
OOR DIE EKWIVALENSIE VAN MASSA EN ENERGIE.

INLEIDING.

Vandag hoor en lees ons baie oor die atoom en die energie wat uit die atoom gehaal kan word. Ons dink maar aan die veelbesproke atoombom met sy geweldige ontploffingskrag. Nou kan ons ons direk afvra waar hierdie groot hoeveelheid energie vandaan kom. As antwoord moet gegee word dat by die ontploffing 'n klein hoeveelheid massa in energie omgesit word. Dit is hierdie feit wat baie mense bevange hou en laat gis oor onuitputlike energiebronne. Maar kan ons massa sommer oorsit in energie en in soveel energie as ons wil?

Vandag staan dit as 'n eksperimentele feit vas dat ons van massa energie kan maak, en omgekeer dat van energie massa gemaak kan word. Massa en energie kan dus beskou word as twee verskillende toestandsvorme van dieselfde fisiese entiteit, net soos water en stoom twee verskillende toestandsvorme (vloeistof en gas onderskeidelik) van dieselfde skeikundige verbinding H_2O is. Ons sê dan dat massa en energie ekwivalente van mekaar is.

Voordat ons hierop verder kan ingaan, moet ons eers noukeurig nagaan wat onder die begrippe massa en energie verstaan word. Daarna sal ons dieper op die ekwivalensie van massa en energie ingaan en dan aantoon in hoeverre massa en energie by atome tot mekaar transformeerbaar is.

DIE BEGRIPPE MASSA EN ENERGIE.

Daar bestaan geen absolute metode om die massa van 'n stof vas te stel nie. Ons kan alleen die massas van twee stowwe met mekaar vergelyk (deur bv. van 'n balans gebruik te maak) en aldus vasstel hoeveel keer die massa van die een groter of kleiner is as die massa van die ander. In die metrieke stelsel van eenhede word die grootte van massas bepaal ten opsigte van 'n vaste eenheid van massa, die gram genoem. Die gram is naamlik 'n duisendste van die massa van 'n stuk platina, wat in die Archives te Parys bewaar word.

Die energie van 'n voorwerp gee ons die vermoë van die voorwerp om arbeid te kan verrig. Om byvoorbeeld 'n voorwerp vanuit rus in beweging te bring, moet daaraan arbeid verrig word. Hierdie bewegingsenergie wat die voorwerp aldus verkry het, gee nou die vermoë aan van die voorwerp om arbeid te verrig as dit weer tot rus gebring word. Volgens die stelling dat massa en energie aan mekaar ekwivalent is, beteken dit dat die bewegingsenergie van 'n bewegende voorwerp ekwivalent is aan 'n sekere hoeveelheid massa. Dit sou dan beteken dat 'n bewegende voorwerp swaarder moet weeg as wanneer hierdie voorwerp in rus is. Wanneer egter massa en energie nie aan mekaar ekwivalent sou wees nie en dus twee verskillende fisiese entiteite, sou die massa van 'n voorwerp dieselfde moes gewees het of dit in rus is of in beweging. Eksperimenteel kon inderdaad 'n vermeerdering in massa opgemerk word by massadeeltjies wat beweeg teen 'n snelheid naby ligsnelheid. Wanneer die bewegingsnelheid nie naby die van lig is nie, is die toename in massa te gering om dit op te merk. Die toename in massa van die deeltjies wat feitlik teen ligsnelheid beweeg, klop met die waarde wat bereken kan word met die formule deur Einstein afgelei op grond van sy spesiale relativiteitsteorie.

EKWIVALENSIE VAN MASSA EN ENERGIE BY LIGSTRALE.

Op die gedagte van die ekwivalensie van massa en energie is die eerste keer gekom by beskouinge aangaande elektromagnetiese golwe. Deur die teorie van Maxwell word lig byvoorbeeld as elektromagnetiese golwe beskou. Elektromagnetiese golwe moet energie besit om al hoe verder in die ruimte voortgeplant te word. Plaas ons nou iets in hulle weg, bv. 'n metaalplaatjie, sal, as ons baie noukeurig meet, opgemerk

word dat die lig daarop 'n druk uitoefen in die rigting waarin die golwe beweeg. Hierdie druk, wat ligstrale besit, kan gedemonstreer word deur 'n ligbundel op die gedraaide vlerke van 'n windmeultjie te rig. Deur die druk van die ligstrale sal die windmeultjie in beweging gebring word (mits die meultjie baie lig loop). Dieselfde effek kry ons as ons 'n lugstroom (wind) op die meultjie rig.

Om nou te verklaar waarom die lugstroom die meultjie laat draai, beskou ons die molekule waaruit die lug, volgens veronderstelling, saamgestel is. Die molekule, wat almal 'n massa het, beweeg saam met die lugstroom. As hulle met die vlerk van die meultjie bots, dra hulle van hulle bewegingsenergie aan die vlerk oor, en die meultjie word in beweging gesit.

Lig oefen nou ook 'n druk op die vlerk van die meultjie uit, maar volgens die elektromagnetiese golwe-teorie van Maxwell bestaan lig nie uit massadeeltjies, wat die meultjie aan die draai kan sit nie. Ons kan egter uit die druk wat lig op 'n vlerk uitoefen, gaan bereken wat die massa van die lig per volumeenheid moet wees om hierdie druk te kan uitoefen as hierdie massa teen ligsnelheid beweeg. Laat ons dit die stralingsmassa m_s noem. Uit die elektromagnetiese golwe-teorie van Maxwell kan weer die energie per volumeenheid van die lig bereken word. Laat ons dit die stralingsenergie E_s noem. Nou blyk dit dat die verband tussen hierdie stralingsmassa en -energie gegee word deur:

$$E_s = m_s c^2,$$

waar c die snelheid van lig is. Hierdie verband tussen massa en energie word die vergelyking van Einstein genoem. Hierdie vergelyking sê aan ons dat die stralingsenergie E_s ekwivalent is aan 'n stralingsmassa m_s .

Verder kan ook nog aangetoon word, uitgaande van Einstein se relativiteitsteorie, dat as 'n geïsoleerde liggaam 'n hoeveelheid energie E uitstraal (of absorbeer), dit aan meganiese massa 'n hoeveelheid E/c^2 moet verloor (of bykry). Hierdie massa is dus ekwivalent aan die hoeveelheid energie E .

Bostaande beskouing oor die ekwivalensie van massa en energie, wat deur die vergelyking $E=mc^2$ weergegee word, is alleen teoreties van aard maar verduidelik hoe Einstein op hierdie veelbesproke vergelyking gekom het. Die eksperimentele bevestiging van hierdie vergelyking is gevind by die radio-aktiewe desintegrasië van elemente en reaksies tussen atoomkerne.

DIE ELEMENTÊRE BOUSTENE VAN MATERIE EN HULLE BINDINGSENERGIE.

Na die denkbeeld van die ou Griekse filosoof, Leucippus, en sy leerling Democritus (4 eeue voor Christus) sal die heelal saamgestel wees uit onvernietigbare en onverdeelbare deeltjies, atome* genoem. As ons nou materie in al hoe kleiner deeltjies gaan verdeel, moet ons later by 'n deeltjie uitkom wat nie verder verdeel kan word nie. Hierdie gedagte het destyds nie veel aanhang gekry nie en het gou doodgeloop.

Eers teen die einde van die 17de eeu het natuurkundiges soos Boyle, Hooke en Newton weer die atoomstruktuur van materie stilswyend begin aanneem in hulle teoretiese denkbeelde. In die begin is daar heelwat rondgetas uit watter elemente die heelal nou opgebou is. Vir die alchemiste was daar vier elemente, naamlik aarde (vaste stof), lug (gas), water (vloeistof) en vuur. Boyle was die eerste om 'n skerpomlynde definisie van die term „element”, soos ons dit vandag nog gebruik, te gee. Hy definieer dit as 'n stof wat nie verder in ander soorte geskei kan word nie. Vandag is daar aan ons 98 skeikundige elemente bekend, elkeen met sy besondere eienskappe.

Aan die begin van die 19de eeu het Dalton 'n duidelike formulering van 'n moderne atoomteorie na vore gebring. Met hierdie atoomteorie kon hy die verskillende skeikundige verbindingswette wat toe alreeds geformuleer was, verklaar en koördineer. Volgens sy formulering is elemente opgebou uit atome wat onvernietigbaar is. Atome van dieselfde element is almal identies, terwyl hulle van element tot element verskil. Ook op ander natuurkundige gebiede as die skeikundige kon die atoomteorie eksperimentele resultate bevredigend verklaar en koördineer.

Tot aan die einde van die 19de eeu kon volgehou word dat 'n atoom onverdeelbaar is. Die ontdekking van die elektron, 'n elektries-gelaaide deeltjie met massa veel kleiner as dié van 'n atoom, het hieraan 'n verandering gebring. Dit het naamlik geblyk dat 'n atoom 'n elektron kan verloor en self positief gelaai word, wat ionisering van die atoom genoem word. 'n Atoom bevat dus elektrone as bestanddele en behoort gevolglik 'n struktuur te hê.

*Die woord **atoom** is van Grieks afkomstig en beteken „kan nie gesny word nie”.

Eksperimentele resultate van die afgelope halfeeu het dan ook die struktuur van die atoom bloot kon lê. In 1911 het Rutherford by die bestudering van die deurdringbaarheid van dun metaalblaadjies deur radio-aktiewe alfastrale tot die gevolgtrekking gekom dat materie baie leer is as wat dit sou wees as ons veronderstel dat die massa van 'n

atoom homogeen deur die atoom heen versprei is. Die verstrooiing van die alfastrale by hul deurgang deur die metaalblaadjies kon teoreties verklaar word as aangeneem word dat die massa van 'n atoom in 'n baie klein kern gekonsentreer sit. Volgens berekening moet die deursnee van die kern van die atoom 10^{-12} millimeters (d.i. 'n miljoenste van 'n miljoenste millimeter) wees, terwyl die deursnee van die atoom self 10^{-7} millimeter is.

Die kern van die atoom blyk positief gelaai te wees, terwyl die res van die ruimte om die kern in die atoom met voldoende negatiewe elektrone gevul is om die atoom as geheel neutraal te maak.

Gedurende die afgelope 20 jaar het eksperimente ook die samestelling van die atoomkern aan die lig gebring. Die ligste chemiese element is waterstof. In die waterstofatoom is daar net een elektron wat die ruimte in die atoom om sy positiewe kern, die proton genoem, vul. Nou blyk dit dat alle swaardere elemente opgebou is uit die positief-gelaaide kerne (protone) van die waterstofatoom én neutrone (neutrale protone).

Die tweede-ligste element is helium. Volgens die hedendaagse atoomteorie moet die kern van die heliumatoom saamgestel wees uit twee protone en twee neutrone. Die massas van 'n proton en 'n neutron is aan ons bekend op grond van eksperimentele bepalinge. Ons kan dus die massa van die kern van die heliumatoom gaan bereken. Aan die ander kant kan ons die massa van die kern van die heliumatoom eksperimenteel gaan bepaal en kyk of dieselfde waarde verkry word as dié wat bereken is deur tweemaal die massa van die proton by tweemaal die massa van die neutron te tel. Die eksperimentele en die berekende waardes blyk egter nie ooreen te stem nie. Die werklike massa van die heliumatoomkern blyk kleiner te wees as die som van die massas van sy bestanddele.

Om te verduidelik waarom daar 'n verskil in die massas is, laat ons die analoë geval van 'n skeikundige verbinding, bv. water (H_2O), wat saamgestel is uit die elemente waterstof (H) en suurstof (O), bekyk. Wanneer hierdie elemente, wat albei gasse is, gemeng word en 'n vonkie word daarin veroorsaak, sal die mengsel ontplof. Ons sê dan dat waterstof en suurstof met mekaar verbind het tot water. By die verbindingsproses het heelwat chemiese energie vrygekome, wat ons as 'n ontploffing waargeneem het. Wil ons nou omgekeerd H_2O in sy elemente skei, moet ons ten minste soveel energie toevoeg as wat by die verbinding van die elemente vrygekome het.

Die kern van die heliumatoom bestaan nou uit twee protone en neutrone. Hierdie 4 deeltjies sal alleen tot 'n hegte eenheid verbind wees as daar by die bindingsproses energie vrykom. Dan sal hulle nie van mekaar kan loskom voordat daardie energie nie weer aan hulle teruggegee is nie. Dat daar by die bindingsproses van twee protone en neutrone 'n ontsaglike energie vrykom, is bewys deur die vervaardiging en ontploffing van die veelbesproke waterstofatoombom. Die energie wat hier vrykom, gaan ten koste van die massa van die bestanddele. Daarom dat die massa van die verbinding van twee protone en neutrone (kern van die heliumatoom) kleiner blyk te wees as die som van die afsonderlike massas. Stel ons dat die verlies in massa by die bindingsproses m is en E die hoeveelheid energie wat vrygekome het, dan vind ons dat

$$E = mc^2,$$

waar c weereens die snelheid van lig is. Dit is weer die vergelyking van Einstein.

Vandag begin natuurkundiges alhoemeer beheer kry oor die samestelling van die atoom. Met behulp van 'n siklotron of 'n dergelike apparaat kan byvoorbeeld protone tot 'n hoë snelheid versnel en dan in die kern van 'n atoom ingeskiet word, of neutrone en protone kan deur hierdie hoog-energetiese proton uit die kern van 'n atoom geruk word. Aldus kan die aantal protone of neutrone in die kern van 'n atoom verander word en daardeur die eienskappe van die atoom. So kan ons atome van een element transformeer na atome van 'n ander element. Op hierdie wyse is daar al in geslaag om by die 92 elemente wat in die natuur gevind word, nog 6 nuwe, swaarder elemente te maak, sodat aan ons vandag die eienskappe van 98 elemente bekend is. Hierdie beheer wat ons vandag het oor die samestelling van die atoom, is in 'n groot mate moontlik gemaak deur die ekwivalensie van massa en energie.

Vandag kan ons nie meer beweer dat die vroeëre wet van behoud van massa en die wet van behoud van energie nog afsonderlik geld nie. Vandag geld vir ons wel die wet van behoud van massa én energie. Soos ons gesien het, kom by die verbinding van 'n proton met 'n neutron energie ten koste van die massa vry. Op grond van ons kennis vandag kan ons nie beweer dat 'n bestendige elementêre deeltjie, 'n proton of 'n elektron ('n neutron desintegreer in 'n vry toestand tot 'n proton en elektron), vernietigbaar is nie. Wanneer dit wel kon, sou ons ons direk moes afvra wat van die elektriese lading van die deeltjie geword het, want blykbaar bly die wet van behoud van lading wel geld.

P. H. STOKER.