

Tentamen SRT 6 nov 2006

13.45-16.30 h

Schrijf op alle vellen papier die u inlevert uw *naam* en *studentnummer*

Opgave 1.

Een ruimteschip met lengte L reist met een snelheid u ten opzichte van de aarde. Het meebewegende stelsel noemen we S' (met oorsprong O'), het stelsel van de aarde is S (met oorsprong O). Op tijdstip $t = t' = 0$ vallen O en O' samen. We kiezen de oorsprong O' van S' in het midden van het ruimteschip. Vanuit O' worden op tijdstip $t' = T$ twee kogels afgevuurd, met tegengestelde snelheden w en $-w$, beide ten opzichte van S' . Het afschieten van de kogels is gebeurtenis 1, de aankomst van de ene kogel achter in het schip (waar $x' = -L/2$) is gebeurtenis 2 en de aankomst van de andere kogel aan de voorkant (waar $x' = L/2$) is gebeurtenis 3.

- Geef de tijdstippen van de drie gebeurtenissen, alle in het stelsel van het ruimteschip (stelsel S'). [aantal punten: 1]
- Bepaal de posities en de tijdstippen van de drie gebeurtenissen in het inertiaalstelsel van de aarde (stelsel S). [1]
- Geef de vluchttijd van beide kogels, gezien vanuit de aarde. Welke van de twee kogels is het langste onderweg geweest? [1]
- Bepaal de afgelegde weg van beide kogels, gezien vanuit de aarde. [1]
- Bepaal de snelheid van beide kogels in het inertiaalstelsel S van de aarde. [1]
- Het experiment in het ruimteschip wordt nu met fotonen gedaan in plaats van met kogels. Bepaal uit het antwoord op de voorgaande vraag de snelheden van beide fotonen in het inertiaalstelsel S van de aarde. [1]

Opgave 2.

Een reiziger reist naar een bestemming op een afstand L van huis met een eenparige snelheid u , en keert vervolgens met dezelfde snelheid terug naar huis. De heenreis en de terugreis duren dus even lang. De reiziger duiden we aan als R , een thuisblijvende waarnemer noemen we W . We nemen aan dat W met dezelfde vaste tussentijden Δt een radiosignaal uitzendt, dat door R wordt opgevangen.

- Geef de duur van de heenreis, de duur van de terugreis, en de totaal verlopen eigen tijd van de reiziger R tussen vertrek en terugkeer. [1]
- Geef aan hoeveel signalen W uitzendt gedurende de reis. [1]
- Wat is de tussentijd tussen twee door R ontvangen signalen gedurende zijn heenreis? En gedurende de terugreis? [1]
- Hoeveel signalen ontvangt R gedurende de reis? Vergelijk dit met het antwoord op vraag 2b. [2]

Opgave 3.

NRC Handelsblad, vorige week zaterdag:

Twee exotische deeltjes ontdekt bij Tevatron-versneller in de VS

Bij de Tevatron-versneller van het Fermilab in Illinois in de Verenigde Staten zijn voor het eerst twee nieuwe exotische deeltjes waargenomen. De deeltjes zijn zware broers van de protonen en neutronen, de kerndeeltjes waar atoomkernen van alle ons omringende materie uit zijn opgebouwd. De vondst werd tijdens een openbare bijeenkomst bekendgemaakt door het internationale team van het zogeheten CDF-experiment bij de Tevatron-versneller. Het bestaan van de door hun ontdekte Σ_b -deeltjes was voorspeld binnen het zogeheten Standaard Model van de elementaire deeltjes.

De deeltjes werden gevonden in de reusachtige CDF-detector. Dit gevaarte, 6000 ton zwaar en zo hoog als een huis met drie verdiepingen, staat onder de grond bij het Tevatron, op dit moment de krachtigste deeltjesversneller op aarde. Het Tevatron zelf is een ondergrondse ring, met een omtrek van bijna 4,5 kilometer. Protonen en hun antideeltjes, antiprotonen, reizen er met bijna de lichtsnelheid in tegengestelde richting in rond.

Door de (anti)protonen vervolgens zo te sturen dat ze in het hart van de detector op elkaar botsen, kunnen natuurkundigen de samenstelling van materie op uiterst kleine schalen onderzoeken. De versneller werkt zo als een krachtige microscoop, maar dat is niet het enige: bij de botsing komt ook zoveel energie vrij dat kortstondig omstandigheden worden gecreëerd die lijken op de situatie kort na de oerknal. Met zeer hoge temperaturen en dichtopeengepakte materie dus. Uit de vrijkomende energie bij de botsing ontstaan bovendien allerlei deeltjes, volgens Einsteins principe dat energie equivalent is met massa (deeltjes).

Het Tevatron bleek krachtig genoeg om de betrekkelijk zware Σ_b -deeltjes te creëren die ook kort na de oerknal in het heelal moeten zijn voorgekomen. Het gaat om deeltjes die net als de gewone kerndeeltjes (de protonen en neutronen) opgebouwd zijn uit drie quarks. Maar terwijl de protonen en neutronen uitsluitend uit doorsnee up- en downquarks bestaan, is in de nieuwe deeltjes één zo'n quark vervangen door een veel zwaarder en minder regulier bottom-quark.

Er moest de nodige energie in worden gestoken om dat voor elkaar te krijgen. Uit duizenden miljarden deeltjesbotsingen wist het CDF-team uiteindelijk ruim honderd positief geladen en ruim honderd negatief geladen Σ_b -deeltjes te filteren. De deeltjes waren zeer instabiel en leefden slechts een fractie van een seconde. Maar de kans dat de meting niet klopt, is volgens de onderzoekers toch kleiner dan één op miljard maal miljard.

Margriet van der Heijden, 28-10-2006

Vragen:

Voor de botsing bewegen het proton en antiproton met gelijke snelheid (v_p), in tegengestelde richting. De rustmassa van het proton (en van het anti-proton) is m_p , de rustmassa van het Σ_b -deeltje is $m_\Sigma = 6.20m_p$.

- a. Bereken de *minimale* snelheid $\beta_p = v_p/c$ (in het inertiaalstelsel waarin Fermilab stilstaat) van het proton en antiproton die nodig is om één Σ_b -deeltje te produceren. (Hint: beschouw de totale energie voor en na de botsing en bepaal daaruit de impuls en snelheid van de deeltjes voor de botsing.) [3]
- b. Wat is vóór de botsing de snelheid van het antiproton in het ruststelsel van het proton? [1]
- c. Het Σ_b -deeltje leeft gedurende τ_Σ seconden, gemeten in het inertiaalstelsel van Fermilab. Hoe lang leeft het Σ_b -deeltje in het inertiaalstelsel van het proton (vóór de botsing)? [1]
- d. De lengte l_0 van de ring waarin het proton en antiproton voor de botsing bewegen is 4.5 km. Wat is volgens de speciale relativiteitstheorie deze lengte in het stelsel van het proton dat met constante snelheid β_p in de ring beweegt? [1]
- e. Feitelijk voldoet de speciale relativiteits theorie niet om het juiste antwoord op voorgaande vraag te vinden. Leg uit waarom. [1]

$$cijfer = 1 + 9 \cdot \frac{\text{aantal behaalde punten}}{\text{totaal aantal punten}}$$