|  |
| --- |
| **Werkblad 3: Tijdrek**  **Antwoorden** |
| **Namen:** |

|  |
| --- |
| **Gedachte-experiment** |

Een muon is een kosmisch deeltje. Een muon heeft een gemiddelde leeftijd (halfwaardetijd) van *t1/2*= 1,5 · 10-6 s en een snelheid van *v* = 0,98*c*.

1000 muonen reizen vanaf een hoogte van 2,2 km naar het Aardoppervlak. Deze reis duurt *t*= 6,8 · 10-6 s. Vanwege de lage halfwaardetijd zouden slechts 31 van de 1000 muonen de het Aardoppervlak kunnen bereiken.

In de praktijk meten we echter dat 496 van de 1000 muonen het Aardoppervlak bereiken.

Leg uit waarom er op Aarde meer muonen worden gemeten dan verwacht.

|  |
| --- |
| Antwoord naar eigen inzicht. |

|  |
| --- |
| **Simulatieopdracht** |



**Opdracht 1**

In deze opdracht maken jullie een simulatie van een lichtklok. Je kunt de QR-code scannen om een voorbeeld te zien van de simulatie.

*Figuur : een screenshot van een lichtklok*

Voer de volgende stappen uit:

1. Selecteer een laser door op het  icoon te klikken in de linker kolom en plaats deze in het midden van het scherm. De schaal van het assenstelsel verandert daarbij automatisch van meter naar lichtseconde (1 lichtseconde is de afstand die het licht aflegt in 1 seconde, dus 1 ls = 3,00 · 108 m). Chart

   Description automatically generated
2. In het pop-up menu van de laser kun je aangeven in welke richting(en) de laser licht zal uitzenden. Druk op de pijltjes op je toetsenbord om ervoor te zorgen dat de laser alleen licht uitzendt naar boven.
3. Plaats een spiegel drie hokjes boven de laser en stel de hoek van de spiegel in op 90 graden zodat hij horizontaal komt te liggen. Plaats een tweede horizontale spiegel 3 hokjes onder de laser. Een voorbeeld is gegeven in figuur 1.

We definiëren twee gebeurtenissen:

Gebeurtenis A: de lichtstraal verlaat de laser

Gebeurtenis B: de lichtstraal is één keer heen en weer gegaan

Het tijdsinterval tussen gebeurtenis A en B is één **tik** van de lichtklok (vergelijkbaar met het tikken van een mechanische klok).

1. Bekijk de simulatie. Wat is de tijdsduur van één tik van de lichtklok?

|  |
| --- |
| ∆*t* = 12 s |

**Opdracht 2**

Lees het volgende gedachte-experiment en beantwoord de onderstaande vragen. *Beantwoord vraag 1 en 2 voordat je de simulatie gaat bekijken.*

*Albert en Marie zijn twee wetenschappers. Marie beweegt met een horizontale snelheid van 0,4c (40% van de lichtsnelheid) ten opzichte van Albert. Albert en Marie hebben allebei een lichtklok ter beschikking in hun eigen referentiekader. Albert meet hoe lang één tik van de lichtklok van Marie duurt.*

1. Maak deze zin af: in het referentiekader van Albert duurt één tik van Marie’s lichtklok
   * **Langer dan** één tik van zijn eigen lichtklok
   * Minder lang dan één tik van zijn eigen lichtklok
   * Even lang als één tik van zijn eigen lichtklok
2. Geef hieronder een toelichting op jullie voorspelling.

|  |
| --- |
| We drukken één tik van Marie’s lichtklok uit in het referentiekader van Albert.  De afstand tussen gebeurtenis A en B is langer (want de laser en de spiegels bewegen naar rechts dus het licht moet een zigzag-traject afleggen). De lichtsnelheid is echter hetzelfde in beide referentiekaders. In het referentiekader van Albert zal één tik van Marie’s lichtklok dus langer duren dan één tik van zijn eigen lichtklok. |



1. Maak een simulatie van het gedachte-experiment in Relativity Lab. Dit doe je door een tweede lichtklok in te voegen met een horizontale snelheid van “**0,4c**”. Je kunt de QR-code scannen om een voorbeeld te zien van de simulatie.
2. Hoe lang duurt één tik van Marie’s lichtklok in het referentiekader van Albert?

|  |
| --- |
| ∆*t’* = ± 13 s |

1. Lees de toelichting op jullie voorspelling nog eens terug. Wat zouden jullie hieraan willen wijzigen nu jullie de simulatie hebben gezien?

|  |
| --- |
| Antwoord naar eigen inzicht. |

**Opdracht 3**

Bij deze opdracht ga je het gedachte-experiment van de vorige opdracht bekijken vanuit het referentiekader van Marie. *Beantwoord vraag 1 en 2 voordat je de simulatie gaat bekijken.*

1. Maak deze zin af: in het referentiekader van Marie duurt één tik van Albert’s lichtklok
   * **Langer dan** één tik van haar eigen lichtklok
   * Minder lang dan één tik van haar eigen lichtklok
   * Even lang als één tik van haar eigen lichtklok
2. Geef hieronder een toelichting op jullie voorspelling.

|  |
| --- |
| Dit gedachte-experiment is hetzelfde als bij Opdracht 2, alleen zijn de rollen van Marie en Albert omgedraaid.  De afstand tussen gebeurtenis A en B is langer (want de laser en de spiegels bewegen naar links dus het licht moet een zigzag-traject afleggen). De lichtsnelheid is echter hetzelfde in beide referentiekaders. In het referentiekader van Marie zal één tik van Albert’s lichtklok dus langer duren dan één tik van haar eigen lichtklok. |

1. Controleer je antwoord met behulp van een simulatie in Relativity Lab.
2. Lees de toelichting op jullie voorspelling nog eens terug. Wat zouden jullie hieraan willen wijzigen nu jullie de simulatie hebben gezien?

|  |
| --- |
| Antwoord naar eigen inzicht. |

1. Welke algemene conclusie kunnen jullie trekken over het meten van tijdsduur in verschillende referentiekaders?

|  |
| --- |
| Een lichtklok die beweegt in het gekozen referentiekader tikt langzamer dan een lichtklok in zijn eigen referentiekader. Een lichtklok kan gebruikt worden om de tijdsduur tussen twee gebeurtenissen te meten. Dus de tijdsduur tussen twee gebeurtenissen is afhankelijk van het gekozen referentiekader. |

**Opdracht 4**

Bij deze opdracht ga je de rol van de relatieve snelheid[[1]](#footnote-1) in het gedachte-experiment van de vorige opdrachten onderzoeken.

1. Maak deze zin af: bij een relatieve snelheid van 0,8*c* tussen Albert en Marie is het verschil in tijdsduur tussen de tikken van de twee lichtklokken
   * **Groter dan** bij een relatieve snelheid van 0,4*c*
   * Kleiner dan bij een relatieve snelheid van 0,4*c*
   * Hetzelfde als bij een relatieve snelheid van 0,4*c*
2. Geef hieronder een toelichting op jullie voorspelling.

|  |
| --- |
| Bij toenemende relatieve snelheid neemt de afstand die het licht aflegt in één tik toe. Dit betekent dat het verschil in de tijdsduur van één tik van Albert’s en Marie’s lichtklok groter wordt bij toenemende relatieve snelheid. |

1. Geef de twee lichtklokken een relatieve snelheid van 0,8*c*. Bekijk de simulatie opnieuw vanuit beide referentiekaders.
2. Hoe lang duurt één tik van de lichtklok die in beweging is?

|  |
| --- |
| ∆*t’* = ± 20 s |

1. Lees de toelichting op jullie voorspelling nog eens terug. Wat zouden jullie hieraan willen wijzigen nu jullie de simulatie hebben gezien?

|  |
| --- |
| Antwoord naar eigen inzicht. |

1. Muonen bewegen met een snelheid van 0,98c ten opzichte van de Aarde. Hoe lang duurt één tik van een lichtklok met deze relatieve snelheid?

|  |
| --- |
| ∆*t’* = ± 60 s |

**Einde van de simulatieopdracht**

|  |
| --- |
| **Gedachte-experiment (vervolg)** |

*Geef nogmaals een antwoord op de onderstaande vraag, maar nu met de kennis die je deze les hebt opgedaan.*

Leg uit waarom er op Aarde meer muonen worden gemeten dan verwacht.

|  |
| --- |
| We definiëren twee gebeurtenissen:  A: de muonen vertrekken vanaf een hoogte van 2,2 km  B: de muonen bereiken het Aardoppervlak  We drukken deze gebeurtenissen uit in het referentiekader van de Aarde.  We meten de tijdsduur tussen gebeurtenis A en B met behulp van een lichtklok die met de muonen meereist. In het referentiekader van de Aarde tikt deze lichtklok langzamer dan een lichtklok in het eigen referentiekader van de Aarde (zie Opdracht 3). De tijdsduur tussen A en B is dus kleiner in het referentiekader van de Aarde dan in het referentiekader van de muonen. Als de reistijd van de muonen kleiner is zullen er tijdens de reis minder muonen vervallen. Hierdoor bereiken meer muonen het Aardoppervlak dan verwacht. |

|  |
| --- |
| **Checkvragen** |

1. Rachael zit in een trein die met 0,8*c* langs een perron rijdt. Ze klapt in haar handen met een frequentie van 1 Hz (dus 1 x per seconde) volgens haar horloge. Op het perron staat Charlie. Hij klapt ook in zijn handen met een frequentie van 1 Hz volgens zijn horloge. Volgens Rachael klapt Charlie op een lager tempo dan zij.

Lees de drie onderstaande beweringen:

1. Charlie is het met Rachael eens dat hij op een lager tempo klapt.
2. **Volgens Charlie klapt Rachael juist op een lager tempo.**
3. Volgens Charlie klappen zij op hetzelfde tempo.

Leg uit welke beweging juist is.

|  |
| --- |
| We meten de frequentie van het klappen van Rachael met behulp van een lichtklok die met haar meereist. In het referentiekader van Charlie tikt deze lichtklok langzamer dan een lichtklok in Charlie’s eigen referentiekader. Volgens Charlie klapt Rachael dus op een lager tempo. |

1. Een passagier zit in een treinwagon die met 0,8*c* langs een perron rijdt. Hij laat zijn horloge op de grond vallen. In het referentiekader van de trein duurt het 0,20 s voordat het horloge de vloer van de wagon bereikt.

In welk referentiekader wordt de eigentijd van deze beweging gemeten? Geef een toelichting bij het antwoord.

1. Het referentiekader van de trein
2. Het referentiekader van het perron
3. **Geen van beide**

|  |
| --- |
| De eigentijd tussen twee gebeurtenissen wordt gemeten in het referentiekader waarin de twee gebeurtenissen plaatsvinden op dezelfde positie. Dat is alleen het geval in het referentiekader van het horloge. Geen van beide stellingen is dus waar. |

**Einde van de checkvragen**

1. Met “relatieve snelheid” wordt het snelheidsverschil tussen Albert en Marie bedoeld. [↑](#footnote-ref-1)