



De docentenhandleiding

INHOUDSOPGAVE

I	Introductie	1
II	Actionbound	2
III	Alle stages	4
I	Universum Y53: Youngs dubbelspleet en Schrödingers kat	4
II	Universum B30: Buiging van licht	9
III	Universum D32: Deeltje in een doosje	12
IV	Universum T48: Tunnellen van quantumdeeltjes	14
V	Universum O43: Onzekerheidsrelatie	18
VI	Universum F34: Foto-elektrisch effect	21
VII	Universum Q45: Quantumcomputer en verstrengeling	25
IV	QR codes en Quick start/stop	29

I. INTRODUCTIE

Dit is de docentenhandleiding van de quiz Escape the Universe (ETU). Deze quiz is bedoeld om middelbare scholieren te introduceren in de quantumwereld. De voornaamste doelgroep zijn scholieren die natuurkunde als profielkeuzevak volgen en aan het eind van vwo 5 zitten of in vwo 6. Deze quiz is gemaakt om op een andere manier over quantum te leren dan alleen uit een boek. De quiz bevat informatiefilmpjes en teksten waarover vragen worden gesteld. Tevens worden er missies en toernooien gespeeld, deze onderdelen zullen onder het kopje Actionbound nader worden toegelicht. Ook heeft de quiz als doel om de tool “actionbound” onder de aandacht van

docenten te brengen aangezien het een ideaal medium is om interactieve quizen te ontwerpen.

De quiz biedt genoeg stof om een lesuur van 50 minuten te vullen. Om de quiz te spelen is het nodig dat per groep leerlingen er een smartphone of tablet aanwezig is. Dit device moet een voldoende volle batterij hebben, een werkende camera en werkende speakers. De leerlingen moeten de actionbound app installeren (grootte ± 20 Mb). Om de quiz te starten moeten de leerlingen met de app een QR code scannen, deze codes zijn aan het eind van dit document te vinden. Op de laatste pagina is een quick start/stop te vinden, die als richtlijn kunnen dienen om de quiz soepel te laten verlopen. Wanneer de docent deze QR codes print (de laatste 8 pagina's van dit document) dan kunnen deze verspreid door de klas worden opgehangen. De quiz is opgedeeld in verschillende blokken (universa), door de QR code bij het behorende blok te scannen kunnen deze blokken worden gespeeld. De universa zijn zo ingericht dat ze in willekeurige volgorde gespeeld kunnen worden. Het staat de docent vrij om een of meerdere universa uit het spel weg te laten, de quiz kan dan evengoed voltooid worden. Voor vragen en/of opmerkingen kunt u mailen naar: escapetheuniverse2018@gmail.com. Concept ontworpen door: Thom Boudewijn, Kirsten Kannevorff, Daan van Otterloo, Angélique van Vark en Annelies Vlaar. Verdere uitwerking door: Kirsten Kannevorff en Annelies Vlaar.

II. ACTIONBOUND

Actionbound is een platform van Duitse afkomst dat gebruikt kan worden om een interactieve quiz te maken. Het verschil met de al bekende Socrative en Kahoot is dat bij het gebruik van actionbound er filmpjes, plaatjes en website links kunnen worden ingevoegd en ook andere soorten opdrachten kunnen worden uitgevoerd dan alleen multiple-choice vragen.

In ETU zijn er verschillende tools van de actionbound die worden gebruikt. Stages, in het Nederlands posten genoemd, het gebruik hiervan zorgt ervoor dat de hele bound kan worden opgedeeld in verschillende subgroepen. Bij ETU zijn de verschillende subgroepen de universa. Er zijn twee manieren om een stage te openen: het gebruiken van de lijst en er een aan klikken of door het gebruik van QR codes die worden gescand. Bij ETU is voor het laatste gekozen.

Een andere tool is de quiz, waarmee punten verdiend kunnen worden. Er zijn vier manieren waarop de antwoorden kunnen worden ingevoerd: multiple choice, een lijst in de goede volgorde zetten, het gokken van een getal of een tekstueel antwoord invullen. Bij de quiz kan ook een tijd voor de vraag worden ingesteld, eerst is er een tijd waar nog geen punten worden afgetrokken (tijdslimiet), daarna gaat er voor een aantal seconde 10% van het totaal aantal punten af.

Bij een fout antwoord, worden er geen punten toegekend als er maar 1 poging voor de vraag is. Als een vraag meerdere pogingen bevat wordt er een bepaalde hoeveelheid punten van het totaal afgetrokken en is de vraag minder punten waard geworden. Bij de vraag kunnen er ook hints worden gegeven. Deze hints zijn te zien als de vraag de eerste keer foutief is beantwoord. Bij twee of meer hints, komt na de eerste poging alleen de eerste hint te zien, na de tweede poging alleen de tweede etc. Als het antwoord uiteindelijk fout is, kan er voor worden gekozen om het goede antwoord te tonen. Naast een gekozen aantal pogingen, zijn er ook vragen waar het goede antwoord moet worden gegeven om verder te gaan.

Ook zijn er nog toernooien en missies. Een toernooi kan alleen in groepsverband worden gedaan, aangezien de mensen binnen een groep tegen elkaar strijden bij het voltooiën van een opdracht. Hierbij worden geen punten toegekend. Bij een missie moet de groep een opdracht uitvoeren. Hier zijn, net als bij een toernooi, geen punten aan verbonden.

Aandachtspunten bij het opstarten van actionbound en ETU:

- Per groepje, van ongeveer 4 leerlingen, moet er één smartphone of tablet aanwezig zijn met voldoende batterij en met een werkende camera en speaker. Het apparaat moet niet gemute zijn, m.a.w. de ringtoon moet aan staan. Dit is te vinden in een menu of kan geregeld worden via een schuifknopje.
- Een tablet heeft de voorkeur boven een smartphone omdat een groter scherm handiger is tijdens het samenwerken.
- De actionbound app moet door de leerlingen worden geïnstalleerd. (gratis en grootte is $\pm$ 20Mb) De actionbound is niet op een laptop of online speelbaar.
- Bij het openen van de app kan via instellingen de taal naar het Nederlands worden gezet. Dit kan alleen voor het begin, na het scannen van de start QR code kunnen instellingen niet meer worden gewijzigd.
- Als stage F34 wordt gebruikt moet bij smartphones via instellingen de optie externe browser worden aangezet. Dit kan alleen voor het begin, na het scannen van de start QR code kunnen instellingen niet meer worden gewijzigd.
- Na het scannen van de start code, wordt alle data van Escape The Universe gedownload, een werkende internetverbinding is dan alleen nodig om de filmpjes en de applet te bekijken.
- Alle filmpjes die worden gebruikt in ETU zijn in het Engels, daarom is het handig om de ondertiteling aan te zetten.
- Bij het invoeren van de namen moet er naar beneden worden gescrolled en geklikt worden op de “aan de slag” knop onderaan.
- Bij het gebruik van een link kan het zo zijn dat de knop “terug naar bound” (links boven) niet meer werkt. Om dit te verhelpen moet men de app opnieuw aanklikken. Hierbij start de app op de plek waar men gebleven is.

III. ALLE STAGES

Alle vragen met antwoorden en eventueel extra uitleg bij elke stage.

Onderaan het document elke QR code op een aparte pagina zodat het gemakkelijk uit te printen is.

I. Universum Y53: Youngs dubbelspleet en Schrödingers kat

Welkom in het universum waar je zult ontdekken wat er gebeurt als quantumdeeltjes zich als een golf en als een deeltje gedragen. Ook kom je erachter of de kat van Schrödinger nog leeft.

Opgave 1.

100 P.

Erwin Schrödinger was een van de grondleggers van de quantumtheorie. Toen hij de wiskunde die de quantumwereld omschrijft bekeek, realiseerde hij zich iets bijzonders dat we “superpositie” noemen. Stel dat je een lamp hebt, dan zijn er 2 opties: de lamp staat aan of de lamp staat uit. In de quantumwereld is er nog een derde optie: Zolang je niet naar de lamp kijkt, staat de lamp in een mengsel van aan en uit! De quantumlamp heeft een zogenaamde “golffunctie” die de kans beschrijft dat hij aan of uit staat als je kijkt. Voordat je kijkt, heeft de lamp nog niet “gekozen” of hij aan of uit staat en staat dus als het ware in een superpositie (mengsel) van aan en uit.

De student word gevraagd de volgende video over Schrödingers cat te kijken:

<https://www.youtube.com/watch?v=BHONfVUTWG4>



Schrödinger vond in de wiskunde van de quantumtheorie dat een quantumobject in een gemengde toestand kan verkeren (superpositie). Deze schijnbare paradox (de kat kan niet levend en dood tegelijk zijn) liet Schrödinger denken dat de quantumtheorie wel fout moest zijn. Later werd door David Wineland experimenteel bewezen (zonder katten in gevaar te brengen) dat quantumsuperpositie echt is! Hiervoor won hij de 2012 Nobelprijs van de fysica.

De kat is dus leven of dood als we kijken, maar voordat we kijken is de kat in een superpositie van levend en dood. Wat quantumtheorie je wel kan vertellen is hoe groot de kans is dat als je kijkt de kat levend of dood is. Stel dat we nu 10 katten nemen en de quantumtheorie vertelt ons dat de kans dat ze leven als we kijken 80% is, hoeveel katten zijn er dan levend terwijl we niet kijken?

- a) alle katten bevinden zich in een mengsel van dood en levend. ✓ b) 8 katten leven.
- c) 2 katten leven. d) Alle katten leven en alle katten zijn dood.

Opgave 2.

150 P.

Stel een dobbelsteen die voldoet aan de regels van de quantumtheorie zit in een doos. Het is niet mogelijk om naar de dobbelsteen te kijken. Welk getal ligt er nu bovenaan?

- a) Er ligt 1 getal daadwerkelijk bovenaan, we weten alleen niet welk getal. b) Aangezien alle getallen bovenaan kunnen liggen, is het bovenste getal 3,5 (het gemiddelde van de 6 mogelijkheden).
- c) De bovenste zijde is een superpositie van de 6 mogelijkheden. ✓ d) Het bovenste getal is 6, dat weet toch iedereen!

De 10 katten zijn allemaal in een superpositie van leven en dood zolang er niet gekeken wordt. Dit verschijnsel komt alleen in de quantumwereld voor (dus bij hele kleine en lichte deeltjes). De dobbelsteen van de tweede vraag moet dus ook wel een quantumdobbelsteen zijn, anders zou hij te veel massa hebben en te groot zijn en dan zouden de wetten van de klassieke mechanica weer gelden. Voor de quantumdobbelsteen geldt dat tot het moment dat we naar de dobbelsteen kijken alle getallen aan de bovenzijde liggen. De bovenzijde is dus een superpositie van de 6 mogelijkheden i.p.v. de 2 mogelijkheden bij de kat van Schrödinger.

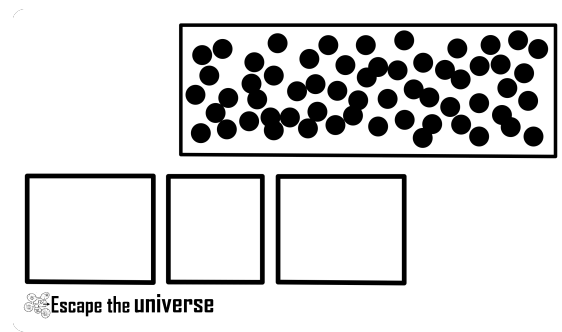


Opgave 3.

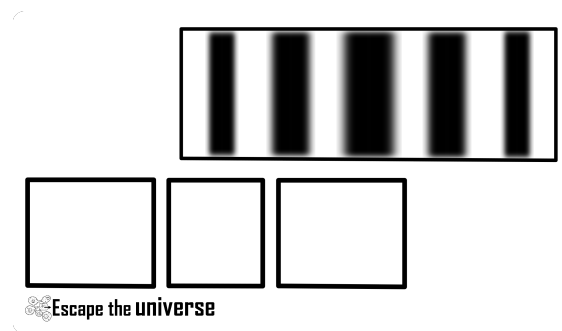
100 P.

Kijk het volgende filmpje over het dubbelspleet experiment:
<https://www.youtube.com/watch?v=9TbLit1KwpM>

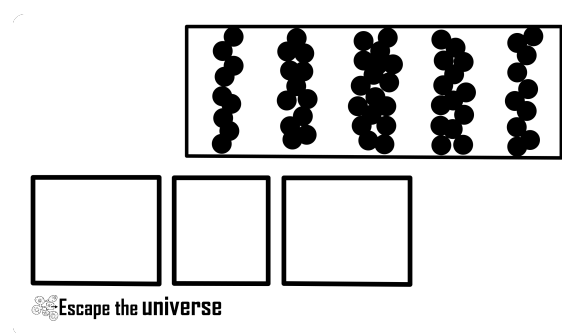
In het filmpje worden deeltjes (bijvoorbeeld knikkers) door een dubbele spleet geschoten, je ziet dat de deeltjes het scherm op willekeurige plekken raken.



Wanneer er een golf door de spleten wordt geschoten ontstaat er een bijzonder patroon. Achter de twee spleten ontstaan twee nieuwe golven die met elkaar interfereren. Op het scherm zie je dat op sommige plekken de golven elkaar opheffen (lichte strepen) en op andere plekken elkaar versterken (donkere strepen). Er ontstaat een **interferentiepatroon**.



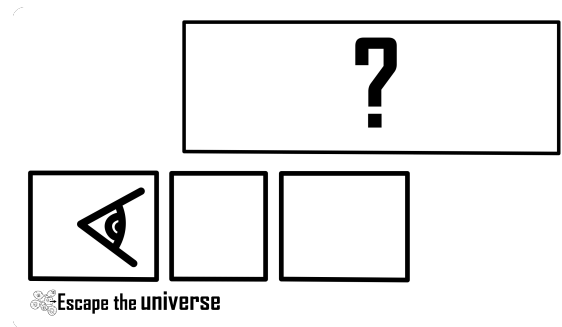
Op het moment dat je een quantumdeeltje (bijvoorbeeld een electron) door de spleten schiet lijkt deze het scherm op een willekeurige plek te raken. Maar wanneer je heel veel quantumdeeltjes één voor één naar het scherm schiet ontstaat er een interferentiepatroon net zoals bij een golf.



Na deze observatie kwamen natuurkundigen tot de conclusie dat een quantumdeeltje zich als een golf en een deeltje gedraagt. De golven van quantumdeeltjes vertellen je wat de kans is dat je het deeltje vindt als je op een bepaalde plek kijkt. Deze golfbeschrijving wordt de **golffunctie** van het deeltje genoemd. Als je het quantumdeeltje op de twee spleten schiet, interfereert de golf met zichzelf, waardoor hij op sommige plekken achter de spleten zichzelf opheft (geen/kleine kans om het deeltje te vinden). Op andere plekken de golven juist op en krijg je een maximum (veel

kans om het deeltje te vinden).

Stel je nu voor dat we een detector neerzetten bij een van de twee spleten die ons vertelt of het electron door die spleet is gegaan of niet (dus door de ander). Hoe gedraagt het electron zich dan als het door de spleet is gegaan?



- a) Als een deeltje ✓ b) Als een golf (interferentie) c) Als een superpositie van beide

De hint die wordt gegeven:

- a) Denk aan Schrödingers kat. Op het moment dat we **kijken** is de kat dood of levend, maar als we **niet kijken**, is de kat in een superpositie van dood en levend. Gaat het elektron door 1 of 2 spleten als de detector kijkt?

Het electron gedraagt zich in dit geval als een deeltje. Als we observeren door welke spleet het electron gaat, kiest het electron een van beide spleten en gaat niet meer door een superpositie van beide spleten. Er treedt dus ook geen interferentie op tussen de twee spleten. Het is net alsof het electron weet dat we aan het kijken zijn en zich dan snel als een deeltje gaat gedragen. Weet het electron soms dat hij begluurd wordt, heeft hij een interactie met de detector? De wetenschap heeft hierover nog geen overeenkomst bereikt... Het enige dat we weten, is dat de quantumtheorie de goede antwoorden geeft als we deze met experimenten checken!

Opgave	Eigenschap	
1.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	100
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
2.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	150
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
3.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	150
	punten aftrek bij fout antwoord	75
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	2
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee

II. Universum B30: Buiging van licht

In dit universum kun je zien wat het gevolg is van het feit dat quantumdeeltjes zich ook als golven gedragen.

Opgave 1.

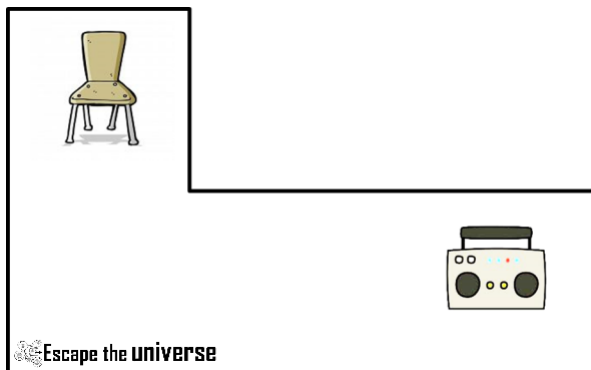
150 P.

Kijk om te beginnen de volgende video over de buiging (diffraction) van golven door een opening (aperture): <https://www.youtube.com/watch?v=BH0NfVUTWG4>

In deze video is te zien dat als de opening kleiner wordt gemaakt, er meer buiging is. Daarnaast kun je ook de golflengte groter maken om meer buiging te krijgen. Andersom leidt een grotere opening of een kleinere golflengte tot minder buiging.

Stel je zit op een stoel in een ruimte met een bocht erin. Je wilt luisteren naar een radio die je niet kan zien. De ruimte is zo gemaakt dat het alleen mogelijk is om de radio te horen door buiging van het geluid.

Welke tonen kun je het beste horen?



- a) De lage tonen. ✓
- b) De hoge tonen.
- c) Je hoort alle tonen even goed.
- d) Je hoort de radio helemaal niet. Buiging bestaat helemaal niet, het is een verzinsel van Napoleon!
- e) Napoleon? Het was Columbus!!!
- f) Antwoord d is juist.

De Hints die worden gegeven:

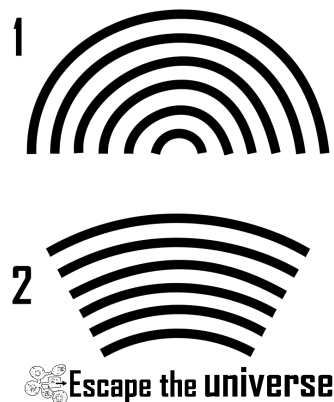
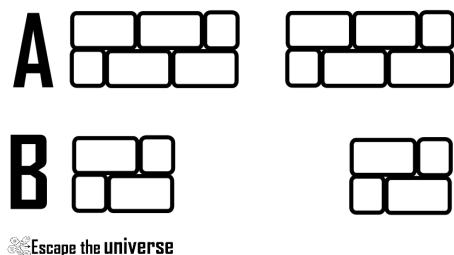
- a) Hoge tonen hebben een kleinere golflengte dan lage tonen.

Lage tonen hebben een grotere golflengte dan hoge tonen. We weten dat een grotere golflengte leidt tot meer buiging. Het geluid dat meer buigt zal je daarom beter horen. Dit betekent dat je de lage tonen beter zal horen dan de hoge tonen.

Opgave 2.

100 P.

Je laat licht vallen door de openingen A en B. Je ziet de volgende golfpatronen verschijnen:



Welk golfpatroon verwacht je bij opening B?

a) 1

b) 2 ✓

Je weet dat licht ook een golf is, dus als het door een smalle opening valt treedt er meer buiging op dan door een brede opening.

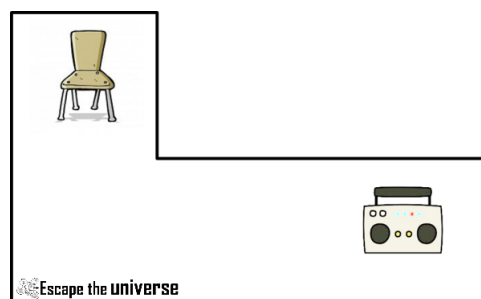
Opgave 3.

150 P.

Dus zowel licht als geluid gedragen zich als golven. In de onderstaande tabel staan de frequenties en voortplantingssnelheden voor licht en geluid weergegeven.

	zichtbaar licht	hoorbaar geluid
frequentie spectrum	400 THz - 789 THz	20 Hz - 20 KHz
voortplantingssnelheid (lucht 20°C)	299 702 520 m/s	434 m/s

Als zowel licht als geluid golven zijn en kunnen buigen. Waarom kan je vanaf de stoel de radio niet zien maar wel horen?



- a) De golflengte van het licht is kleiner dan die van geluid, dus buigt niet genoeg om bij onze ogen te komen ✓
- b) De golflengte van licht is groter dan die van geluid, dus buigt niet genoeg om bij onze ogen te komen
- c) Licht is quantum en buigt dus op een andere manier dan geluid, daarom is de radio niet te zien vanaf de stoel
- d) We kunnen hem wel zien, maar alleen in een ander universum

De hints die worden gegeven:

- a) Je hebt de frequentie spectra en voortplantingssnelheden nodig om te weten wat de golflengte is
- b) Golven met grotere golflengtes buigen meer en bij een grotere opening dan golven met kleine golflengtes
- c) De golflengte is gelijk aan de voortplantingssnelheid gedeeld door de frequentie

Opgave	Eigenschap	
1.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	150
	punten aftrek bij fout antwoord	75
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	2
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
2.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	100
	punten aftrek bij fout antwoord	90
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
3.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	150
	punten aftrek bij fout antwoord	30
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	3
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee

III. Universum D32: Deeltje in een doosje

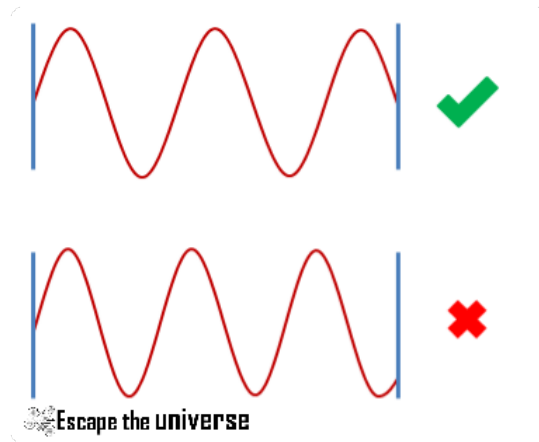
Dit is het universum waar je kunt leren waarom dit eigenlijk de quantumwereld heet.

Opgave 1.

100 P.

Een deeltje kan ook golfeigenschappen hebben. We hebben een deeltje in een doos met lengte L . Het deeltje zich kan bewegen door de hele doos. In de quantumwereld wordt de positie van dit deeltje beschreven als een golf.

Deze situatie is vergelijkbaar met een oscillerend touw tussen twee wanden. Het touw is dan vastgemaakt aan beide wanden op dezelfde hoogte. De afstand tussen de twee wanden is gelijk aan lengte L . Het oscillerende touw gedraagt zich als een staande golf. Doordat het touw vastzit aan de wanden, is niet iedere golflengte mogelijk. Zo is een golflengte van $L/6$ bijvoorbeeld wel mogelijk, maar een golflengte van $3L/5$ niet. Dit komt doordat de golf op de wanden altijd een knoop moet hebben. (Denk aan knopen en buiken van golven!) Hieronder is dit geïllustreerd.



Dit geldt ook voor het deeltje in de doos. Omdat de energie van de golflengte afhangt, kan de energie dus ook niet iedere mogelijke waarde hebben. We zeggen dat de energie is "gequantiseerd". Dit is een kenmerkende eigenschap van de "quantumwereld".

De energie van een quantumdeeltje is het laagst in de grondtoestand. Zijn golflengte is dan maximaal.

Het quantumdeeltje in de doos met lengte L heeft de laagst mogelijke energie. Wat is zijn golflengte?

- a) 0 b) $L/2$ c) L d) $2L$ ✓

In de grondtoestand past er precies een halve golflengte in de doos. De golflengte is dan dus gelijk aan twee keer de lengte van de doos.

Opgave 2.

100 P.

Wat gebeurt er met de golflengte als de energie van het deeltje in het doosje groter wordt?

- a) De golflengte wordt groter b) De golflengte wordt kleiner ✓
c) De golflengte blijft gelijk

Aangezien het deeltje in de grondtoestand (de toestand met de laagste hoeveelheid energie) correspondeert met de maximale golflengte kan de golflengte alleen maar kleiner worden bij een toename van de energie.

Opgave	Eigenschap	
1.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	100
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
2.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	100
	punten aftrek bij fout antwoord	50
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	2
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee

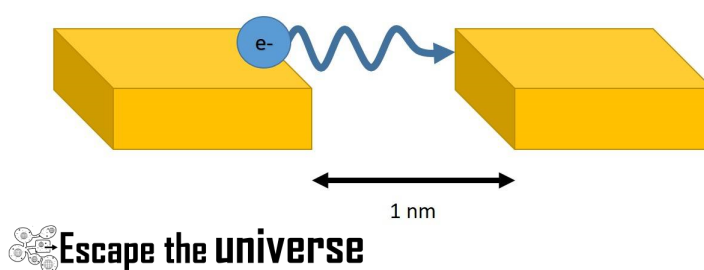
IV. Universum T48: Tunnelen van quantumdeeltjes

Waarschuwing: Voor de eerste opdracht in deze post is ruimte nodig. Zorg ervoor dat deze ruimte er is door de leerlingen bijvoorbeeld de gang op te laten gaan.

Welkom in het universum waar je kunt leren dat quantumdeeltjes verder kunnen springen dan dat je zou verwachten.

Opgave 1.

Dit is een toernament waar de groepsleden tegen elkaar gaan om zo ver mogelijk te springen.



Als twee metaalplaten dicht bij elkaar zitten, kunnen electronen van de ene naar de andere kant overspringen.

Wie van jullie kan de grootste afstand overbruggen? Steeds worden er twee van jullie uitgekozen en jullie moeten dan tegelijkertijd zo ver mogelijk springen. De persoon die de grootste afstand aflegt wint! Wie is de absolute winnaar?

Jullie hebben waarschijnlijk gemerkt dat het lastiger is om een grotere afstand te overbruggen. Stel nu dat er een dikke betonnen muur voor jullie neus had gestaan. Daar waren jullie niet doorheen gekomen. Omdat electronen en andere quantumdeeltje zich als een golf en als een deeltje kunnen gedragen, kunnen zij wel door de muur heen springen. Dit wordt ook wel **tunnelen** genoemd.

Opgave 2.

140 P.

De kans dat een quantumdeeltje aan de andere kant van een barrière (zoals een betonnen muur) terecht komt wordt bepaald aan de hand van drie dingen:

1. De hoogte van de barrière. Hoe hoger de barrière, hoe groter de potentiële energie. Dit betekent dat het quantumdeeltje meer weerstand moet overwinnen en dat de kans dat het tunnelt kleiner wordt.
2. De breedte van de barrière. Hoe breder de barrière, hoe langer het duurt totdat het deeltje er doorheen is en hoe kleiner de kans dat hij de andere kant haalt.
3. De massa van het quantumdeeltje. Hoe groter de massa, hoe kleiner de golflengte van het deeltje. Hierdoor wordt de kans kleiner dat hij tunnelt.

Er worden zo verschillende vragen gesteld om te zien of jullie deze punten kunnen toepassen. Er komen vier multiple-choice vragen elk met twee opties. Pas op, want ze hebben allemaal een

tijdslimiet! Voor de eerste drie vragen hebben jullie 30 seconden. Deze vragen zijn elk 50 punten waard, maar als jullie het foute antwoord geven, verliezen jullie 50 punten. Voor de laatste vraag hebben jullie 50 seconden de tijd en deze vraag is 100 punten waard.

Veel succes!

1. Wanneer is de kans het grootst dat het quantumdeeltje tunnelt? (50 P.)
 - a) Als de barrière 4 cm breed is.
 - b) Als de barrière 4 nm breed is. ✓
2. Wanneer is de kans het grootst dat het quantumdeeltje tunnelt? (50 P.)
 - a) Als het deeltje een massa van $1 * 10^{-16} kg$ heeft ✓
 - b) Als het deeltje een massa van $1 * 10^{16} kg$ heeft
3. Wanneer is de kans het grootst dat het quantumdeeltje tunnelt? (50 P.)
 - a) Als een electron door een 20 cm hoge bakstenen muur gaat. ✓
 - b) Als een electron door een 20 km hoge bakstenen muur gaat.
4. Wanneer is de kans het grootst dat het quantumdeeltje tunnelt? (100 P.)
 - a) Als een electron door een lege doos met afmetingen 30x40x20 cm gaat. ✓
 - b) Als een proton door een lege doos met afmetingen 30x40x20 cm gaat.

Zo, dat was dat, maar wat waren nu eigenlijk de goede antwoorden?

Bij de eerste vraag kon je kiezen tussen een barrière met een breedte van 40 centimeter of van 40 nanometer. Hoe dunner de barrière, hoe groter de kans dat het quantumdeeltje tunnelt. Het goede antwoord was dus 40 nanometer.

Bij de tweede vraag was er de keus tussen twee deeltjes. Een met een massa van $10^{16} kg$ en $10^{-16} kg$. Hoe kleiner de massa hoe makkelijker het tunnelen is voor het deeltje, dus de grootste kans is bij $10^{-16} kg$.

De derde vraag ging over de hoogte van de barrière. Hoe hoger die is, hoe moeilijker tunnelen wordt door de toename in potentiële energie. De kans op tunnelen bij een bakstenen muur met een hoogte van 20 centimeter is daarom groter dan bij een muur van 20 kilometer hoog.

De laatste vraag ging over het tunnelen van een electron en een proton. De barrière in beide gevallen was precies hetzelfde dus dat kon niet het verschil maken. Het verschil hier is dat de massa van een electron een stuk kleiner is dan de massa van een proton, waardoor de kans groter is dat het electron door de lege doos tunnelt.

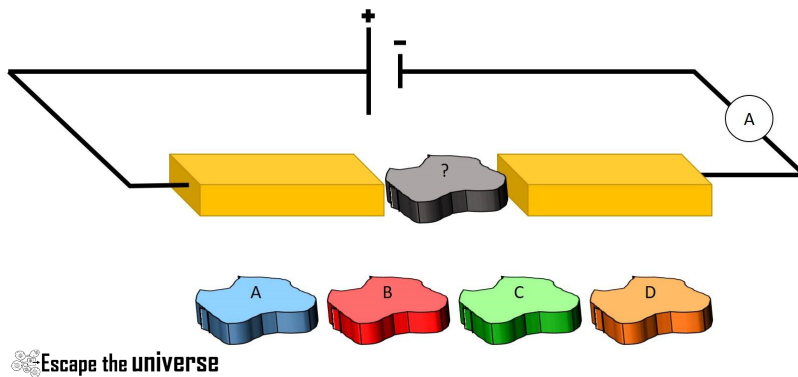
Opgave 3.

100 P.

We weten nu dat de kans of het elektron wel of niet tunnelt afhankelijk is van de hoogte en breedte van de barrière. Dat is allemaal wel leuk en aardig, maar wat kunnen we eigenlijk met die tunnelende electronen?

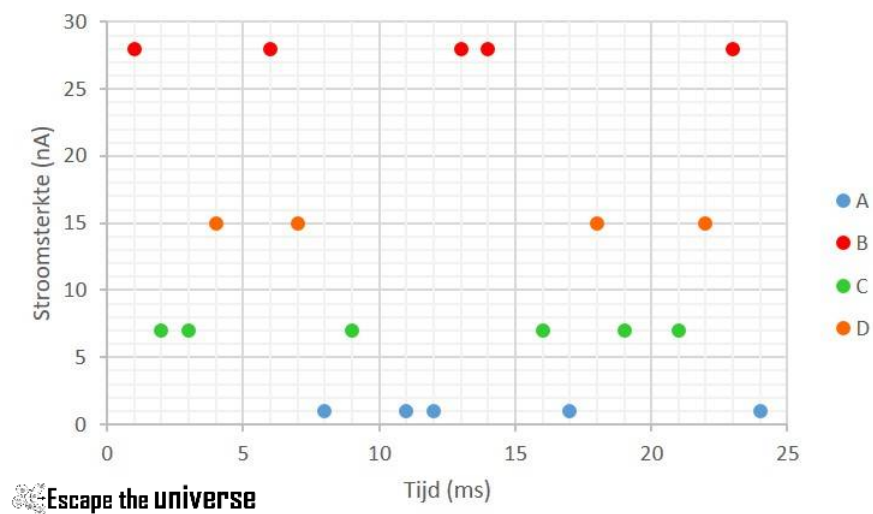
Om erachter te komen wat de code is van een stukje DNA, gebruiken natuurkundigen het principe van tunnelen. De barrière is dan een DNA-molecuul. Elk molecuul heeft een unieke

samenstelling van atomen, waardoor zij allemaal verschillend zijn. Als een keten van DNA-moleculen tussen twee metalen platen doorgaat, verandert de barrière en daarmee verandert de gemeten stroomsterkte.



De Leidse onderzoeksgroep van professor J.M. van Ruitenbeek gebruikt deze vooruitstrevende techniek nu al om moleculen te bestuderen.

Hieronder zie je een grafiek van een keten van moleculen die tussen de metalen platen door is gehaald. De keten bevat A, B, C en D moleculen. In welke volgorde zaten de verschillende moleculen in de keten? Zet de stukjes code in de juiste volgorde zodat de eerste 4 moleculen overeenkomen met het bovenste blokje.



De goede volgorde is:

- BCCD
- BDAC
- AABB

- CADC
- CDBA

Opgave	Eigenschap	
1.	soort vraag	tournament
2.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple choice
	aantal punten voor de vraag	50 punten; 4: 100 punten
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord is nodig om verder te komen	nee
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	nee
	gebruik van tijdlimiet	ja
	tijdlimiet op de vraag	20 seconde
	tijd waarvoor steeds 10% van de punten wordt afgetrokken	2 seconde
3.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	lijst
	aantal punten voor de vraag	100
	het goede antwoord is nodig om verder te komen	ja
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	nee
	gebruik van tijdlimiet	nee

V. Universum O43: Onzekerheidsrelatie

In dit universum gaan jullie de positie (x) en impuls (p) ($p = m \cdot v$) van een stoel bepalen.

Opgave 1.

Deze post begint met een missie. De leerlingen moeten een opdracht uitvoeren, maar kunnen hier geen punten mee verdienen.

missie:

Zet een van jullie groepsgenoten op een stoel. Laat diegene zo stil mogelijk zitten. Wat is de impuls van de stoel (Beweegt de stoel?) Wat is de positie van de stoel (Staat de stoel steeds op dezelfde plek?)

Opgave 2.

150 P.

Met welke zekerheid je de positie (x) en de impuls (p) kunt bepalen, wordt weergegeven met delta x en delta p. Hoe kleiner delta x hoe zekerder je de positie van het deeltje kunt bepalen. In 1927 kwam Werner Heisenberg tot de ontdekking dat je noch de positie, noch de impuls van een deeltje met zekerheid kunt bepalen, de formule hieronder laat dit zien:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

De onzekerheid in de positie maal de onzekerheid in impuls kan nooit kleiner zijn dan de constante van Planck (h) gedeeld door 4 pi.

In de quantumwereld hebben deeltjes dus geen exact bepaalde positie noch een exact bepaalde impuls.

Bereken de ondergrens van het product in de zekerheden van plaats en impuls.

- | | |
|-------------------------------|--|
| a) $5,2040 \cdot 10^{-34}$ Js | b) $5,2728 \cdot 10^{-35}$ Js ✓ |
| c) $6,6260 \cdot 10^{-34}$ Js | d) Met deze informatie kan dat niet bepaald worden |

De hint die wordt gegeven:

- | | |
|---|---|
| a) de constante van Planck is $6,6260 \cdot 10^{-34}$ Js. | b) In de formule is te zien dat delta x keer delta p altijd groter of gelijk moet zijn aan h gedeeld door 4 pi. Wat is dan de laagste waarde die delta x keer delta p kan aannemen? |
|---|---|

Opgave 3.

100 P.

Nu zit je niet meer op een gewone stoel, maar op een stoel in de quantumwereld.

Stel de onzekerheid in impuls (delta p) is $5,2728 \cdot 10^{-32}$ kg*m/s.

Met welke zekerheid kun je de positie (delta x) van de stoel dan bepalen?

antwoord: 1 mm/0,1 cm/0,01 dm/0,001 m

De hints die worden gegeven:

- a) $h/4\pi = 5,2728 \cdot 10^{-35} \text{ Js}$ b) $\text{Js} = \text{Kgm}^2/\text{s}$
 c) Vergeet niet de eenheden achter je antwoord te zetten

Opgave 4.

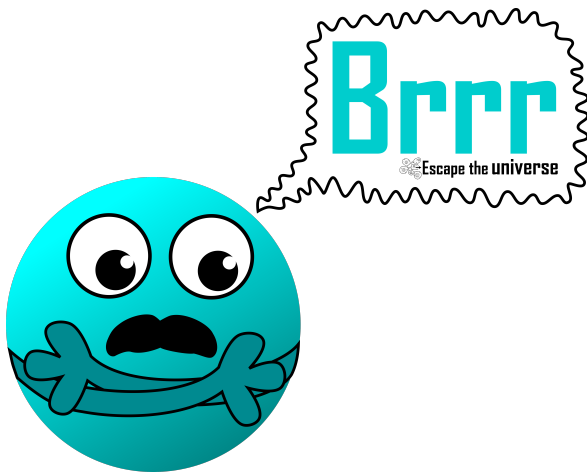
150 P.

Zoals je misschien al weet, gaan deeltjes minder bewegen als de temperatuur daalt. Staan de deeltjes bij 0 Kelvin helemaal stil?

- a) Ja, 0 Kelvin is het absolute nulpunt dus staan de deeltjes helemaal stil b) Ja, de deeltjes staan helemaal stil en de onzekerheid in impuls is nul
 c) Nee, als de deeltjes stil staan is de onzekerheid in impuls nul en dat kan niet ✓ d) Nee, inmiddels is ontdekt dat 0 kelvin niet het absolute nulpunt is en pas bij -1,28 Kelvin staan de deeltjes helemaal stil

De hint die wordt gegeven:

- a) Als de deeltjes stil staan is de onzekerheid in impuls nul, m.a.w. je weet heel zeker dat ze niet bewegen. Is er een Δx te bedenken zodat de deeltjes nog steeds aan de onzekerheidsrelatie van Heisenberg voldoen wanneer Δp nul is?



Als bij 0 Kelvin de deeltjes helemaal stil zouden staan, dan zou Δp nul zijn. Maar de onzekerheidsrelatie van Heisenberg laat zien dat Δx maal Δp altijd groter of gelijk moet zijn aan $h/4\pi$. De onzekerheid in impuls kan dus niet nul zijn en de deeltjes staan daarom bij 0 Kelvin niet stil.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Opgave	Eigenschap	
1.	soort vraag	mission
2.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple-choice
	aantal punten voor de vraag	150
	punten aftrek bij fout antwoord	50
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	3
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
3.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	solution input
	aantal punten voor de vraag	100
	punten aftrek bij fout antwoord	25
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	4
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
4.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple-choice
	aantal punten voor de vraag	150
	punten aftrek bij fout antwoord	75
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	2
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee

VI. Universum F34: Foto-elektrisch effect

Waarschuwing: In deze stage wordt gebruik gemaakt van een applet. Als er gebruik wordt gemaakt van een mobiele telefoon, dan moet in de app bij instellingen de optie externe browser worden aangevinkt. Bij tablets is er geen aanpassing in de instellingen nodig.

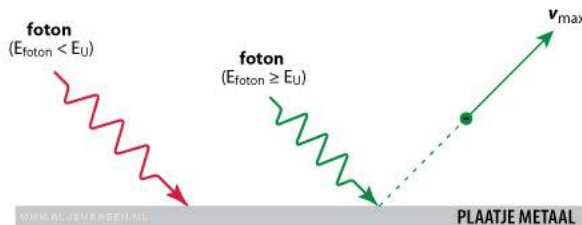
Welkom in het universum waar je kunt ontdekken dat licht ook uit quantumdeeltjes bestaat.

Opgave 1.

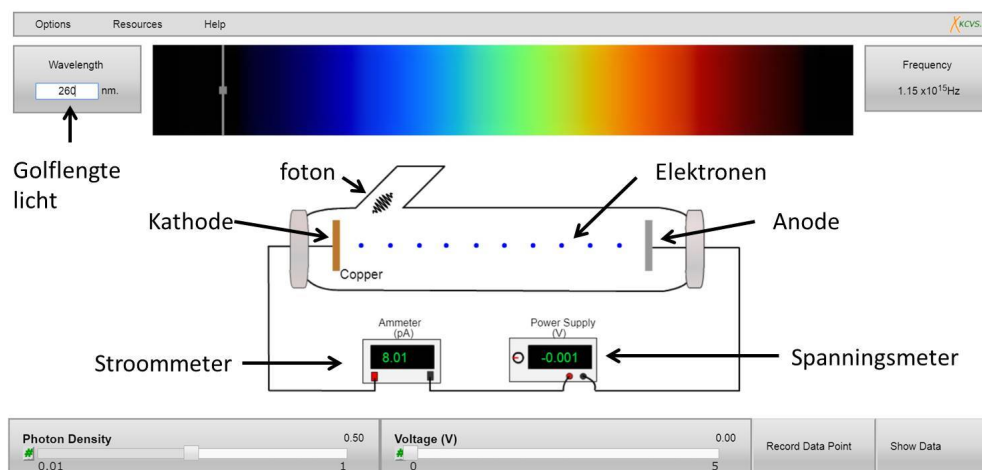
100 P.

$E = mc^2$ is misschien wel de meest bekende formule in de natuurkunde. Veel mensen denken daarom ook dat dit de reden was dat Albert Einstein een Nobelprijs voor de natuurkunde heeft gekregen. Dit is echter niet waar.

Hij heeft die prijs gekregen voor de ontdekking van het foto-elektrisch effect. Einstein gebruikte het idee dat je licht kan beschrijven als pakketjes met hoge energie. Deze pakketjes worden fotonen worden genoemd. De energie van de fotonen neemt toe als de frequentie van het licht ook toeneemt. Verder gebruikte Einstein het feit dat metalen een uittree-energie hebben. Dit is de energie die nodig is om een elektron uit het metaal te halen. Als licht op een metaal schijnt en de fotonenergie is groter dan de uittree-energie, dan wordt het energiepakket opgenomen door een electron dat daarna wegvliegt.



Nu gaan we kijken naar een specifiek experiment dat het foto-elektrisch effect aantoont. Hieronder staat een foto van een applet van dit experiment. Die applet gaan jullie zodadelijk gebruiken om de vragen te beantwoorden.



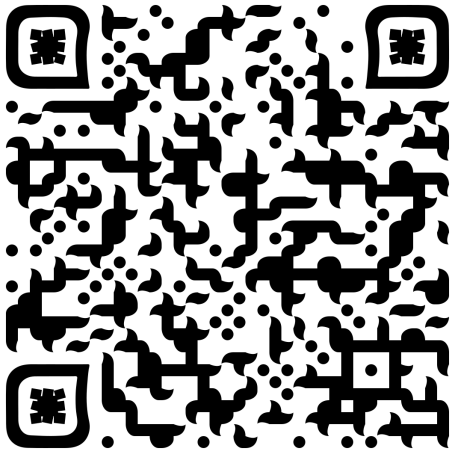
Hier is te zien hoe licht, afgebeeld als kleine golfpakketjes met energie, interactie heeft met een negatieve kathode. We weten van het foto-elektrisch effect dat de fotonenergie van het licht groter moet zijn dan de uittree-energie van de kathode als we electronen los willen maken. Als dit het geval is, gaan de electronen van de negatieve kathode naar de positieve anode en ontstaat er een stroom die gemeten wordt met de stroommeter.

We gaan het foto-elektrisch effect met behulp van deze applet verkennen om te zien wat het effect is van de golflengte, het metaal wat als kathode dient en het aantal fotonen per seconde.

We beginnen met het effect van de golflengte van het licht op de grens wanneer er wel electronen vrijkomen uit het metaal en wanneer niet. De golflengte waarop deze grens zich bevindt, noemen we voor het gemak even de maximale golflengte.

De komende vragen kunnen worden beantwoord met de applet: http://www.kcvs.ca/site/projects/JS_files/Photoelectric_Effect/PhotoElectric.html

Ook de leerlingen kunnen de applet op een tweede device openen via de onderstaande qr code



Open de applet door op de link te klikken en selecteer onder options -> metals Goud (Gold). Schuif met de balk over de verschillende kleuren. Voor welke kleur is de fotonenergie groter dan de uittree-energie?

- | | |
|-------------------|---------------|
| a) Ultra Violet ✓ | b) Groen |
| c) Licht blauw | d) Infra Rood |

Het goede antwoord is dat de maximale golflengte (van 240 nm) hoort bij Ultra Violet. De reden is dat als je meer naar de blauwe kant van het kleurenspectrum gaat, je kortere golflengtes krijgt. Deze kortere golflengtes corresponderen met een grotere frequentie. Omdat de fotonenergie groter wordt als de frequentie van het licht toeneemt, is de kans groter om bij blauw licht het foto-elektrisch effect waar te nemen dan bij groen of rood licht.

Is deze maximale golflengte dan ook hetzelfde voor elk metaal?

Opgave 2.

150 P.

Verander nu de kathode naar Kalium (Potassium) en kijk opnieuw welke kleur hoort bij de maximale golflengte. Wat is er gebeurd met de golflengte van het licht en wat zegt dit over de uittree-energie van Kalium ten opzichte van die van Goud?

- a) De golflengte is nu kleiner, dus de uittree energie is nu groter
- b) De golflengte is nu groter, dus de uittree energie is nu groter
- c) De golflengte is nu kleiner, dus de uittree energie is nu kleiner
- d) De golflengte is nu groter, dus de uittree energie is nu kleiner ✓

Aangezien de maximale golflengte waarop het foto-elektrisch effect optreedt voor Kalium (540 nm) veel groter is dan voor Goud (240 nm), is de frequentie van het licht bij Kalium kleiner dan bij Goud. Op de maximale golflengte is de fotonenergie net groter dan de uittree-energie van het metaal. Omdat de fotonenergie direct schaal met de frequentie van het gebruikte licht, kunnen we zeggen dat er minder energie nodig is om elektronen uit Kalium los te maken dan uit Goud.

Zowel de golflengte van het licht als het metaal dat als kathode wordt gebruikt, bepalen dus of het foto-elektrisch effect wel of niet optreedt.

Wat gebeurt er nu als we het aantal fotonen per seconde dat op het metaal valt vergroten?

Opgave 3.

200 P.

De fotondichtheid (photon density) geeft de hoeveelheid fotonen per seconde aan. Bekijk de situatie voor Kalium wanneer de hoeveelheid fotonen op 0.50 staat (dat betekent dat er 1 foton per 2 seconde op de kathode valt) en voor een fotondichtheid van 1.0. Deze kan worden veranderd door het schuifje linksonder te bewegen of door op de # te klikken en het getal zelf in te voeren.

Verandert de minimale golflengte voor Kalium (540nm) als de fotondichtheid verandert? En schaal het aantal elektronen dat per seconde vrij wordt gemaakt recht evenredig met de fotondichtheid?

- a) De minimale golflengte verandert wel, en het aantal elektronen per seconde schaal niet recht evenredig
- b) De minimale golflengte verandert niet, en het aantal elektronen per seconde schaal niet recht evenredig
- c) De minimale golflengte verandert wel, en het aantal elektronen per seconde schaal wel recht evenredig
- d) De minimale golflengte verandert niet, en het aantal elektronen per seconde schaal wel recht evenredig ✓

De Hints die worden gegeven:

- a) Stroom wordt gemeten in ampère wat staat voor hoeveelheid lading per seconde
- b) Recht evenredig betekent dat als de fotondichtheid verdubbelt, het aantal elektronen per seconde ook verdubbelt

Als we het aantal fotonen per seconde verdubbelen, verandert de maximale golflengte niet. Dit betekent dat de maximale golflengte (en dus wanneer het foto-elektrisch effect begint) niet afhankelijk is van de fotondichtheid van het licht wat wordt gebruikt.

Het aantal elektronen dat per seconde uit het metaal wordt vrijgemaakt, schaal recht evenredig met de fotondichtheid. Dit betekent dat bij een verdubbeling van het aantal fotonen dat per

seconde op het metaal valt ook de gemeten stroomsterkte verdubbelt.

Voor dit mooie idee kreeg Einstein dus de befaamde prijs uit Stockholm.

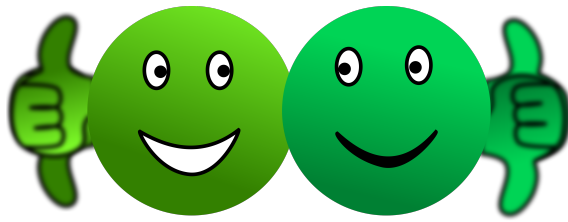


Opgave	Eigenschap	
1.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple-choice
	aantal punten voor de vraag	100
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
2.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple-choice
	aantal punten voor de vraag	150
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
3.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple-choice
	aantal punten voor de vraag	200
	punten aftrek bij fout antwoord	67
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	3
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee

VII. Universum Q45: Quantumcomputer en verstrengeling

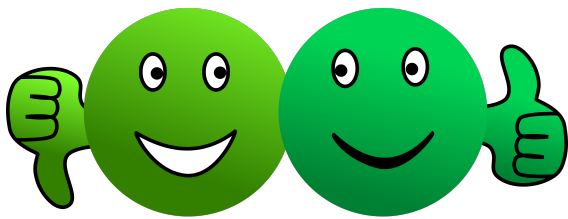
Opgave 1.

Dit is het universum waar sommige quantumdeeltjes een bijzondere relatie met elkaar zijn aangegaan. Je kunt dan zeggen dat deze deeltjes verstrengeld zijn. Vanwege de relatie die zij hebben, gebeurt er iets bijzonders wanneer je aan een van deze deeltjes gaat meten. Stel de quantumdeeltjes kunnen zich in twee toestanden bevinden: duim omhoog of duim omlaag. Voordat je gaat meten hebben beide deeltjes hun duim in een mengsel (superpositie) van omhoog en omlaag.



Escape the universe

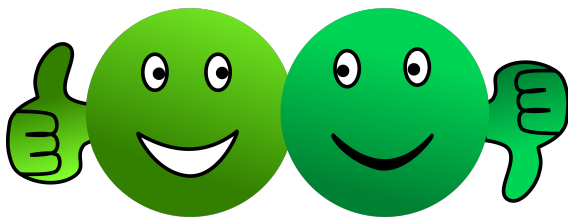
Als je nu aan het linker deeltje gaat meten, dan meet je dat hij zijn duim omhoog heeft of omlaag. Omdat de deeltjes verstrengeld zijn, mogen ze niet allebei hun duim omhoog of omlaag hebben (het uitsluitingsprincipe van Pauli). Als je bij het linker deeltje meet dat hij zijn duim omlaag heeft, dan weet je dus meteen dat het rechter deeltje zijn duim omhoog heeft.



Escape the universe

In dit tournament gaan jullie zien wie het beste is in verstrengeling. Er worden steeds twee mensen uitgekozen en zij gaan met de ruggen tegen elkaar aan staan. De oudste van jullie groep roept telkens: "Flop!". Op dat moment kiezen de spelers voor een duim omhoog of duim omlaag. Heeft de rechter speler zijn duim het tegenovergestelde van de linker speler, dan heeft rechts gewonnen.

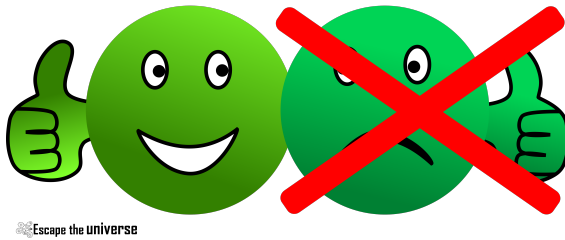
rechts wint



Escape the universe

Heeft de rechter speler zijn duim dezelfde kant op, dan heeft de linker speler gewonnen.

links wint



Gefeliciteerd !!winner!!! je bent het beste in verstrengeling, je bent uitermate geschikt om je als quantumdeeltje te gedragen!

Heel waarschijnlijk waren jullie duimen niet altijd in de tegenovergestelde toestand, maar verstrengelde quantumdeeltjes kiezen wel altijd de juiste toestand. Communiceren de deeltjes misschien met elkaar?

Om daar achter te komen is er in Delft een experiment opgezet waarbij de deeltjes zo ver uit elkaar staan dat ze sneller dan het licht moeten communiceren om van elkaar te weten welke toestand ze kiezen. Niets gaat sneller dan het licht en zelfs toen hadden de deeltjes een tegenovergestelde toestand. Sindsdien is het zeker dat ze niet met elkaar communiceren.

Opgave 2.

100 P.

Dit is het universum van de toekomst. Hier staan werkende quantumcomputers. Dat heeft de wereld veranderd, want een quantumcomputer kan sommige berekeningen veel sneller doen dan een klassieke computer. We gaan eerst kijken hoeveel klassieke bits je nodig hebt om bepaalde getallen te factoriseren, daarna gaan we dit vergelijken met het aantal quantum bits dat je hiervoor nodig hebt.

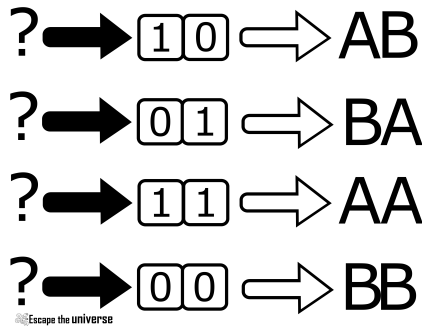
Je weet dat een klassieke computer met bits werkt. Een bit kan de waarde 1 of 0 hebben. Doe je een berekening met 1, dan krijg je een antwoord, doe je een berekening met 0, dan krijg je een ander antwoord.

? $\rightarrow$ 1 $\rightarrow$ A

? $\rightarrow$ 0 $\rightarrow$ B

Escape the universe

Als je twee klassieke bits combineert kun je vier verschillende antwoorden genereren. Je hebt dan 4 keer 2 is 8 klassieke bits nodig om alle vier de berekeningen tegelijkertijd weer te geven.



Stel dat je het getal 4 wilt factoriseren. Dan wil je weten welke twee getallen (behalve 1 en 4) je keer elkaar moet doen om op 4 uit te komen. Omdat 1 en 4 niet mee doen blijven er twee getallen over die we moeten testen: 2 en 3. Om het straks gemakkelijk te maken gaan we alle mogelijkheden uitproberen, ook al weet je dat sommige antwoorden hetzelfde zullen zijn. We moeten dus maximaal vier berekeningen uitvoeren om alle mogelijkheden te testen:

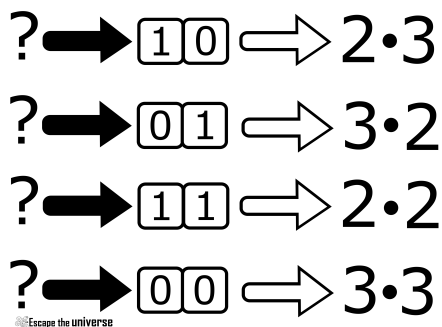
2×2
 2×3
 3×2
 3×3

Om het getal 4 te factoriseren moeten we 4 berekeningen uitvoeren. We moeten daarvoor 2 klassieke bits combineren om 4 verschillende mogelijkheden te testen.

Hoeveel klassieke bits hebben we nodig om alle berekeningen tegelijkertijd weer te geven?

- | | | |
|--------|-------|-------|
| a) 2 | b) 4 | c) 6 |
| d) 8 ✓ | e) 10 | f) 12 |
| g) 14 | h) 16 | |

Als we twee klassieke bits combineren kunnen we vier verschillende antwoorden van de vier verschillende berekeningen genereren. Als we alle berekeningen tegelijkertijd willen weergeven hebben we 2 (klassieke bits) maal 4 (berekeningen) is 8 klassieke bits nodig.

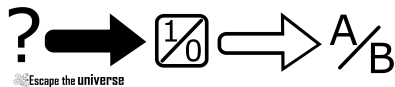


Kortom, als je n getallen wilt controleren, moet je n klassieke bits combineren. Je kunt dan 2^n verschillende berekeningen uitvoeren. Om deze allemaal weer te geven heb je $n \times 2^n$ klassieke bits nodig.

Opgave 3.

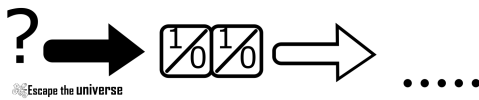
100 P.

Een quantumcomputer gebruikt geen klassieke bits, maar qubits (quantumbits) die waarde 1 en 0 hebben. Het deeltje uit de vorige opdracht kun je als qubit gebruiken, want (zolang je niet meet) heeft hij zijn duim in een superpositie van omhoog (1) en omlaag (0). Doe je een berekening met een qubit krijg je het ene antwoord en het andere antwoord.



Als we 1 klassieke bit gebruiken moeten we twee berekeningen doen (een op 1 en een op 0) om twee verschillende antwoorden te krijgen (A en B). Bij de qubit hoeven we maar 1 berekening te doen op 1 qubit om 2 verschillende antwoorden te krijgen.

Als we twee qubits combineren, hoeveel verschillende antwoorden kunnen we dan genereren?



- | | | |
|------|--------|--------|
| a) 0 | b) 1 | c) 2 |
| d) 3 | e) 3.5 | f) 4 ✓ |
| g) 5 | h) 6 | i) 7 |
| j) 8 | | |

Kortom, als je n getallen wilt controleren, moet je n qubits combineren. Je kunt dan alle 2^n verschillende berekeningen uitvoeren. Omdat je deze met 1 berekening allemaal gelijk weergeeft heb je maar n qubits bits nodig.

Opgave 4.

100 P.

Het getal 4 kun je prima zonder computer factoriseren, daarom gaan we nu een moeilijker getal proberen. Jullie krijgen straks 20 seconden de tijd om uit je hoofd een getal te factoriseren.

Welke twee getallen moet je met elkaar vermenigvuldigen om 12317 te krijgen?

antwoord:

$109 \times 113 = 12317$, Waarschijnlijk waren 20 seconden te weinig om dit uit te rekenen.

Waarschijnlijk waren 20 seconden te weinig om dit uit te rekenen en vermoedelijk is het getal 12317 ook iets te moeilijk om uit je hoofd te factoriseren. Maar als we kijken hoeveel klassieke bits en qubits we nodig hebben om dit getal te factoriseren kun je heel goed zien waarom een

quantumcomputer zoveel sneller is.

Om het getal 12317 te factoriseren, moet je 12315 getallen testen. Om alle mogelijke combinaties te controleren moet je 12315 klassieke bits combineren. Je gaat daarom maximaal 2^{12315} berekeningen uitvoeren. Dat zijn $1,52896 \cdot 10^{3707}$ berekeningen.

Dus om alle berekeningen weer te geven heb je 12315 klassieke bits maal $1,52896 \cdot 10^{3707}$ berekeningen is $1,88291 \cdot 10^{3711}$ klassieke bits nodig.

Kortom een onvoorstelbare hoeveelheid bits.

Maar als we 12315 qubits combineren hebben we na een berekening alle 2^{12315} antwoorden op alle mogelijke combinaties van 12315 getallen.

Omdat je maar 1 berekening hoeft uit te voeren op de qubits om alle verschillende antwoorden te genereren kun je in theorie veel sneller factoriseren. Tot nu toe is het quantumcomputers alleen nog maar gelukt om het getal 15 te factoriseren, we zullen moeten afwachten wanneer ze ook in ons eigen universum sneller zijn dan de klassieke computer.

Opgave	Eigenschap	
1.	soort vraag	tournament
2.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple-choice
	aantal punten voor de vraag	100
	punten aftrek bij fout antwoord	10
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
3.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	multiple-choice
	aantal punten voor de vraag	100
	punten aftrek bij fout antwoord	10
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	nee
	tijdlimiet op de vraag	nvt
	tijd waarvoor steeds 10% van de punten wordt afgetrokken	nvt
4.	soort vraag	quiz
	soort antwoord	solution input
	aantal punten voor de vraag	100
	punten aftrek bij fout antwoord	10
	aantal toegestane pogingen om de vraag te beantwoorden	1
	het goede antwoord tonen na het beantwoorden van de vraag	ja
	gebruik van tijdlimiet	ja

ST@RT

**Escape the
universe**



Y53

**Escape the
universe**



B30

**Escape the
universe**



D32

**Escape the
universe**



T48

**Escape the
universe**



043

**Escape the
universe**



F34

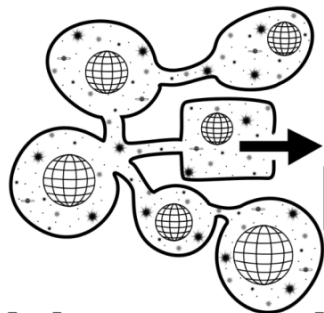
**Escape the
universe**



Q45

**Escape the
universe**





Escape the universe

Welcome to the quantum world

Quick start

Maak een groep

Zorg voor 1 smartphone of tablet per groep met voldoende batterij, een werkende camera en speaker.

Zet de ringtone van het apparaat aan

Download de actionbound app

Download actionbound uit de app store of google playstore

Stel de juiste instellingen in

Klik op instellingen en verander de taal naar het Nederlands, zorg ervoor dat ook de animaties en het geluid aanstaat

Bij het gebruik van een smartphone is het belangrijk dat de optie Externe browser aan wordt gezet

Scan st@rt

Om de quiz te starten moet je de QR code met st@rt scannen

Stap in een universum

Om een universum binnen te komen, moet je een letter-cijfer combinatie code scannen

Quick stop

klaar?

Scrol naar beneden en klik op Spel beëindigen

Klik op Resultaat tonen

Schrijf op hoeveel punten er zijn behaald

Niet helemaal klaar?

Klik op de knop rechts bovenin

Klik op bound pauzeren

Scrol naar beneden en klik op Spel beëindigen en vervolgens op ja, dat wil ik

Klik op Resultaat tonen

Schrijf op hoeveel punten er zijn behaald

Beoordeel

Laat ons weten wat je er van vond

Vragen en/of opmerkingen

Mail naar Escapetheuniverse2018@gmail.com