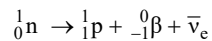


**Opgave A**

Een neutron kan vervallen in een proton, een elektron en een antineutrino volgens:



1 2p Leg uit waarom er geen gewoon neutrino maar een antineutrino moet vrijkomen.

Volgens een vergelijkbare reactievergelijking zou een proton uiteen kunnen vallen in een neutron en twee andere deeltjes.

2 2p Geef van dit tweede verval de reactievergelijking.

3 3p Leg uit of dit tweede verval wel of niet spontaan kan plaatsvinden.

**Opgave B**

Een airshower kan ontstaan als een geladen deeltje vanuit de ruimte de atoomkern van een deeltje in de atmosfeer treft. Hierbij ontstaat een lawine van instabiele deeltjes en fotonen. Deze deeltjes vervallen op hun beurt weer heel snel in andere deeltjes.

Aan het begin van een airshower kunnen pionen ontstaan. Zoals je in BINAS tabel 26C kunt zien, vervalt een positief geladen pion in een muon en een muonneutrino.

4 3p Bereken de energie die bij het verval van een stilstaand positief pion vrijkomt. Rond je antwoord af op een geheel aantal MeV.

Berekeningen aan de deeltjes in een airshower zijn ingewikkeld, omdat alle deeltjes bewegen. Maar het rekenwerk wordt eenvoudiger door een truc: doe alsof je met de deeltjes meevliegt. Stel dat je een deeltje hebt met massa  $m_1$  en snelheid  $v_1$ . Als je achter dat deeltje aanvliegt met snelheid  $v$ , dan is de relatieve snelheid ten opzichte van jou  $(v_1 - v)$ . Kies je als snelheid  $v = v_1$ , dan staat het deeltje stil ten opzichte van jou.

Heb je te maken met twee deeltjes met massa's  $m_1$  en  $m_2$  en snelheid  $v_1$  en  $v_2$ , dan kun je door handig je snelheid te kiezen de totale impuls ten opzichte van jou 0 maken. Je moet dan als snelheid  $v$  kiezen:

$$v = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

5 3p Toon dit aan.

Uit een gammafoton kan een elektron en een positron ontstaan, als het foton voldoende energie heeft.

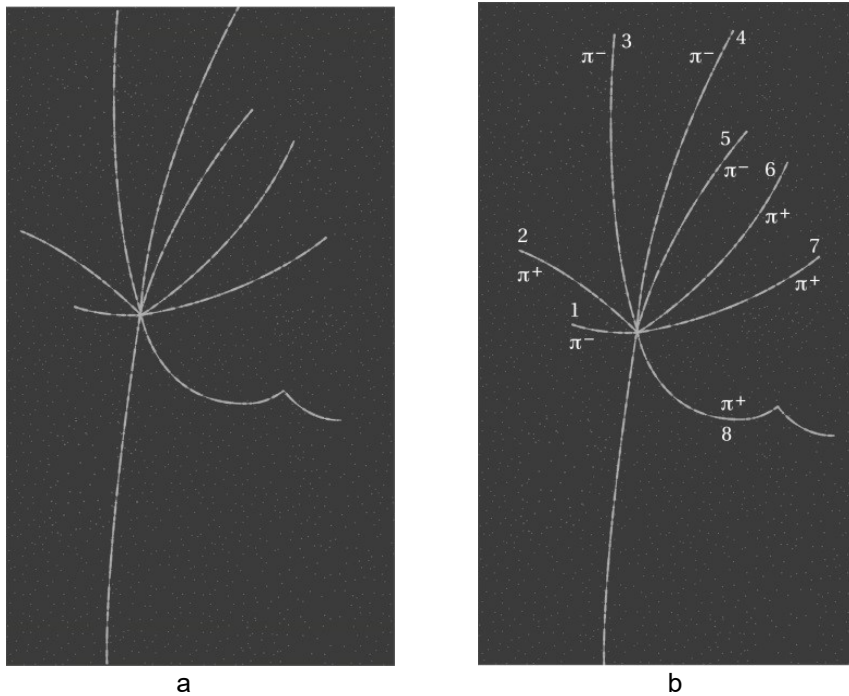
Ook in een airshower gebeurt dit als een foton botst met een atoomkern in de lucht

6 4p Beantwoord de volgende vragen:

- Hoeveel energie moet een foton minimaal hebben voor de creatie van een elektron en een positron?
- Leg uit waarom een elektron en een positron niet kunnen ontstaan uit één enkel foton, maar wel met een extra atoom erbij.

**Opgave C**

In figuur 1a zie je de foto van een nevelvat waarin voor het eerst het bestaan van een antiproton is aangetoond. In figuur 1b zijn daaraan nummers en symbolen toegevoegd.

**Figuur 1**

Het antiproton komt hierbij van onderen de nevelkamer binnen en botst op een stilstaand proton.

7 2p Leg uit waarom je het stilstaande proton niet op de foto kunt zien.

Bij de botsing ontstaan positieve en negatieve pionen. Het nevelvat is in een magnetisch veld geplaatst. Daardoor zijn de paden van de ontstane pionen gekromd.

8 2p Leg dat uit.

Bij de botsing ontstaan vier paren. Je mag aannemen dat elk paar bestaat uit een positief en een negatief pion met dezelfde snelheid.

9 4p Welke nummers uit figuur 1b vormen hierbij paren? Leg je antwoord uit.

Volgens BINAS tabel 26C kan een positief pion vervallen volgens  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ .

10 2p Geef twee argumenten waarom de vorm van pad 8 hiermee overeenkomt. Licht je antwoord toe.