

**INTRODUCTION TO SPECIAL RELATIVITY
FINAL EXAM**

3 Nov 2008 — 13:45-16:45

Name: (10pts)

Collegekaartno:

There are 130 points to be earned. Your grade on a scale of 1-10 will be 1/10th of the points earned with 10 the highest possible grade.

Er zijn 130 punten te verdienen. Je cijfer op een schaal van 1-10 zal 1/10e zijn van de verdiende punten met 10 het hoogst haalbare cijfer.

• **Problem 1: Principles of Special Relativity** (20pts)

Explain in your own words why the result of the Michelson-Morley experiment — that there is no preferred reference frame with respect to which light moves — and Einstein's subsequent postulate: that the speed of light is the same for all inertial observers, must mean that Newton's laws of classical mechanics need to be changed/improved. In other words show a contradiction between Einstein's second postulate and Newtonian/Galilean laws/our everyday intuition. You may use equations to support your argument.

Leg in je eigen woorden uit waarom het resultaat van het Michelson-Morley experiment — dat er geen voorkeursstelsel is ten opzichte van welke licht beweegt — en Einstein's daaropvolgende postulaat: dat de snelheid van het licht hetzelfde is voor alle eenparige waarnemers, moet betekenen dat Newton's wetten van de klassieke mechanica veranderd/verbeterd moeten worden. Met andere woorden laat een tegenstrijdig zien tussen Einstein's tweede postulaat en Newtoniaanse/Galileische wetten/onze alledaagse intuïtie. Je mag vergelijkingen gebruiken om je antwoord te onderbouwen.

• **Problem 2** (40pts)

A space terrorist plans to blow up his "Home" planet. Hiding in a nearby solar-system 3 lightyears away, he launches a time-bomb on a rocket at a speed of $u = 0.85c$ towards Home.

- a. How long does the terrorist think the rocket will take to reach Home?
- b. How long would someone who travels with the rocket measure the time to reach Home?

Luckily our terrorist is not so smart, and sets the timer on the bomb to the time *he* thinks the rocket will take to reach Home.

- c. Will the rocket explode before it reaches Home or after it has passed Home?
- d. What is the distance from Home at which the rocket explodes (in lightyears), measured by the people on Home (who are in the same restframe as the terrorist)?
- e. At the time it explodes how far will the rocket have travelled (in lightyears) from launch measured by someone who would have travelled with the rocket?

Een ruimteterrorist is van plan zijn “Thuis”-planeet op te blazen. Verscholen in een zonnestelsel 3 lichtjaren van Thuis verwijderd, lanceert hij een tijdbom op een raket met een snelheid van $u = 0.85c$ richting Thuis.

- Hoe lang denkt de terrorist dat de raket erover zal doen om Thuis te bereiken?
- Hoe lang zou iemand die met de raket mee zou reizen de tijd meten om Thuis te bereiken?

Gelukkig is onze terrorist niet zo slim, en zet hij de klok op de tijdbom om de tijd af te tellen die *hijzelf* denkt dat de raket nodig heeft om Thuis te bereiken.

- Zal de raket voordat hij of nadat hij Thuis bereikt exploderen?
 - Wat is de afstand van Thuis waarop de raket explodeert, gemeten in lichtjaren door de mensen op Thuis (die zich in hetzelfde inertiaalstelsel als de terrorist bevinden)?
 - Hoever heeft de raket gereisd vanaf het moment van lancering tot explosie gemeten in lichtjaren door iemand die met de raket mee zou hebben gereisd?
-

• **Problem 3** (20pts)

Two spaceships are travelling in convoy (i.e. in a line) at the same speed $u = 0.67c$ from Earth to another planet. The lead ship develops radio trouble and can just send out a message to the other ship requesting their radiomechanic shuttles over with spare parts.

- The message is broadcast at a frequency of 10^6 Hz. At what frequency does the basestation on Earth receive the signal?

The other ship sends out a shuttle towards the troubled lead ship at a relative speed of $u = 0.4c$.

- How fast does the shuttle move w.r.t. Earth?

Twee ruimteschepen reizen in konvooi (dwz achter elkaar) met dezelfde snelheid $u = 0.67c$ van Aarde naar een andere planeet. Het voorste schip krijgt radioproblemen en kan nog juist een bericht sturen naar het andere schip met het verzoek de radiotechnicus met reserveonderdelen naar hen over te voeren.

- Dit bericht wordt verstuurd op een frequentie van 10^6 Hz. Met welke frequentie ontvangt het basisstation op Aarde dit signaal?

Het andere schip stuurt een sonde naar het voorste schip met pech met een relatieve snelheid van $u = 0.4c$.

- Hoe snel beweegt deze sonde zich ten opzichte van de Aarde?
-

• **Problem 4** (40pts)

A systeem consists of a particle at rest with mass M_0 and a flash of light with energy E_1 moving in the positive x -direction. Recall that a flash of light can be thought to consist of a single particle, a photon, which has zero (rest)mass $m_{\text{photon}} = 0$. All the usual *relativistic* relations between energy and momentum hold for massless particles just as for massive ones.

- What is the relativistic energy E and momentum P of (1) the particle, (2) the flash of light, (3) the total system of the particle and the flash of light combined in terms of M_0 and E_1 ?
- What would be the speed of the inertial frame in which the total system is at rest with respect to the frame where only the particle is at rest?

When the flash of light, the photon, hits the particle it gets fully absorbed and changes the nature of the particle.

- c. What is the speed of the particle after the collision (in the frame where the particle was initially at rest)?
- d. Suppose energy is completely conserved in the collision. Could the after-collision-particle have the same mass of the before-collision-particle? If not, what is the mass of the after-collision-particle in terms of M_0 and E_1 ?

Next, a second flash of light, with the same energy E_1 also moving in the positive x -direction, is absorbed in an energy-conserving collision.

- e. Give the speed and mass of the after-second-collision particle.
- f. Is the answer in [e.] the same as when the initial flash of light would have carried double the energy $2E_1$?

Een systeem bestaat uit een stilstaand deeltje met massa M_0 en een lichtflits met energie E_1 die in de positieve x -richting loopt. Herinner je dat een lichtflits beschouwd kan worden als bestaande uit een deeltje, een photon, dat nul (rust)massa heeft $m_{\text{photon}} = 0$. Alle standaard *relativistische* relaties tussen energie en momentum houden voor massalozes deeltjes net als voor massieve deeltjes.

- a. Geef de relativistische energie E en de impuls P van (1) het deeltje, (2) de lichtflits en (3) het totale systeem bestaande uit de lichtflits en het deeltje samen (in termen van M_0 and E_1).
- b. Geef de snelheid van het ruststelsel van het totale systeem ten opzichte van het oorspronkelijke stelsel waar het deeltje in rust is.

Wanneer de lichtflits het deeltje raakt, wordt het volledig geabsorbeerd door het deeltje and veranderd de aard ervan.

- c. Bepaal de snelheid van het deeltje na de absorbtie (gezien vanuit het stelsel waarin het deeltje aanvankelijk stilstond).
- d. Neem aan dat energie behouden is in de absorbtie. Kan het na-de-botsing-deeltje dezelfde massa hebben als het voor-de-botsing deeltje? Zo niet, wat is de massa van het na-de-botsing-deeltje in termen van M_0 en E_1 ?

Vervolgens wordt opnieuw een lichtflits in de positieve richting met dezelfde energie E_1 geabsorbeerd in een energie-behoudende botsing.

- e. Geef de snelheid en de massa van het deeltje na deze tweede absorptie.
 - f. Is het resultaat in vraag [e.] hetzelfde als na absorptie van één flits met de dubbele energie $2E_1$?
-