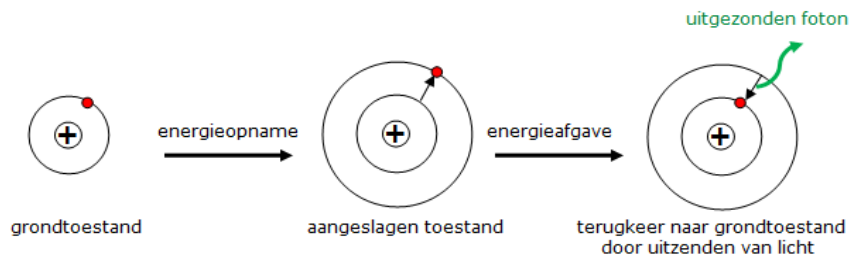
Massa van 1 korrel = $2,16 \text{ g/cm}^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 = 0,00108 \text{ g}$

Aantal mol in 1 korrel = $0,00108 \text{ g} / (58,44 \text{ g/mol}) = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$

Aantal atomen in 1 korrel = $2 \cdot 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
= **$2,23 \cdot 10^{19}$ atomen**



Fysica leert ons dat als je energie aan een atoom toevoegt, je het kunt “exciteren”: je kunt een elektron in het atoom naar een hoger energieniveau brengen. Wanneer het elektron terugkeert naar een lager niveau, kan het atoom de energie weer afgeven door een lichtfoton uit te zenden met dezelfde energie die het atoom oorspronkelijk had geabsorbeerd.



Figuur 4. Excitatie van elektronen

De kleur (golflengte en frequentie) van het licht dat een atoom uitzendt, hangt af van het atoom. Verschillende atomen geven verschillende kleuren licht. Dit is allemaal mogelijk omdat de energieniveaus in atomen vaste waarden hebben; met andere woorden, ze zijn gekwantiseerd.

Welke wetenschapper gebruikte deze kennis om het atoommodel bij te sturen?

.....

Kwantumstippen doen hetzelfde: ze absorberen licht met een hoge energie bv. UV-licht, waardoor elektronen in geëxciteerde toestand komen. Wanneer de elektronen terug naar de meer stabiele grondtoestand komen, zenden ze licht uit met een lagere energie-inhoud. Ze hebben ook gekwantiseerde energieniveaus. Wat er echter specifiek is voor kwantumstippen, is dat stippen gemaakt van hetzelfde materiaal (bijvoorbeeld CdTe) verschillende kleuren licht afgeven afhankelijk van hoe groot ze zijn.

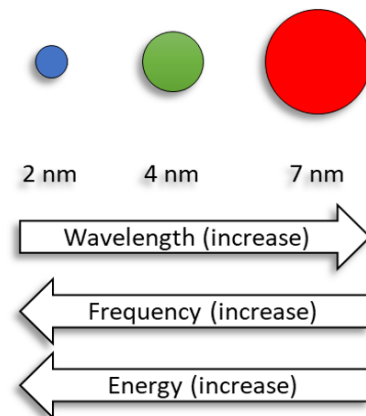
De grootste kwantumstippen:

grootste golflengte = rode kleur = kleinste energieovergang

De kleinste stippen:

kleinste golflengte = blauwe kleur = grootste energieovergang

Stippen van gemiddelde grootte zitten hiertussen en kunnen alle andere kleuren produceren.



Figuur 5. Grootte en kleur van kwantumstippen

Misschien heb je ze als kind wel gehad: glow-in-the-dark-plaksterren voor aan het plafond. Overdag zijn ze bijna niet te zien, maar 's nachts zijn ze goed zichtbaar door hun wit-groene gloed. Hoe werkt dit materiaal precies?

Glow-in-the-dark-materialen geven licht dankzij een proces dat fosforescentie heet (niet te verwarren met fluorescentie). In glow-in-the-dark-materialen zit een stof die energie uit lichtgolven haalt (absorbeert). Die energie wordt gebruikt om een elektron, dat in een bepaalde baan om de kern zweeft, naar een hogere baan te brengen. Het elektron bevindt zich dan in een zogenaamde 'aangeslagen toestand'.

Dit proces werkt twee kanten op: als licht een elektron in een aangeslagen toestand kan brengen, dan kan het terugvallen van dat elektron ook weer licht uitzenden.

Als dat terugvallen direct gebeurt, spreek je van fluorescentie.

Bij fosforescentie duurt het terugvallen wat langer. Dat komt doordat het elektron niet alleen in een bepaalde baan (schil) zit, maar ook een draairichting (spin) heeft. Bij fluorescentie verandert de spin niet, en valt het elektron direct terug in zijn oorspronkelijke baan. Maar bij fosforescentie verandert de spin wel. Daardoor kan het elektron pas terugvallen als de spin weer verandert. Dat gaat relatief langzaam, waardoor het glow-in-the-darkmateriaal nog een hele poos licht blijft geven.

<https://weet-magazine.nl/artikelen/techniek/natuurkunde-scheikunde/hoe-werkt-glow-in-the-dark/>

3. Fluorescentie van anorganische CdTe kwantumstippen

Doel

- ✓ Het observeren van de fluorescentie-kleur van wateroplosbare CdTe kwantumstippen met behulp van een UV-zaklamp.
- ✓ Het bepalen van de golflengte die bij de kleur hoort.
- ✓ Het bepalen van de grootte van de CdTe kwantumstip aan de hand van de golflengte.

Materiaal

- ✓ Een set van vijf wateroplosbare CdTe kwantumstippen in afgesloten flesjes
- ✓ UV-zaklamp
- ✓ Golflengte-kleur diagram (zie hieronder)
- ✓ Golflengte-grootte grafiek (zie hieronder)

Veilig gebruik UV Licht

- ✓ Wees voorzichtig bij het gebruik van de UV-zaklamp. Vermijd directe blootstelling aan ogen.



Procedure: Observatie met UV-zaklamp

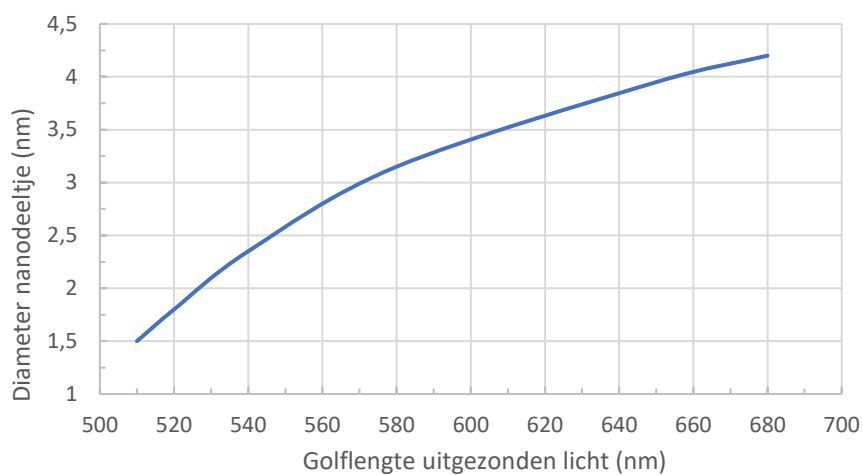
- ✓ Gebruik de UV-zaklamp om de kwantumstippen-oplossingen te belichten. Het licht van de omgeving wordt beperkt door de flesjes in het doosje te bekijken.
- ✓ Observeer en noteer de kleur van de fluorescentie die door de kwantumstippen wordt uitgezonden, in de tabel op de volgende pagina.
- ✓ Gebruik nu het golflengte-kleur diagram om de golflengte die overeenkomt met de uitgezonden kleur te schatten en in de tabel te noteren.

Golflengte-kleur diagram (in nm)



- ✓ Gebruik de golflengte-grootte grafiek die het verband toont tussen de grootte van de CdTe kwantumstippen en hun golflengte. Schat de grootte van de kwantumstippen in je stalen met behulp van deze grafiek en noteer dit in de tabel.

Golflengte-grootte grafiek voor CdTe kwantumstippen (experimentele data)



Werkblad

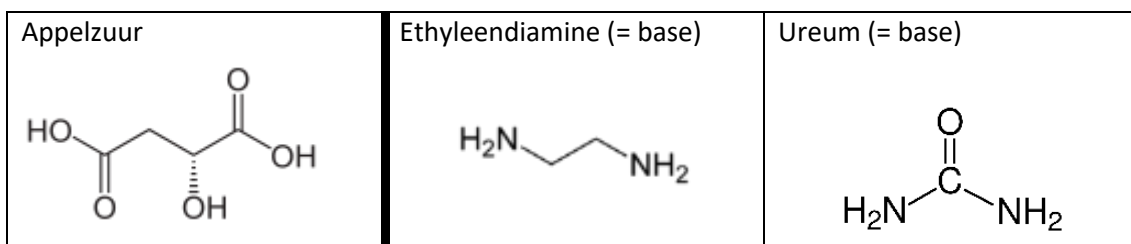
Staal #	Kleur	Golflengte (nm)	Grootte van de CdTe deeltjes (nm)
<i>Voorbeeld</i>	<i>rood</i>	<i>675</i>	<i>4,3</i>

4. Bereiden van organische koolstofkwantumstippen

Naast de anorganische kwantumstippen zoals CdTe deeltjes, is er ook interesse in organische kwantumstippen. Anorganische materialen, zowel grondstoffen als producten, zijn vaak toxisch. Hierdoor zijn bijkomende voorzorgsmaatregelen vereist voor ontginning, productie en gebruik.

Dit leidde tot onderzoek naar nieuwe syntheseroutes voor kwantumstippen uitgaande van organische, vaak niet toxische grondstoffen.

In dit labo zullen kwantumstippen gemaakt worden op basis van de volgende grondstoffen:



Door telkens appelzuur te combineren met een base maken we 2 verschillende kwantumstippen.

Onderzoeksvraag

Noteer hier de onderzoeksvraag:

.....

.....

Maken kwantumstippen

- ✓ Noteer je naam op de 2 bekertjes van 50 ml, doe handschoenen aan.
- ✓ Weeg in elke beker ongeveer 1 g appelzuur af.
- ✓ Voeg aan beide bekertjes 5 ml gedemineraliseerd water toe. Gebruik hiervoor een maatcilinder van 10 ml.
- ✓ Voeg een roervlo toe aan elke beker en plaats de bekertjes op een roerplaat. De beker met de letter E plaats je op de roerplaat onder de trekkast.
- ✓ Roer korte tijd op kamertemperatuur, tot al het zuur is opgelost.
- ✓ Weeg ongeveer 0,5 g ureum af in een weegschuitje en voeg dit toe aan de oplossing in de beker met de letter U.
- ✓ Neem met de plastic pipet ongeveer 0,5 ml (zie streep) uit het potje ethyleendiamine en voeg toe aan de beker met de letter E. Werk onder de trekkast!
- ✓ Laat beide bekertjes gedurende een 3-tal minuten roeren op kamertemperatuur.
- ✓ Stop de roerders en verwijder de roervlo's door met een lange magneetstaaf de roervlo aan de buitenkant omhoog te trekken. Spoel de roervlo af boven de grote beker, gebruik hiervoor een spuitfles.

- ✓ De mengsels zijn nu klaar, er kunnen maximum 6 bekers tegelijk in de microgolf behandeld worden. Plaats de bekers in de getekende rondjes en wacht op de andere groepen om de microgolf op te zetten. Behandel op 360 W:

→ 6 minuten voor 4 bekers

→ 8 minuten voor 6 bekers

! De beker zal na microgolfbehandeling zeer heet zijn!



- ✓ Gebruik de ijzeren tang om alle bekers uit de microgolf te halen en plaats ze op de siliconenmat. Laat de bekers even afkoelen.
- ✓ Voeg met de maatcilinder 10 ml water toe aan elke beker om een deel van de gevormde stof op te lossen. Schud voorzichtig eventjes met de beker

Observeren onder een UV-lamp

- ✓ Plaats de bekers achteraan naast elkaar onder de UV-lamp van 366 nm.
- ✓ Observeer en vergelijk de kleuren en noteer.
- ✓ Breng met behulp van een plastic pipet een druppel van elke oplossing op filterpapier.
- ✓ Gebruik de labels op de pipetten overeenkomstig met deze op je bekers en het papier!
- ✓ Plaats het filterpapier onder de UV-lamp.
- ✓ Observeer en vergelijk de kleuren en noteer.

Soort kwantumstip		Kleur van de oplossing	Kleur onder UV-lamp	Kleur op filterpapier
U	Appelzuur + ureum			
E	Appelzuur + ethyleendiamine			

Welke kwantumstippen hebben de kleinste afmeting?

Tip: je kan dit afleiden uit de kleur van de fluorescente straling....

.....

.....

.....

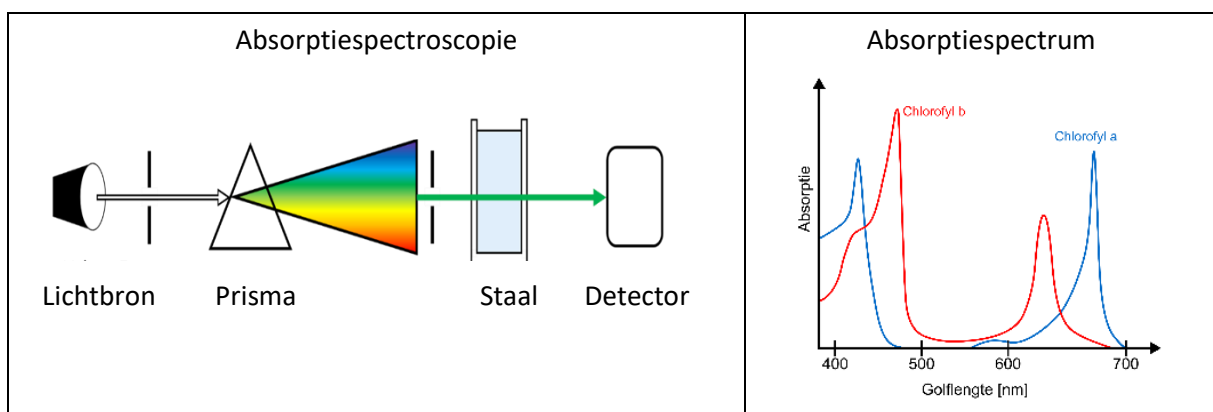
.....

5. Fluorescentiespectroscopie van organische koolstofkwantumstippen

De fluorescentie van de kwantumstippen kunnen we met het blote oog waarnemen en vergelijken. Dit geeft ons echter maar beperkte informatie. Om een goed zicht te krijgen op de kleinere verschillen in kleur maken we gebruik van een zgn. spectrofotometer.

In laboratoria wordt er vaak gebruik gemaakt van absorptiespectroscopie om een idee te krijgen van welke elektromagnetische straling er wordt geabsorbeerd en welke er wordt doorgelaten door een oplossing.

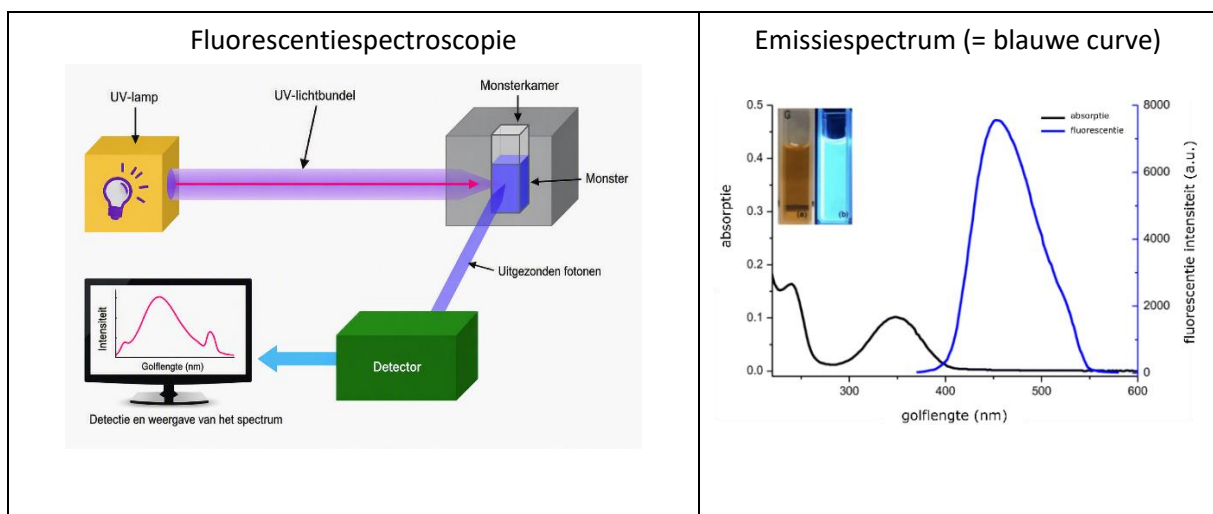
Een oplossing van chlorofyl bijvoorbeeld is groen gekleurd. Wanneer we deze oplossing bekijken in een absorptiespectrofotometer zien we dat straling in het blauwe en rode gedeelte van het spectrum worden geabsorbeerd (hoge pieken), terwijl straling in het groene gedeelte niet wordt geabsorbeerd (geen absorptiepiek).



Figuur 6. Adsorptiespectroscopie van chlorofyl

Bij de kwantumstippen zijn we echter geïnteresseerd in de fluorescentie: de straling die de stof in oplossing uitzendt doordat er UV-licht wordt op gestraald.

Daarvoor gebruiken we een opstelling, waarbij een lichtbron, de UV-lamp, op een staal of monster in een cuvet schijnt. De stof zal geëxciteerd worden en licht uitzenden. De detector staat nu onder een hoek van 90° ten opzichte van het invallende licht, zodat die bijna enkel uitgezonden licht opvangt.

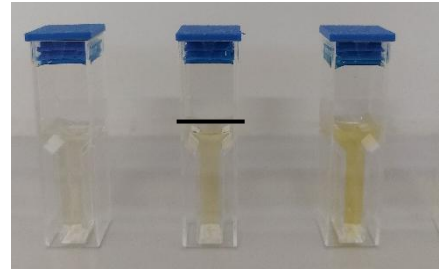


Figuur 7. Fluorescentiespectroscopie van koolstofkwantumstippen

Vorbereiden stalen

Om de fluorescentie te kunnen meten moeten de oplossingen van de kwantumstippen verdund worden:

- ✓ Neem de cuvetten enkel bovenaan vast, zorg dat er geen vingerafdrukken op de zijkanten komen.
- ✓ Vul een cuvet met het druppelflesje demi water tot je net boven het versmalde deel uitkomt.
- ✓ Voeg **1** druppel van de kwantumstip oplossing uit beker **E** toe aan je cuvet.
- ✓ Gebruik hierbij de overeenkomstig gelabelde plastic pipet.
- ✓ **Let op** dat je opzuigt bovenaan de vloeistof om te vermijden dat je vaste deeltjes meeneemt.
- ✓ Sluit de cuvet af door het **blauwe** plastic dopje goed erop vast te klikken en schud dan eventjes.
- ✓ Herhaal met de 2^{de} cuvet, voeg hier **2** druppels van de kwantumstip oplossing uit beker **U** aan toe en sluit af met de het **grijze** plastic dopje.
- ✓ Neem de gesloten cuvetjes mee naar de spectrofotometer achteraan in het labo.



Metten

Meet je 2 zelf gemaakte cuvetten en de 3 reeds klaargezette cuvetten met andere kwantumstippen:

- ✓ Schud de cuvet even opnieuw op. Mochten er aan de buitenkant van de cuvet druppeltjes hangen veeg deze dan even af met een kleenex.
- ✓ Plaats de cuvet in de cuvethouder met de geribbelde zijde naar de lamp toe. Plaats de kap erover.
- ✓ Zorg dat de UV-lamp aan staat en de lichtstraal recht op de cuvethouder schijnt.
- ✓ Gebruik het programma "ThorSpectra" op de laptop.
- ✓ Ga naar Trace A, klik rechts op het label en vink vervolgens "Set as active" en "Write" aan – zo wordt het spectrum in deze Trace opgenomen.
- ✓ Start de opname van het spectrum door op Single  te klikken.
- ✓ **Nadat je spectrum is opgenomen vink je "Write" terug af zodat deze Trace bij een volgende opname niet wordt overschreven.**
- ✓ Om een volgend spectrum op te nemen: ga naar Trace B (C, D, E ...), klik rechts op het label en zet Trace B (C, D, E ...) as active en op write
- ✓ Start de opname van het spectrum in Trace B (C, D, E ...) door op Single te klikken. Vergeet niet telkens na de opname "Write" terug af te vinken.
- ✓ Indien gewenst kan je de legende (links bovenaan in het spectrum) aanpassen door erin te klikken en te typen.
- ✓ Het spectrum kan worden opgeslagen naar File te gaan in het Main menu en "Save all" te selecteren. Geef je spectrum een naam en save het document.
- ✓ Noteer op de volgende pagina wat je hebt opgemerkt bij deze spectra.

Welke verschillen merk je op tussen de spectra van de verschillende kwantumstippen?

.....

.....

.....

.....

.....

6. Opruimen

Vat 5L “Nanopartikels – waterige oplossingen”:

- ✓ bekertjes met oplossingen kwantumstippen leeggieten
- ✓ gebruik het water dat je hebt gebruikt om de roervlo’s af te spoelen om de bekertjes een eerste keer na te spoelen, daarmee zit dit spoelwater ook al in het juiste afvalvat
- ✓ indien dit niet voldoende is, de beker nog een beetje naspoelen met een spuitfles met water
- ✓ plaats de gespoelde bekertjes op de kar vooraan in het labo

Beker met plastic zak tussen 2 labotafels

- ✓ gebruikt filterpapier
- ✓ gebruikte cuvetten (gesloten met dopjes erop en vloeistof nog in)
- ✓ pasteurpipetten (gebruikt om oplossing te druppelen)

Beker met plastic zak aan de spectrometer

- ✓ kleenex

Vat “vast afval”:

- ✓ handschoenen

Klaar? En jouw collega’s nog niet?

Probeer dan de nano-domino om je kennis over nanomaterialen en hun toepassingen nog verder uit te breiden.

Bronnen:

Nanomaterialen in de media:

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Qled>

<https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2023/10/04/nobelprijs-voor-chemie/>

<https://www.uhasselt.be/media/pcbfiypc/nanocosmetica.pdf>

<https://www.eoswetenschap.eu/gezondheid/mini-weefsels-uit-het-lab-herstellen-mogelijk-beschadigd-hart>

<https://www.phdcup.be/nieuws/broeikasgassen-de-spons-erover>

<https://www.sciensano.be/nl/gezondheidsonderwerpen/nanomaterialen#hoe-schadelijk-zijn-nanodeeltjes->

<https://www.eoswetenschap.eu/natuurwetenschappen/fysici-ontwikkelen-nanoled>

Top-down/Bottom-up:

https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-top-down-and-bottom-up-synthesis-of-nanoparticles-NPs_fig1_346634789

Nanoschaal:

<https://euon.echa.europa.eu/nl/general-information>

Excitatie van elektronen: Wij en Chemie – KULeuven

Grootte en kleur van kwantumstippen:

<https://shop.plasmachem.com/startseite/283-educational-exploitation-kit.html>

Absorptiespectroscopie:

<https://www.wpiinc.com/blog/post/absorbance-detection>

Absorptiespectrum van chlorofyl:

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20509583> (vertaald naar Nederlands)

Fluorescentiespectroscopie:

<https://www.agilent.com/en/support/molecular-spectroscopy/fluorescence-spectroscopy/what-is-fluorescence-spectroscopy-faqs>

Emissiespectrum:

https://www.researchgate.net/publication/339151401_Development_of_Carbon_Quantum_Dot-Labeled_Antibody_Fluorescence_Immunoassays_for_the_Detection_of_Morphine_in_Hot_Pot_Soup_Base