



JAMES PRESCOTT JOULE.

JAMES PRESCOTT JOULE.

DOOR

Dr. J. NIEUWENHUYZEN KRUSEMAN.

Voor weinigen van de lezers van het *Album der Natuur* zal de man, wiens beeldtenis vóór dit nummer geplaatst is, een vreemde zijn.

Al hebben zij de meeste namen vergeten van die ontdekkers van natuurwetten, van die bepalers van physische constanten, van die opstellers van theoriën, namen, met welke in hun schooljaren het leerboek der natuurkunde wel wat al te kwistig scheen, JOULE herinneren zij zich nog. Hij behoorde niet tot de »moeielijken", die ons het leven wel eens zuur maakten, zooals REGNAULT met zijn haar-klovene bepalingen van dampspanningen en uitzettings-coëfficiënten, of OHM, wiens wet expresselijk scheen uitgedacht te zijn om toegepast te worden in lastige vraagstukken met achter en naast elkander staande elementen. JOULE, de man van het mechanische warmte-æquivalent, was niet zoo wanhopig lastig. Het was, na de hoofdbrekende eerste kapitels der warmteleer, zelfs een soort van verademing in een opstel of mondeling het verhaal te mogen doen, hoe hij tot zijn arbeidswaarde kwam: »Hij nam een bak met water, enz. enz." Niet waar, het was haast zoo eenvoudig, dat wij ons afvroegen, hoe het mogelijk was, dat iemand met zulk een eenvoudige en naar onzen smaak weinig schitterende proef, zijn naam kon vereeuwigen.

Later hebben wij leeren inzien, dat aan bijna alle groote, de wetenschap hervormende, ontdekkingen dat karakter van eenvoud eigen is; de ontdekking nu van de waarheid, dat warmte arbeidsvermogen is en een mechanisch æquivalent heeft, behoort tot die overwinningen

op het gebied van den geest, die het meest ingegrepen hebben in den ontwikkelingsgang der hedendaagsche wetenschap.

Het kan aan de groote verdiensten van JOULE geen afbreuk doen, dat het genoemde feit niet door hem alleen plotseling is aan het licht gebracht. De zoogenaamde mechanische warmtetheorie is de vrucht van het werken en denken van meer dan één generatie van natuuronderzoekers, en het is zelfs niet gemakkelijk aan die allen, aan een DAVY, een RUMFORD, een MAYER en zoovele anderen recht te doen wedervaren, niet gemakkelijk het aandeel te schatten, dat ieder van hen heeft gehad in den opbouw dier heden ten dage zoo indrukwekkende theorie.

Maar toch, wanneer wij ons hen voorstellen, gegroepoord zooals wij wel eens de hervormers of de groote dichters op één tafereel vereenigd zien, dan kunnen wij ons als middelpunt van die groep niemand anders denken dan JAMES PRESCOTT JOULE. Waar anderen de waarheid waren genaderd, ja haar hadden aangeraakt, daar heeft hij haar met vaste hand gegrepen en niet losgelaten vóór zij zijn onvervreemdbaar eigendom geworden was.

Hij werd op kerstavond van het jaar 1818 te Manchester geboren. Zijn vader bezat een flinke bierbrouwerij, die door zijn grootvader was opgericht en die, na verloop van tijd, op hem en zijn broeder moest overgaan. De naam PRESCOTT is die van JOULE's moeder.

JAMES was een tener kind, en werd daarom niet naar school gezonden, maar t'huis onderwezen eerst door een tante en later, tot zijn vijftiende jaar, door onderwijzers. Toen meenden de ouders, dat het tijd was hem in de praktijk van het vak in te wijden, en zoo werd hij in de brouwerij aan het werk gezet. Maar zijn vader was te verstandig om de theoretische opvoeding van den knaap voltooid te achten; hij begreep, dat het voor een brouwer nuttig, zoo niet noodzakelijk, was iets te weten van scheikunde en verwante wetenschappen.

Nu was er te Manchester uitnemend gelegenheid om die kennis op te doen; daar bestond de *Manchester Literary and Philosophical Society*, een genootschap, waarvan president was de beroemde DALTON, een der grootste scheikundigen van alle tijden, de vader der atoom-theorie; deze had er genoeg in om aan intelligente knapen les te geven, welk onderricht plaats had in het gebouw der »Society», waar hem ruimschoots de hulpmiddelen voor zijn demonstraties ten dienste stonden. Tot die lessen werden de jonge JOULE en zijn broeder toegelaten, en van dat oogenblik af aan was de toekomst van JAMES beslist.

Moeielijk ware er een betere school te vinden geweest voor de ontwikkeling van een streng wetenschappelijken zin dan bij den man, wiens scherpzinnigheid, geduld en losheid van alle sleur spreekwoordelijk waren.

DALTON begon met zijn leerlingen in de beginselen der wiskunde in te wijden; toen kwam de natuurkunde aan de beurt en daarna de scheikunde. JAMES vond in die lessen een ongekend genot; vooral maakten de physische instrumenten en de verrassende proeven, die er mede gedaan werden, een diepen indruk op hem, zóó, dat hij brandde van verlangen om een kleine verzameling te bezitten en zelf proeven te kunnen doen. Het kostte hem weinig moeite zijn ouders te bewegen om hem in hun huis, dat Broomhill heete en te Pendlebury bij Manchester stond, voor dat doel een kamer af te staan; daar toog hij aan het werk met al den ijver en al de illusiën van zijn zestien jaren.

Ieder jongen, wiens liefhebberijen dien kant uitgaan, droomt van het bezit van een elektriseermachine; natuurlijk moest zulk een werktuig ook het eerste groote stuk worden in de collectie van JAMES JOULE: een paar lampenglazen, een kachelpook, wat lak en zijden draad leverden het materiaal, en zie, na eenigen arbeid, daar stond de machine! Wij kunnen ons het genoeg voorstellen, dat de knaap smaakte, toen hem de eerste door hem zelf voor den dag getooverde vonken op de knokkels prikkelden.

Na deze eerste welgelukte poging werden andere toestellen in studie en bewerking genomen, en zoo ontstond van lieverlede een natuurkundig kabinet, dat eenigen tijd later, toen alles niet meer zoo op een zuinigje behoefde te geschieden, vrij eerbiedwaardige afmetingen verkreeg.

Toen JOULE achttien jaar was verloor hij zijn moeder, en terwijl de gezondheid van den vader toch al wankelend was, trof de slag dezen zóó zwaar, dat hij zich gaandeweg aan de zaken moest onttrekken en het beheer over de brouwerij aan zijn beide zoons overlaten.

De bezigheden, daaraan verbonden, namen evenwel niet zooveel tijd in beslag of er bleef ruimschoots over voor wetenschappelijken arbeid, die meer en meer een ernstig karakter gekregen had; van liefhebberen was reeds geen sprake meer; JOULE was gerijpt tot natuuronderzoeker; maar nog had hij geen andere werkplaats dan die gezellige rommelkamer in zijns vaders huis; dáár had hij zijn eerste elektriseermachine geknutseld, dáár zou hij binnen korten tijd reeds het mechanisch æquivalent der warmte bepalen, en daardoor zich eensklaps een plaats veroveren onder de grootste natuurkundigen van zijn tijd.

Zijn eerste onderzoekingen hadden betrekking op elektromagneten, en daar was aanleiding voor.

Daar is een tijd geweest, dat velen dweepten met een vervanging van de stoomkracht door de afstootingen en aantrekkingen, die de polen van elektromagneten op elkander uitoefenen. In een industriestad als Manchester moest natuurlijk een zoo bij uitnemendheid praktisch vraagstuk de aandacht trekken, en het is dus niet te verwonderen, dat JOULE's onderzoekingen die richting namen. In zijn eerste verhandelingen kan men tusschen de regels duidelijk lezen wat eigenlijk zijn ideaal is: *Hij* wil het elektromagnetische werktuig uitvinden, dat den stoom verdringen zal; en *hij* wil het aan de nijverheid geven om niet, terwijl anderen, mochten zij in dergelijke pogingen slagen, door het nemen van patenten mogelijk een zware belasting op haar zouden leggen. Daarom wordt iedere op dat gebied door hem gedane ontdekking ook dadelijk gepubliceerd, zonder hare rijpheid af te wachten.

Het is verwonderlijk welke zonderlinge modellen van elektromagneten uit zijne handen kwamen; hij maakte ze ringvormig, cylindervormig, tonvormig, in bonte verscheidenheid; en dat niet in den blinde, maar altijd geleid door een op de theorie van het magnetisme steunend beginsel. Onder dat werk leerde hij ontzaggelijk veel; zoo zag hij spoedig de noodzakelijkheid in om de sterkte van stroomen en van magneetpolen te meten, en daarin vond hij niet alleen aanleiding om de gebruikelijke meetinstrumenten te verbeteren, maar ook om maateenheden in te voeren, waardoor onderzoekingen op verschillende tijden en door verschillende personen gedaan met elkander vergelijkbaar werden. Door in dien geest zijn onderzoekingen en proeven steeds zoo streng mogelijk quantitatief in te richten en zich zelven in dat opzicht de hoogste eischen te stellen, werd hij allengs de onvergelykelyk juist ziende en nauwgezette experimentator, wiens zelfbewuste scherpte van waarneming groot genoeg was om hem natuurwetten te doen afleiden uit zulke kleine verschillen in waargenomen grootheden, dat anderen ze allicht tot de onvermijdelijke aflezingsfouten zouden gerekend hebben.

De voornaamste wet, die in dit tijdperk door JOULE ontdekt werd, was deze, dat de sterkte van een elektromagneet, *ceteris paribus*, evenredig is met het vierkant van den opwekkenden stroom. Dat was in zijn oogen een vondst van het allergrootste gewicht, waarvan hij zich gouden bergen beloofde. Hij redeneerde nl. ongeveer aldus: een tweemaal sterker stroom eischt een verbruik van een dubbele hoeveel-

heid materiaal in de batterij, b.v. van zink; heb ik nu daardoor de beschikking over een viermaal grooter kracht, dan kan ik ook in denzelfden tijd viermaal meer arbeid verkrijgen; dus de dubbele prijs doet mij een viervoudige waarde verwerven, de drievoudige prijs een negenvoudige waarde enz. Dat leidde hem tot een slotsom, die hij nederlegde in een hieronder letterlijk vertaalde zinsnede; zij moge dienen als bewijs hoe weinig ontwikkeld nog in dien tijd zijne begrippen waren omtrent arbeidsvermogen. Hij schreef dan:

»Ik kan nauwelijks betwijfelen of elektromagnetisme zal ten slotte den stoom vervangen als drijfkracht voor machineriën. Indien het vermogen van het werktuig evenredig is met de aantrekkende kracht van zijn magneten, en indien deze aantrekking evenredig is met het vierkant van den elektrischen stroom, dan zal de economie¹ recht evenredig zijn met de hoeveelheid electriciteit, en de kosten voor het doen gaan van de machine *ad infinitum* kunnen verminderd worden. *Er blijft evenwel nog te onderzoeken in hoeverre de werkingen der inductiestroomen deze verwachtingen kunnen teleurstellen*».

Deze regelen zijn overgenomen uit een brief, in het jaar 1839 gericht aan den heer STURGEON, redacteur van de »*Annals of Electricity*, in welk tijdschrift JOULE in dien tijd zijn onderzoekingen placht openbaar te maken.

De door mij gecursiveerde woorden zijn merkwaardig omdat er uit blijkt, dat JOULE reeds toen in de magneto-inductie den boozen genius vermoedde, die zijn schoonen droom wel eens zou kunnen verstoren. Des te vreemder is het, dat hij eenigen tijd later het spoor bijster raakt, en, wanneer hij zijn machines juist ten gevolge van inductie niet ziet verrichten wat zijn theorie eischte, dat meent te moeten toeschrijven aan een geheel nieuw verschijnsel, nl. aan een vermeerdering van weerstand in zijn draden tengevolge van de beweging, waaraan hij den naam van magneto-elektrischen weerstand geeft.

Die afdwaling duurde evenwel niet lang; het voetspoor van LENZ en JACOBI volgende, zag hij, dat achter zijn nieuwen weerstand inductie verborgen was, en dat deze de onoverkomelijke hindernis was tegen zijn verminderen *ad infinitum* van arbeidskosten. Het werd hem volkomen helder, dat voor een bepaalden te verrichten arbeid een æquivalent moet geleverd worden in zink en zuren, die in de batterij verbruikt worden. Toen eenmaal dat denkbeeld van æquivalentie vat

¹ D. i. de verhouding tusschen den verkregen arbeid en het opgeofferde materiaal.

op hem gekregen had, liet het hem niet meer los; het beheerschte voortaan al zijn werken en denken.

Zijn idealen omtrent elektromagnetische werktuigen waren intusschen op teleurstelling uitgelopen. In een lezing in 1841 gehouden, vatte hij de resultaten, waartoe hij gekomen was, samen. Hij berekende, dat bij zijn beste machines een pond zink 331.400 voetponden arbeid leverde, terwijl met één pond steenkool in het beste stoomwerktuig 1.500.000 voetponden verkregen werden. »Deze vergelijking is zoo allerongunstigst, dat ik beken bijna te wanhopen aan het welslagen van pogingen om elektromagnetische aantrekkingen te maken tot een economische bron van beweegkracht.»

Met deze woorden sloot hij een periode in zijn wetenschappelijke loopbaan af, die, zoo zij hem al van de gehoopte groote uitkomsten weinig had opgeleverd, hem rijk gemaakt had in de ervaring, die hij voor het volbrengen van de voor hem weggelegde taak noodig had.

Zooals JOULE tot nogtoe den galvanischen stroom beschouwd had in verband met den arbeid, dien hij in staat was te verrichten, zoo was in een tweede reeks van onderzoekingen zijn aandacht bepaald tot de warmte, die hij opwekt in alles waar hij doorheen stroomt, mogen het vaste of vloeibare geleiders zijn.

Hij vond in den loop van die studie de bekende naar hem genoemde wetten, dat nl. de warmte, in een bepaalden tijd in een geleider opgewekt, evenredig is met den weerstand van den geleider en met het vierkant van de stroomsterkte. Waar kwam die warmte van daan? Hij vond het æquivalent weder in het zinkverbruik, dat in de elementen plaats had, en, merkwaardig genoeg, ook nu scheen uit zijn tweede wet te volgen, dat de dubbele hoeveelheid zink een viermaal grooter hoeveelheid warmte kon leveren, zooals zij vroeger een viervoudigen arbeid scheen te moeten geven. Maar deze keer verzeilde JOULE niet op de oude klip. Terecht begreep hij, dat, om bij gelijken totalen weerstand een tweevoudige stroomsterkte te verkrijgen, ook het aantal elementen der batterij verdubbeld moest worden; maar, daar nu ook door ieder element een tweemaal sterkere stroom ging, was er in iedere cel een tweemaal grooter zinkverbruik, wat dus voor de geheele batterij op een viermaal grootere consumptie neerkwam. De verkregen warmte was inderdaad evenredig aan het opgeofferde materiaal, of zooals wij het heden zouden uitdrukken, aan de verdwenen scheikundige energie.

Bij de onderzoekingen, die wij nu besproken hebben, had JOULE

zich dus beziggehouden met scheikundige werkingen in verband met arbeid en met warmte; een zekere æquivalentie was in beide gevallen door hem vastgesteld; maar in beide gevallen ook had de galvanische stroom de rol van bemiddelaar gespeeld. Het is te begrijpen, dat een geest als de zijne zich niet met de verkregen resultaten te vreden kon stellen, maar dat zich integendeel een ruim veld van nieuwe onderzoekingen voor hem moest ontsluiten. De volgende vraag b.v. kon niet nalaten zich aan hem op te dringen:

Bij scheikundige omzettingen kan ook warmte ontstaan zonder eenige bemiddeling; wanneer b. v. verdund zwavelzuur inwerkt op zink, ontstaat er warmte. Zal er nu eenige betrekking bestaan tusschen de op die wijze bij verbruik van een pond zink verkregen warmte, en die, welke in een stroomloop ontstaat, wanneer in de elementen een pond zink verteerd wordt?

Om die vraag te kunnen beantwoorden begon JOULE de warmteproductie bij scheikundige verbindingen te bestudeeren, en zijn proeven vestigden bij hem de overtuiging, dat de gezochte betrekking bestaat in de identiteit; met andere woorden: met of zonder bemiddeling van den galvanischen stroom levert dezelfde hoeveelheid zink, bij inwerking van zwavelzuur, steeds dezelfde hoeveelheid warmte.

Men ziet hoe kort de afstand was, die JOULE nog scheidde van het standpunt, van waar de wet der energie in haar vollen omvang door hem zou kunnen overzien worden. Ja, voor ons, die met de kennis van die wet zijn opgegroeid, is het zelfs niet gemakkelijk te begrijpen, dat hij haar toen nog zelfs niet begon te vermoeden. Dat hij het niet deed, blijkt uit de bespiegelingen, die hij aan de gevonden gelijkheid vastknoopte. Hij zag er nl. het bewijs in van de stelling, dat de scheikundige verbindingswarmte niets anders is als warmte, verkregen door het stroomen van electriciteit. Volgens een theorie van BERZELIUS zijn atomen, die zich met elkander willen verbinden, met tegengestelde elektriciteiten geladen; wanneer nu de verbinding tot stand komt neutraliseeren de ladingen elkander geheel of ten deele, en bij de streaming der zich vereenigende elektriciteiten ontstaat warmte. Deze leer nu werd, op grond van zijn proefneming, door JOULE met ijver verdedigd. Uit het ontstaan van gelijke hoeveelheden warmte in de beide gevallen, meende hij tot identiteit van oorsprong te mogen besluiten. Het behoeft wel niet gezegd te worden, dat, gezien in het licht door de leer van het behoud van arbeidsvermogen ontstoken, de door JOULE gevonden gelijkheid *moet* bestaan, de hypothese van BERZELIUS moge al of niet met de waarheid overeenstemmen.

Een andere vraag eischte niet minder dringend beantwoording. Wanneer een galvanische stroom verkregen wordt met behulp van een batterij, dan wordt een æquivalent voor de ontstane warmte gevonden in het verbruik van zink; maar wij kunnen een stroom ook verkrijgen door inductie, door b. v. een elektromagneet zich te laten bewegen in een magnetisch veld; en daarbij ontstaat in de geleiding evenzeer warmte. Van waar komt nu de warmte in dát geval, waarbij van verbruikt zink geen sprake kan zijn? Zou het kunnen wezen, dat de windingen van den elektromagneet warmte verliezen en *die* warmte in het uitwendige deel van den stroomkring wordt teruggevonden? Dat deze oplossing van de gestelde vraag aan JOULE onwaarschijnlijk voorkwam, is aan geen twijfel onderhevig; maar toch, vóór hij verder ging, wilde hij dat punt eens voor al beslist zien. Hij sloot daarom een kleinen staafvormigen elektromagneet te gelijk met wat water in een glazen buis; de draadeinden staken buiten de buis uit en konden met een galvanometer verbonden worden. Deze buis liet hij nu draaien tusschen de polen van een grooten elektromagneet, later, om het gebruik van een batterij geheel te kunnen vermijden, tusschen die van een staalmagneet. Er ontstonden inductie-stroomen en nu moest onderzocht worden of het water om den draaienden magneet warmer of kouder werd. Na eerst tot een verkeerd resultaat gekomen te zijn, wat ons niet mag verwonderen omdat het geheele waargenomen temperatuurverschil slechts ongeveer $\frac{1}{20}$ van een graad Fahrenheit bedoeg, stelde JOULE het ten slotte boven allen twijfel, dat zoowel in de draadwindingen van den elektromagneet als in de andere deelen van de geleiding warmte ontstond; overal dus *winst* aan warmte, nergens *verlies*.

Maar dan bleef nog steeds de vraag klemmen: van waar die warmte? En nu ging voor JOULE een licht op.

Om den elektromagneet in het magnetische veld te doen draaien, werd arbeid vereischt, en, ten gevolge van magnetische weerstanden, *meer* dan wanneer hij gedraaid werd in een niet magnetisch veld. Zou niet in dien *arbeid* het æquivalent der gewonnen warmte te zoeken zijn? Het was haast niet anders mogelijk; immers voor een pond zink was te verkrijgen een bepaalde hoeveelheid warmte, onverschillig of de galvanische stroom al of niet bemiddelend optrad; aan den anderen kant kon datzelfde zink ook weder slechts een bepaalde hoeveelheid arbeid leveren. Werd het nu niet waarschijnlijk, dat ook deze hoeveelheden arbeid en warmte onderling æquivalent waren, dat dus

een gegeven arbeid kon doen ontstaan een bepaalde hoeveelheid warmte?

Nu deze redeneering haast geen twijfel aan haar juistheid toeliet, herhaalde JOULE zijn proef met een kleine maar allerbelangrijkste wijziging. In plaats dat hij zijn elektromagneet met de hand deed draaijen, bewoog hij hem nu door middel van dalende gewichten, die vastgemaakt waren aan de uiteinden van een koord; dat koord liep over een cylinder, die een verlengstuk was van de as van den draaijenden toestel. De bewegende kracht was dus bekend, en nu behoefde nog slechts de afstand te worden gemeten, die de gewichten aflegden, om den arbeid te kennen, die aan het draaijen besteed werd. De in den elektromagneet ontstane warmte kon zonder veel moeite bepaald worden uit de temperatuursverhooging van het zich in de glazen buis bevindende water; en de warmteproductie in het overige deel van de geleiding kon berekend worden, met behulp van de verhouding van den weerstand in dat deel tot dien van de windingen des elektromagneets.

Zoo werd JOULE geleid tot de volgende uitspraak, een der merkwaardigste in de geschiedenis der natuurkunde:

»De hoeveelheid warmte, die in staat is de temperatuur van een pond water één graad van Fahrenheit's schaal te verhoogen, is gelijk aan, en kan veranderd worden in, een mechanischen arbeid, voldoende om 838 pond tot de hoogte van één voet op te heffen».

In het voorbijgaan zij opgemerkt, dat het aangegeven cijfer van 838 voetponden te groot is; wij moeten evenwel in het oog houden, dat het uit zeer kleine temperatuurverschillen was afgeleid, en dat JOULE toen nog niet in het bezit was van de voortreffelijke thermometers, die hem bij zijn latere onderzoekingen ten dienste stonden.

Nog één schakel ontbrak aan de rij van omzettingen der energie, die JOULE had onderzocht. Tot nu toe was de galvanische stroom het middel geweest, waardoor de ruiling van arbeid in warmte te weeg gebracht was. Bij een vorige gelegenheid, toen de warmte-waarde der scheikundige affiniteit bestudeerd werd, was gebleken, dat van het al of niet gebruiken van den stroom die waarde niet afhankelijk was. Met het oog daarop leed het bijna geen twijfel meer of mechanische arbeid, onmiddellijk tot het voortbrengen van warmte gebruikt, moest tot hetzelfde æquivalent leiden, dat met behulp van den galvanischen stroom gevonden was. Evenwel, het mocht zonder experimenteel bewijs niet aangenomen worden.

Om dat bewijs te leveren liet JOULE een met vele kleine gaatjes

doorboorden zuiger in een glazen met water gevulden cylinder op en neer gaan, waardoor het water warmer werd; en bepaalde nu, zoo goed hij kon, den verbruikten arbeid en de gewonnen warmte; op die wijze vond hij voor iederen graad Fahrenheit per pond water een arbeid van 770 voetponden. Toevallig komt dit cijfer veel dichter bij het tegenwoordig als juist erkende dan de 838 voetponden van voorheen, waarvan het niet onaanzienlijk verschilt.

Met het oog evenwel op de onvolkomenheid zijner waarnemingen, vond JOULE de overeenstemming groot genoeg om zich van de juistheid zijner beschouwingen overtuigd te durven houden. Het zou nu voortaan zijn taak zijn door nauwkeuriger bepalingen de waarheid van de volgende stelling onomstootelijk vast te stellen:

» De groote werkkrachten der natuur zijn volgens den wil des Scheppers onvernietigbaar; en wanneer mechanische arbeid verbruikt wordt, wordt een juist equivalent aan warmte verkregen.»

Niettegenstaande JOULE iederen wetenschappelijken arbeid, dien hij verrichtte, spoedig openbaar maakte, was het er ver van af, dat hij zijn tijdgenooten dadelijk in zijn overtuiging kon doen deelen; zijn stelling was werkelijk nieuw en revolutionnair, hoe eenvoudig zij ons tegenwoordig moge voorkomen.

Om dat te doen zien, is het noodig een korten blik te slaan op de geschiedenis der warmteleer vóór 1843.

Wij behoeven ons niet bezig te houden met de bespiegelingen der oudere natuurphilosofen omtrent het wezen der warmte. Het zij genoeg er aan te herinneren, dat reeds zeer vroeg de meeningen op dit stuk verdeeld waren; sommigen noemden de warmte een *stof*, terwijl anderen meenden, dat de warmteverschijnselen haar oorzaak hadden in *beweging*. Daar geen van die meeningen, wat er ook vóór of tegen mocht te zeggen zijn, op een wetenschappelijken grond steunde, behoeven wij ons in de argumenten, die wederzijds werden aangevoerd, niet te verdiepen; wij hebben er ons alleen voor te wachten om mannen, die op het naar onze tegenwoordige zienswijze juiste standpunt stonden, hooger te stellen dan hun tegenstanders. Geen aprioristische argumenten maar experimenten alleen konden in dien strijd beslissen.

Een zeer groote schrede in de goede richting werd gedaan door hen, die het woord warmte van zijn vage beteekenis ontdeden en het tot den rang van een wetenschappelijken term verhieven door er het begrip van een quantiteit mede te verbinden. Vóór men er toch

aan denken kon de warmte met vrucht te beschouwen in verband met die meetbare grootheden, die met de begrippen *stof* en *beweging* verbonden zijn, moesten in de eerste plaats warmtehoeveelheden onderling vergelijkbaar gemaakt worden. Die stap werd in het laatst van de vorige eeuw gedaan door BLACK in Engeland en door LAVOISIER in Frankrijk.

Het moge eigenaardig zijn, dat het een scheikundige was, die het eerst een bruikbaren calorimeter ter hand nam, onverklaarbaar is het evenwel niet. Toen LAVOISIER de flogiston-theorie van STAHL naar het rijk der fabelen had verwezen, en met de weegschaal in de hand had aangetoond, dat verbranding een scheikundige verbinding is van de stoffen met de door PRIESTLEY ontdekte zuurstof, scheen er voor het flogiston, de calorische stof, het element des vuurs, in één woord, voor dat wat in den grond der zaak niets anders dan *warmte* was, geen plaats meer in het systeem der scheikunde te zijn. Toch kon LAVOISIER zich niet eensklaps van haar losmaken; het bleef een niet te loochenen feit, dat bij vele scheikundige verschijnselen warmte ontstond, of, zooals het toen heette, vrijkwam; dat zij bij andere verdween of althans gebonden werd. Mocht dus de warmtestof al geen essentieel bestanddeel van scheikundige verbindingen uitmaken, zij scheen er toch een dergelijke rol bij te spelen als b.v. het kristalwater in kristallijne zouten. Alleen zij onttrok zich aan meting met de balans.

In een tijd, toen onweegbare vloeistoffen nog tot de werkelijk bestaande dingen gerekend werden, kon die omstandigheid voor LAVOISIER geen reden zijn om de warmte uit zijn stelsel te bannen; zij was hem alleen een aanleiding om naar een andere wijze van meten om te zien; en daar hij inzag, dat hier bij *natuurkundige* methoden alleen baat kon gevonden worden, riep hij de medewerking van den jongen LAPLACE in, dien hij op dat gebied meer dan zichzelf vertrouwde. Zoo ontstond de in ieder natuurkundig leerboek afgebeelde ijscalorimeter, die beider namen draagt, en waarmede zij uitvoerige proefnemingen deden vooral over de warmte, die bij de levensverschijnselen in het dierlijk lichaam ontstaat.

Omtrent zijn meeningen over het wezen der warmte laat LAVOISIER zich niet beslist uit; hij toont de beide strijdende hypothesen te kennen, maar in zijn redeneeringen is de warmte zonder twijfel een onweegbare stof. Zijn verdienste op dit gebied is hierin gelegen, dat hij warmtehoeveelheden in maat en getal uitdrukte.

De ontwikkeling der warmteleer trad een nieuwe fase in, toen de warmte met een meetbare *mechanische* grootheid werd in verbinding gebracht. Dat deed CARNOT in zijn » *Reflexions sur la puissance motrice du feu.* » Hij beschouwde daarin de warmte als middel tot het verrichten van *arbeid*.

Hier worde ter loops er aan herinnerd, dat dit iets geheel anders is als de warmte te beschouwen *als* arbeidsvermogen. Het water, dat van de bergen stroomt kan gezegd worden te dienen bij het verrichten van arbeid, het bezit zelfs energie; maar het *is* geen arbeidsvermogen, evenmin als het water in den stoomketel of de stoom waarin het verandert. Iedere soort van arbeidsvermogen toch moet, bij het overgaan in een anderen vorm van energie, ophouden in den oorspronkelijken vorm te bestaan.

CARNOT nu trok een parallel tusschen water als drijfkracht voor machines en warmte. Hij toonde aan, dat, evenals water slechts dan arbeid kan verrichten als het kan stroomen van een hooger naar een lager peil, zoo ook warmte slechts nuttig werk doet, als zij gaat van een lichaam van hooger naar een van lageren warmtegraad; bij een zoogenaamde calorische machine heeft dan ook steeds zulk een overgang' plaats; men denke hierbij b.v. aan den stoomketel en den condensator van een laag-druk stoomwerktuig. En evenals het beschikbaar arbeidsvermogen van water evenredig is met het hoogteverschil der beide niveau's, zoo kan ook volgens CARNOT warmte in dezelfde mate meer arbeid verrichten als waarin het temperatuurverschil der beide lichamen grooter is; een verschil tusschen de beide vergeleken gevallen is in zooverre aanwezig, dat de door warmte verkregen arbeid ook nog afhankelijk is van de temperatuur van ieder der beide lichamen, zoodat, bij gelijk temperatuurverschil, meer arbeid van dezelfde hoeveelheid warmte kan verkregen worden naarmate de lichamen kouder zijn.

De van warmte *hoogstens* te verkrijgen arbeid is dus evenredig 1^o met de hoeveelheid overgestroomde warmte, 2^o met het temperatuurverschil der beide lichamen tusschen welke de warmte zich beweegt en 3^o met een factor, die afhankelijk is van de temperatuur van het warmste lichaam, en die men CARNOT's functie noemt. Bij de van stroomend water verkregen arbeid komt de met CARNOT's functie overeenkomstige grootheid niet in aanmerking.

Uitdrukkelijk werd door CARNOT gezegd, dat de warmte niet verloren gaat, dat dus in het koude lichaam al de warmte teruggevonden wordt, die het warme verlaten heeft.

De schitterende wiskundige resultaten, die met behulp van CARNOT'S theorie verkregen werden, waren wel in staat om vertrouwen in haar te wekken en dus de gedachte veld te doen winnen, dat warmte een onvergankelijke materie was; want al werd dit niet nadrukkelijk op den voorgrond gesteld, de theorie was in grond en wezen materialistisch.

Gelukkig evenwel is de wiskundige geslotenheid van een theorie slechts voor weinigen een voldoende bekoering om er zich voor altijd in te laten verstrikken; en zoo stonden er van tijd tot tijd toch nog mannen op, die volhielden, dat de warmteverschijnselen alleen dan voldoende verklaard konden worden, als men aannam, dat zij haren grond hadden in een beweging van de moleculen der lichamen. Door hen, die die meening waren toegedaan, werd nu niet meer geschermd met filosofische argumenten, maar zij zochten het proefondervindelijke bewijs te leveren, dat warmte kon *ontstaan* in een lichaam onder omstandigheden, waarbij toevoer van buiten was uitgesloten; dat bewijs moest natuurlijk de stoffelijke theorie voor goed uit het strijdpark dringen.

Twee proeven met het bovengenoemde doel gedaan, zijn beroemd gebleven: die van RUMFORD, welke in de kanongietery te Munchen 19 pond water aan de kook bracht door middel van de warmte ontstaan bij het boren van een stuk geschut, en die van DAVY, bij welke in een luchtledige ruimte twee stukken ijs gesmolten werden alleen door ze tegen elkander te doen wrijven.

Had RUMFORD een zeer eenvoudige contrôleproef niet verzuimd, en had DAVY wat strenger geredeneerd bij de gevolgtrekkingen, die hij maakte, dan zoude aan hen beiden de eer toekomen de onstoffelijke natuur der warmte bewezen te hebben.

Al mogen wij hun nu die eer niet geven, toch moeten wij in hun proeven kostbare vingerwijzingen zien, die anderen zich ten nutte maakten bij den verderen opbouw der warmtewetenschap; en, waar de namen van de grondvesters der thermodynamika genoemd worden, mogen de hunne allermint ontbreken. JOULE was met beider arbeid bekend en zijn eigen werk bleef dus niet vrij van den invloed, dien die kennis moest uitoefenen. Maar noch door DAVY, noch door RUMFORD was zelfs maar het vermoeden geopperd, dat warmte een æquivalent in arbeid had, dat warmte dus gemeten kon worden met arbeidsmaat. Hun streven was het veel meer het *wezen* der warmte te doorgronden. Gesteld, dat door hun proeven overtuigend ware gebleken,

dat warmte geen stof is, maar dat de warmteverschijnselen op de eene of andere wijze met beweging der moleculen samenhangen, dan zou de wetenschap daarmede ongetwijfeld een schrede voorwaarts gedaan hebben. Maar het geheim van het wezen der warmte zou daarmede niet ontsluitend geworden zijn; veel minder zou er door gewettigd worden zijn de dwaze uitspraak, die men zelfs nu nog wel eens hoort: *Warmte is beweging*.

Beweging op zichzelf immers is geen meetbare grootheid; wel zijn er verschillende quantitatieve begrippen, die met het begrip beweging in verband staan, zooals snelheid, bewegingshoeveelheid, bewegingsenergie; met welke van die allen nu warmte gelijksoortig is en met welke zij dus metend vergeleken kan worden, blijft nog een open vraag, al is in het algemeen vastgesteld, dat warmte met beweging iets te doen heeft. Wat de wetenschap boven alles noodig had was de kennis van de eene of andere welbekende physische grootheid, waarmede warmte æquivalent is; de kennis van haar aard en wezen zou dan wel van zelf volgen.

Het is nu deze dringende eisch, dien JOULE vervulde, toen hij als æquivalent der warmte arbeid vond. Hij deed deze ontdekking niet, geleid door den gedachtengang van voorgangers, maar uitsluitend door de glasheldere logika, waarmede hij uit zijn eigene proeven besluiten trók, en die besluiten weer tot het uitgangspunt maakte van nieuwe proevenreeksen. Zoo schijnt het, wanneer men zijne eerste verhandelingen doorleest, alsof hij zonder inspanning en strijd, geleidelijk naar zijn onsterfelijk resultaat als het ware werd heen gelokt. Daarin ligt zijn genialiteit.

In vele opzichten doet JOULE ons aan FARADAY denken. Ook bij hem vinden wij die bewonderenswaardige samenwerking van brein en handen, dat denkend experimenteeren en experimenteërend denken, dat zijn grooten landgenoot kenmerkt; en ook bij hem diezelfde wiskundige gedachtengang, die wiskundige *symbolen* kan missen, en waarbij de *physische* grootheid nooit uit het oog verloren en nooit begraven wordt onder *mathematische* vormen.

Men zou nu allicht meenen, dat, waar JOULE moeite had om het gros van zijn tijdgenooten te overtuigen van de waarde en de juistheid van zijn beschouwingen, hij althans bij FARADAY een open oog voor beiden moest gevonden hebben. Een feit is het echter, dat FARADAY hem afried om zijn groote verhandeling van 1843 »*On the caloric Effects of Magneto-Electricity and on the Mechanical value of heat*», aan de

»Royal Society», de engelsche Academie van Wetenschappen, aan te bieden; die verhandeling verscheen dan ook niet in *Philosophical Transactions* maar in het *Philosophical Magazine*.

Misschien is dat gebrek aan waardeering een gevolg van een zekere dorheid in de wijze van voorstellen, die de genoemde verhandeling kenmerkt en die haar, volgens TYNDALL, tot zulk een taaie lectuur maakt; gedeeltelijk moet het zeker ook op rekening worden gesteld van de omstandigheid, dat het onderwerp niet lag binnen den kring van die, welke toen juist het meest de aandacht bezig hielden, dat het niet in de mode was.

In het jaar 1843 vergaderde de »British Association» te Cork; daar trachtte JOULE voor zijn arbeid eenige belangstelling te wekken, maar het bleek vergeefsche moeite. Het is den leden ook zoo heel kwalijk niet te nemen, dat zij, te midden van de gezelligheid en de feesten van het congres, niet gestemd waren om de paarden te zoeken, die verscholen mochten zijn in een langdradig stuk, dat door een tamelijk onbekenden 25jarigen jongen man werd voorgelezen.

Maar gelukkig liet JOULE zich niet ontmoedigen; hij zelf twijfelde geen oogenblik aan de waarde van zijn ontdekking, en terwijl hij plannen maakte voor nauwkeurige bepalingen van het mechanische warmte-æquivalent, verwerkte hij in zijn geest het reeds verkregen resultaat, en vermeide zich in de nieuwe gezichtspunten, die het hem voor de beschouwing van het onderling verband der natuurkrachten opende.

Het woord »energie» of »arbeidsvermogen» werd natuurlijk nog niet gebruikt in den modernen zin. Het is juist JOULE geweest, die het tijdperk opende, waarin dit begrip de natuurwetenschap meer en meer ging beheerschen; hij gebruikt dan ook het woord »kracht», dat nog langen tijd daarna gediend heeft om datgene aan te duiden, wat tegenwoordig energie genoemd wordt; dat het weifelend gebruik van eenzelfde woord, ter aanduiding van twee hemelsbreed verschillende dingen verwarring moest stichten, is duidelijk; de warmte-wetenschap kon dan ook eerst vrij de wieken uitslaan, nadat het nieuwe begrip gekristalliseerd was in een nieuw woord.

Maar, wanneer wij de van ons standpunt min of meer gebrekkig schijnende wijze van uitdrukken over het hoofd zien, dan verwonderen wij ons hoe diep JOULE reeds in 1843 was doorgedrongen in de kennis van het behoud van arbeidsvermogen. Hij ziet b. v. een bepaalde hoeveelheid energie in een stuk steenkool, in een pond zink; hij ziet

in het eerste geval dat arbeidsvermogen zich omzetten in warmte en die warmte veranderen in arbeid, daarbij het oog hebbende op het stoomwerktuig; wat het zink aangaat, hij ziet het door bemiddeling van den galvanischen stroom warmte leveren en mechanischen arbeid of chemische energie, al naarmate wij den stroom leiden in motoren of door elektrolytische cellen; en volkomen duidelijk is het aan JOULE, dat hier slechts omzetting plaats heeft zonder winst en ook zonder verlies.

Als hem door iemand gevraagd wordt of de warmte van het bloed niet misschien haar oorzaak heeft in de wrijving tegen de vaatwanden, antwoordt hij, dat dat gedeeltelijk althans waar moet zijn, maar, dat daarbij niet vergeten moet worden, dat het vermogen om die wrijving te overwinnen door het bloed verkregen is uit de scheikundige energie, die het verbruikte voedsel bezat, en dat dus in laatste instantie de geheele bloedwarmte denzelfden oorsprong heeft. »Maar indien het dier bezig was met het in beweging brengen van een machine of met het beklimmen van een berg, dan vermoed ik, dat in verhouding tot de spierkracht, die daarbij wordt aangewend, een vermindering zou worden waargenomen in de warmte, die door een gegeven scheikundige werking in het lichaam wordt ontwikkeld.»

Men ziet uit deze laatste, letterlijk vertaalde, zinsnede, dat slechts de nieuwere uitdrukkingwijze er aan ontbreekt om JOULE's denkbeelden volkomen modern te doen zijn.

Het zij mij vergund nog enkele regelen van JOULE weér te geven; zij geven een goed denkbeeld van de smijdigheid, waarmede zijn geest zich wist te plooiën, wanneer nieuwe feiten hem drongen om geliefkoosde meeningen op zijde te zetten, en tevens van de frischheid waarmede zijn verbeeldingskracht zich van die feiten meester maakte tot het scheppen van een voorstelling van wat er in de verborgen werkplaats der natuur, in de atomenwereld, plaats heeft.

»Ik wil ten slotte opmerken, dat de proeven in dit opstel beschreven niet in strijd zijn met de meeningen, die ik vroeger had omtrent den elektrischen oorsprong der scheikundige warmte; wel worden zij er door gewijzigd. Vroeger had ik getracht te bewijzen, dat, wanneer twee atomen zich met elkander verbinden, de ontwikkelde warmte juist dezelfde is, die zou ontwikkeld zijn door den galvanischen stroom, die door die scheikundige werking zou kunnen ontstaan, en dat zij daarom evenredig is met de intensiteit van de chemische kracht, die de atomen dringt om zich met elkander te ver-

binden. Ik waag het nu meer bepaaldelijk te verklaren, dat het niet juist de aantrekking der affiniteit is, maar veeleer de mechanische kracht, door de atomen besteed bij het naar elkander toe vallen, waardoor de intensiteit van den stroom en dus de hoeveelheid ontwikkelde warmte bepaald wordt; zoodat wij een eenvoudige hypothese hebben, waarmede wij kunnen verklaren waarom warmte zoo overvloediglijk ontstaat bij de verbinding van gassen, en waarmede wij ook rekenschap kunnen geven van »latente warmte'', als haar oorzaak hebbende in een mechanische kracht gereed tot werken, evenals een opgewonden horologeveer. Stel, om een voorbeeld te geven, dat acht pond zuurstof en een pond waterstof in elkanders nabijheid werden gebracht in den gasvormigen toestand en dan ontploften, dan zou de ontwikkelde warmte ongeveer één graad FAHRENHEIT op 60 000 pond water bedragen, aanwijzende, dat bij de verbinding een mechanische kracht van 50.000 000 voetponden verbruikt is. Indien nu evenwel de zuurstof en de waterstof in den vloeibaren toestand tot vereeniging gebracht konden worden, dan zou de verbindingswarmte minder dan te voren zijn, omdat de atomen bij de verbinding over kleiner ruimten zouden vallen. De hypothese is, dat beken ik, op het oogenblik vrij oppervlakkig; maar ik verbeeld mij, dat wij eenmaal in staat zullen zijn alle verschijnselen der scheikunde onder numerieke wetten te brengen, zoodat wij het bestaan en de eigenschappen van nieuwe verbindingen zullen kunnen voorspellen."

Wederom slechts eene geringe verandering in de wijze van uitdrukken, en wij hooren den leerling van DALTON in 1843 de taal der allerjongste wetenschap spreken.

In hetzelfde jaar verhuisde de vader van JOULE naar Oakfield, een ander huis in de buurt van Manchester gelegen. Daar werd voor hem een ruim laboratorium gebouwd en nu kon hij op grooter schaal dan vroeger zijn onderzoekingen voortzetten; maar in de kleinere inrichting op Pendlebury had hij den grooten arbeid zijns levens verricht; wat hij later deed was slechts een bevestiging en uitbreiding daarvan.

Hij begon nu een reeks bepalingen van het mechanisch æquivalent; zijn plan was om de warmte te meten, die ontstaat, wanneer lucht met behulp van een persomp wordt samengeperst. Dat bij dat samenpersen arbeid verricht wordt, en dat die arbeid gemakkelijk uit de op ieder oogenblik door de lucht uitgeoefende drukking en uit de grootte en het aantal der zuigerslagen kan gemeten worden, is duidelijk. Maar zal *al* de warmte uit *dien* arbeid ontstaan?

Wanneer wij ons JOULE's beschouwing herinneren naar aanleiding van de verbindingswarmte van vloeibare en gasvormige lichamen, dan begrijpen wij, dat hij die onderstelling onmogelijk *a priori* maken kon. Ook wanneer een gas samengeperst wordt naderen de deeltjes elkander; nu was het niet alleen mogelijk, maar zelfs waarschijnlijk, dat een deel van de ontstane warmte moest op rekening gesteld worden van aantrekkende krachten, die de moleculen onderling op elkander uitoefenen, en die bij dat naderen arbeid verrichten; maar toch bleef de mogelijkheid niet uitgesloten, dat die arbeid klein genoeg was om verwaarloosd te mogen worden. Het kon onderzocht worden.

Gesteld, dat wij een zekere hoeveelheid sterk samengeperste lucht vergunnen om zich te verdeelen over een veel grootere ruimte, door het vat, waarin zij zich bevindt, plotseling in verbinding te stellen met een ander luchtleedig vat, dan wordt daarbij geen zoogenaamde uitwendige weerstand overwonnen, daar de zich uitzettende lucht geen andere lucht op zijde behoeft te dringen. Maar, oefenen de luchtdeeltjes aantrekking op elkander uit, dan wordt wel *die* aantrekking overwonnen; daartoe is arbeid noodig, en, daar die arbeid niet van buiten geleverd wordt, moet een zekere hoeveelheid warmte als æquivalent opgeofferd worden: het gas zal kouder worden. JOULE deed de proef en zij gaf een negatieve uitkomst, met andere woorden: de hoeveelheid verloren gegane warmte bleek zoo klein te zijn, dat zij zich onttrok aan de waarneming, niettegenstaande hij nu thermometers had laten maken, die in gevoeligheid alle te voren vervaardigde in de schaduw stelden.

Na dat voorloopige onderzoek mocht aangenomen worden, dat de bij samenpersing van lucht ontstane warmte uitsluitend haar æquivalent had in den aan de samenpersing ten koste gelegden arbeid.

Het is onnoodig in de bijzonderheden der proefneming te treden, de algemeene gang van het onderzoek zal uit het voorgaande genoegzaam duidelijk zijn. JOULE vond als gemiddelde uitkomst van vele proeven 798 voetponden.

Het is hier de plaats om een enkel woord te zeggen over een man, wiens naam boven slechts in 't voorbijgaan genoemd is, toen een korte schets van de geschiedenis der warmteleer gegeven werd.

ROBERT JULIUS MAYER wordt dikwijls in één adem met JOULE genoemd, wanneer er sprake is van het mechanische warmte-æquivalent, en er is een zelfs nu nog niet geëindigde strijd ontstaan over het aandeel, dat MAYER aan de ontdekking er van heeft gehad. Die strijd

wordt van sommige zijden gevoerd met een bitterheid, die men met de waardigheid der wetenschap onbestaanbaar zou achten.

De zaak is deze:

Een paar jaar vóór JOULE had werkelijk MAYER, die arts te Heilbronn en een buitengewoon scherpzinnig man was, geleid door theoretische maar zeer vernuftige bespiegelingen, de warmte voorgesteld als arbeidsvermogen. Hij had zelfs het mechanische æquivalent bepaald met behulp van een berekening, die hij moest gronden op tamelijk onjuiste gegevens; hij moest dat doen om de eenvoudige reden, dat er geen betere waren en hij niet in de gelegenheid was om zich langs experimenteelen weg juistere te verschaffen. Hij leidde uit die gegevens af, hoeveel een gas moet afkoelen, als het, de buitenlucht op zijde dringende, en dus arbeid doende, zich uitzet; en zoo kwam hij tot zijn resultaat langs een weg, die met den door JOULE ingeslagenen en boven beschrevenen eenige overeenkomst heeft; althans beider gedachtingang is nagenoeg dezelfde. Maar MAYER nam zonder bewijs aan, dat de bij de uitzetting van een gas verrichte arbeid *alleen* bestaat in den uitwendigen arbeid noodig voor het wegdringen van de dampkringslucht, dat dus slechts de weerstand overwonnen moet worden, dien het gas ondervindt als het zich de grootere ruimte op de dampkringsdrukking moet veroveren. Hij dacht zelfs niet aan de mogelijkheid, dat er ook inwendigen arbeid te verrichten kon zijn om de moleculen tegen hun onderlinge aantrekking in, van elkander te verwijderen. Daarom mist MAYER's betoog een streng logischen grondslag. Al verdienen zijn groote oorspronkelijkheid en scherpzinnigheid bewondering, al moet erkend worden, dat hij, die niet tot het gilde der eigenlijke natuurkundigen behoorde, zijn tijd vooruit was, toch mag van hem niet gezegd worden, dat hij de leer van de æquivalentie tusschen arbeid en warmte onwrikbaar heeft vastgesteld, zooals JOULE.

MAYER heeft zijn verhandeling over de arbeidswaarde der warmte geplaatst in een door natuurkundigen weinig gelezen tijdschrift, en wat JOULE op hetzelfde gebied verricht heeft bleef geheel buiten zijn invloed.

Waarschijnlijk ook ten gevolge van de weinige erkenning, die zijn groote verdiensten vonden, is MAYER krankzinnig geworden; maar van die ziekte is hij later gelukkig hersteld. Langzamerhand werden intusschen zijn geschriften bekend, en, toen het bleek, dat die overvloeden van oorspronkelijke gedachten, en tevens de schrijver door zijn tragisch lot belangstelling wekte, maakte TYNDALL in een edel-

moedige opwelling er een eerezaak van, MAYER in zijn rechten te doen erkennen; in het enthousiasme, dat hem kenmerkt wanneer hij eens een zaak ter harte heeft genomen, gaf hij misschien aan MAYER wel iets meer dan hem toekwam, en dat ten koste van JOULE. Bij deitsche geleerden vond hij, om te begrijpen redenen, warmen bijval, en dat lokte bij sommige Engelschen een reactie uit, die zich vooral uitte bij monde van den warmbloedigen TAIT, die zoo ver gaat, dat hij geen gelegenheid ongebruikt laat om MAYER te verkleinen.

Over dien onverkwikkelijken strijd behoeft niets meer gezegd te worden; hij behoort verder niet tot ons onderwerp; maar een onpartijdig onderzoek moet m. i. tot de erkenning leiden, dat, al wegen de talenten van MAYER en JOULE volkomen tegen elkander op, ja, al is de eerste misschien een grooter genie geweest, JOULE en JOULE *alleen* de grondvester is van de leer van het mechanisch warmte-equivalent.

In 1847 volbracht hij voor het eerst de klassieke bepaling van dat equivalent, bij welke hij een van vleugels voorziene as in een water-calorimeter liet ronddraaien, als drijfkraft gebruik makend van neerdalende gewichten; van vele proeven, bij sommigen van welke olie in plaats van water gebruikt werd, vond hij als gemiddelde 782 voetpond voor één graad Ft. per pond water.

In dat jaar vergaderde het Britsch Genootschap te Oxford. JOULE rekende er stellig op in zijn sectie nu een aandachtig gehoor voor zijn verhandeling te zullen vinden; maar, zoodra de voorzitter hem het lijvige stuk uit den zak zag halen, sloeg de schrik dezen om het hart, en gaf hij aan het geachte lid beleefdelyk in overweging om in een korte mondelinge mededeeling het verslag van zijn ongetwijfeld belangrijken arbeid samen te vatten. De voordracht wekte dezen keer veel belangstelling; FARADAY o. a., zonder nog tot volkomen instemming te geraken, was er zeer door getroffen. Toen de vergadering gesloten was, kwam een jongmensch zich aan JOULE voorstellen en maakte naar aanleiding van zijne mededeeling eenige schrandere opmerkingen. Die jonge man was WILLIAM THOMSON, toen juist de universiteit te Cambridge verlaten hebbend, thans sedert lang onbetwist het hoofd der Engelsche natuurkundigen. Deze, wat zijn opvattingen omtrent de betrekking tusschen warmte en arbeid betreft, nog onder den uitsluitenden invloed van CARNOT staande, was, toen JOULE sprak, eerst geneigd dezen voor een weetniet te houden, wien de allereerste beginselen der warmteleer onbekend waren; hij nam

zich zelfs voor om, zoodra de spreker gedaan zou hebben, op te staan en hem eens onder handen te nemen. Maar, kort als de voordracht was, zij duurde lang genoeg om THOMSON al luisterend tot het besef te brengen, dat het ongelijk aan zijne zijde geweest was en dat, al verkondigde JOULE een stelling, die met de leer van CARNOT niet in alle opzichten te rijmen was, hij met een nieuwe en zeer belangrijke waarheid optrad; dat de theorie van CARNOT zich naar die JOULE zou hebben te plooiën en niet omgekeerd.

De beide mannen brachten dien avond samen in een opgewekte discussie door, en werden voor het leven vrienden. JOULE hielp voortaan bij zijn menig onderzoek THOMSON met zijn scherp oog en zijn vaardige hand, en deze steunde weder hem met de toovermacht van zijn wiskundig genie. Een groot aantal onderzoekingen is zoo door hen samen volbracht.

Het is kenschetsend voor het weinig expansieve van het engelsche karakter, dat bij dat eerste samenzijn te Oxford JOULE verzuimde aan zijn nieuwen vriend mede te deelen, dat hij bruidegom was en over eenige dagen ging trouwen. Niet weinig verbaasd was dan ook THOMSON, toen hij eenige weken later op een zwitsersch reisje hem ontmoette in gezelschap van een dame, die hem voorgesteld werd als mevrouw JOULE, voorheen Miss AMELIA GRIMES.

De genoegens der wittebroodsweken evenwel hadden JOULE het onderwerp niet uit de gedachten gebracht, dat hem reeds zoolang vervulde; THOMSON zag in zijn hand een langen thermometer, waarmede hij zeide de juistheid te willen onderzoeken van een gevolgtrekking, die hij uit zijn theorie afleidde en hierin bestond, dat water aan den voet van een waterval warmer moest zijn dan het was vóór den val, daar de snelheid plotseling verminderde, en voor het daaraan beantwoordende verlies aan arbeidsvermogen warmte als æquivalent moest ontstaan. THOMSON was gaarne bereid hem daarbij te helpen, en zoo sloot hij zich voor dien dag bij het jonge paar aan. De kennismaking met mevrouw JOULE werd in Engeland hervat en THOMSON bracht later, als hij met haren echtgenoot gemeenschappelijk arbeidde, vele dagen onder hun gastvrij dak door.

Het huiselijk geluk van JOULE duurde helaas slechts weinige jaren; zijn vrouw stierf in 1854, nadat twee kinderen, een zoon en een dochter uit hun echt geboren waren.

In hetzelfde jaar werd de brouwerij verkocht, en sedert dien tijd leefde JOULE nog slechts in zijn laboratorium.

In 1849 deed hij een nieuwe, zeer nauwkeurige bepaling van het mechanisch æquivalent volgens dezelfde methode als in 1847. Al zijne tot nu toe gedane waarnemingen samenvattende, kwam hij tot de slotsom, dat de waarschijnlijkste waarde 772 voetpond bedroeg, altijd per graad Fahrenheit en per pond water. De verhandeling, waarin het onderzoek beschreven was, werd aan de Royal Society aangeboden door niemand minder dan FARADAY en geplaatst in de *Philosophical Transactions* van 1850. Toen beschouwde JOULE met betrekking tot de arbeidswaarde der warmte zijn taak als volbracht; met de hem ten dienste staande hulpmiddelen kon hij niet hopen grootere nauwkeurigheid te bereiken.

Toch kwam hij er veel later nog éénmaal toe den arbeid te hervatten. Dat was in 1878, en de aanleiding er toe was deze. Het Britsch Genootschap had een commissie benoemd om een standaard voor galvanischen weerstand vast te stellen; de onderzoekingen, die daartoe moesten volbracht worden, leidden tot de kennis van gegevens, uit welke, al hadden zij ook *direct* slechts betrekking op den galvanischen stroom, toch *indirect* een nieuwe waarde voor het æquivalent kon afgeleid worden.

JOULE, die zelf in de werkzaamheden der commissie een belangrijk aandeel had, vond op die wijze 782,5 voetponden; het verschil met de door hem vroeger gevonden waarde was veel te groot om over het hoofd gezien te mogen worden; er moest òf een fout schuilen in zijn vroegere proeven òf de nieuw vastgestelde weerstandseenheid voldeed niet aan de voorwaarden, die zij krachtens haar definitie te vervullen had. Om in dit alternatief tot een beslissing te komen, ontving JOULE de opdracht om, met geldelijken steun van het Britsch Genootschap, een nieuwe en uiterst nauwkeurige bepaling van J te volbrengen, met welke letter, ter herinnering aan den ontdekker, het mechanisch æquivalent steeds wordt aangeduid.

Het ligt buiten het bestek van dit opstel om in de vele details van dit nieuwe onderzoek te treden; alleen moge gewezen worden op het allervoornaamste punt, waarin de aangewende methode van de vroeger gevolgde en in ieder leerboek beschrevene verschilt. Werd te voren de van vleugels voorziene as door middel van dalende gewichten in den calorimeter rondgedraaid, nu werd de voor het draaien van de as gebruikte arbeid niet onmiddellijk gemeten; daarentegen was de calorimeter zelf om een vertikale as gemakkelijk draaibaar en werd hij door een er omheen geslagen en met behulp

van gewichten gespannen koord verhinderd om de beweging van de vleugels en het water te volgen; uit de spanning, die daartoe noodig was, uit den omtrek des calorimeters en het aantal volbrachte omwentelingen kon dan de gedane arbeid gemakkelijk berekend worden. JOULE werd bij de proeven bijgestaan door zijn zoon. De gevonden, en thans algemeen aangenomen, waarde voor *J.* is 772,55, als bij alle in aanmerking komende grootheden voeten, ponden en graden Fahrenheit als maateenheden worden ten grondslag gelegd. Nemen wij in de plaats daarvan als eenheden aan: kilogrammen, meters en graden Celsius, dan komt het resultaat hierop neer, dat met de warmte noodig om een kilogram water van 0° tot 1° te verwarmen een arbeid van 424 kilogrammeters overeenkomt. De nieuwe waarde verschilt zoo weinig van de oudere, dat in het bovengenoemde alternatief stellig niet ten nadeele van JOULE beslist kon worden.

Nu omtrent het mechanische warmte-*æquivalent* gezegd is wat binnen de gestelde perken kon besproken worden, is tevens de maat gegeven voor JOULE's grootheid. Niet dat door hem geen andere en zeer belangrijke onderzoekingen zouden volbracht zijn; afgezien van wat hij deed als grondvester van de nieuwere warmtetheorie, zouden zijn overige bijdragen tot de vermeerdering onzer kennis hem reeds stemmen tot een eminent natuurkundige. Maar alleen de ontdekking van het warmte-*æquivalent* heeft hem aanspraak gegeven om genoemd te worden onder de grootste mannen van zijn land en zijn tijd. Wien dit wat overdreven mocht voorkomen en wien het mocht toeschijnen, dat de hoogste roem op natuurkundig gebied moet bewaard blijven voor de meer in het oog vallende persoonlijkheden, die de bewonderenswaardige *praktische* uitvindingen deden, door welke onze maatschappij als hervormd is, die herinnere zich, dat de grootste vlucht van de technische toepassing der natuurkunde juist dateert van den tijd, dat de wet van het behoud van arbeidsvermogen erkend werd; en hij bedenke, hoe b.v. de volkomenheid der hedendaagsche elektrotechniek ondenkbaar zou zijn, als voor haar niet in laboratorium en studeervertrek het stevige fundament gelegd was van de leer der energie; die leer nu is, wat de grondslagen betreft, bijna volledig in JOULE's arbeid neergelegd.

Het zou ons te ver voeren, wilden wij een overzicht geven, hoe beknopt ook, van al wat er belangrijks en oorspronkelijks voorkomt in de twee lijvige deelen, waarin zijn verhandelingen vereenigd zijn; geen natuurkundig onderwerp is door hem aangevat, waarop hij niet

van de een of andere zijde een nieuw licht heeft geworpen, zij het door een op eigen proeven gegronde vernuftige hypothese, zij het door het verbeteren der instrumenteële hulpmiddelen bij het onderzoek. Van één arbeid, door hem en THOMSON gezamenlijk verricht, moet evenwel een kort verslag gegeven worden, omdat hij in een zeer nauw verband staat met de æquivalentie tusschen warmte en arbeid, en in zekeren zin den sluitsteen levert voor het door JOULE opgerichte gebouw.

Wij hebben vroeger gezien, dat ook CARNOT het verband tusschen warmte en arbeid onderzocht had en dat ook hij tot een wet was gekomen. Wat blijft er van die wet over, wanneer zij bezien wordt in het licht der nieuwe theorie? Die vraag stelde zich THOMSON. Het bleek hem, dat zij een groote waarheid behelst, wanneer men slechts CARNOT's onwezenlijke en onjuist gebleken toevoeging weglaat, dat n. l. de tot het verrichten van arbeid dienende warmte in hoeveelheid onveranderd blijft. Wanneer men aan JOULE's theorie vasthoudt, kan CARNOT's wet ongeveer aldus worden uitgesproken: Gesteld, dat bij het gebruik van een calorische machine warmte van een warmer naar een kouder lichaam wordt overgebracht en daarbij *zooveel mogelijk* in arbeid wordt omgezet; bij zulk een volmaakte machine verhoudt zich de hoeveelheid warmte, die het warmste lichaam verlaat, tot die, welke onomgezet in het koudste aankomt, als de temperatuur van het warme lichaam tot die van het koude, mits die temperaturen niet van het gewone nulpunt van Celsius gerekend worden, maar van een temperatuur die ongeveer 273 graden C. onder het vriespunt ligt. Het blijkt hieruit, dat de in arbeid omgezette en dus verdwenen warmte evenredig is met het temperatuurverschil, en, bij gelijk verschil, een des te grooter breukdeel zal zijn van de geheele hoeveelheid overgestroomde warmte, naarmate de beide lichamen kouder zijn.

Nu is het begrip van temperatuur moeilijk juist te omschrijven; verschillende kwikthermometers toch, al geven zij het vriespunt en het kookpunt juist aan, zullen bij andere temperaturen in het algemeen van elkander afwijkende aanwijzingen doen; dat is een gevolg van verschillen in de eigenschappen der glassoorten, waarvan zij gemaakt worden; veel meer overeenstemming, maar nog geen volkomene, vertoonen in dat opzicht luchtthermometers, bij welke een temperatuursverhooging gemeten wordt met behulp van de drukvermeerdering, die een opgesloten gas bij verwarming ondergaat.

Nu zag THOMSON in, dat de gewijzigde wet van CARNOT, aan welke

door het min of meer zwevende van het begrip temperatuur een zekere onbestemdheid moest eigen zijn, kon dienstbaar gemaakt worden aan het vaststellen van een absolute temperatuurschaal, die geheel onafhankelijk zou zijn van den aard der thermometrische stof; men behoefde haar slechts om te keeren en de verhouding van twee temperaturen te definieeren als volgt: de warmtegraden van de beide lichamen, die bij een volmaakte calorische machine warmte afstaan en opnemen, verhouden zich als de afgestane en opgenomen hoeveelheden warmte. Stelt men daarenboven het verschil van de gewoonlijk vries- en kookpunt genoemde temperaturen op 100 schaaldeelen, dan zijn de warmtegraden der beide bovengenoemde lichamen ondubbelzinnig bepaald; zij kunnen door twee cijfers worden uitgedrukt, van welke immers de verhouding en het verschil gegeven zijn. Dat daarmede de temperatuur van ieder ander lichaam even ondubbelzinnig bepaald is, behoeft wel niet nader uiteengezet te worden.

Het kwam er nu slechts op aan volgens deze zoogenaamde absolute temperatuurschaal een thermometer te verdeelen, of, wat op hetzelfde neerkomt, een tabel te maken, in welke, naast de door een bepaalden thermometer aangegeven temperaturen, de overeenkomstige absolute warmtegraden stonden vermeld. Proeven met calorische machines waren daartoe onnoodig; er zijn gegevens genoeg bekend, om, zonder afzonderlijke proefneming, in den geest een volmaakte luchtmaschine van stap tot stap in haar werking te kunnen volgen. Alleen één punt moest beter dan te voren worden vastgesteld, nl. of zonder voorbehoud mocht worden aangenomen het door JOULE verkregen resultaat, dat bij het uitzetten van een gas *alleen* warmte wordt besteed tot het verrichten van uitwendigen arbeid; wij hebben reeds gezien, hoe JOULE daartoe gekomen was door de temperatuur na te gaan van een zich vrij uitzettende hoeveelheid lucht, terwijl MAYER het zonder bewijs had aangenomen. Voor THOMSON'S doel was evenwel een scherper onderzoek noodzakelijk; en daartoe verbond hij zich met JOULE. De gevolgde methode liet een groote nauwkeurigheid toe; zij bestond in hoofdzaak hierin, dat een stroom gas geperst werd door een buis, in welke zich een vernauwing of een poreuse prop bevond; wanneer nu een standvastige strooming verkregen was, werd de temperatuur vóór en achter de vernauwing bepaald. Achter de vernauwing had het gas natuurlijk een kleinere dichtheid dan daarvoor; behelsde nu MAYER'S onderstelling waarheid, dan moest het uittredende gas even warm zijn als het instroomende; was dat zoo niet, zooals werkelijk bleek, dan kon uit

het temperatuurverschil afgeleid worden, hoeveel warmte bij het uitzetten van een gas aan inwendigen arbeid besteed werd; en daarmee was de eenige grootheid bekend, die voor het vaststellen der absolute temperatuurschaal nog noodig was. Er werden tal van proeven met verschillende gassen en ook met stoom gedaan, en het onderzoek werd voortgezet totdat er een eind aan gemaakt werd door de bureu, die, slechts matig ingenomen met een wetenschap, die hun rustige rust verstoorde, JOULE met een proces dreigden, zoo hij zijn stoommachine niet buiten werking stelde.

Deze arbeid »Over de warmteverschijnselen, die gepaard gaan met vloeistofbeweging», is een der schoonste monumenten van THOMSON's ongeëvenaarde denkkraacht en tevens van JOULE's bekwaamheid in het overwinnen van experimenteele moeielijkheden en van zijn virtuositeit in het hanteeren van physische meetwerktuigen. De uitkomst van het onderzoek was, dat de absolute temperatuurschaal slechts weinig verschilt van de door den luchtthermometer geleverde.

In 1872 reeds was het voor de wetenschappelijke wereld in Engelen geheim, dat de gezondheid van JOULE aan het wankelen was; hij was voor dat jaar gekozen tot voorzitter van het Britsch Genootschap, maar hij moest om zijn zwak gestel voor de eer bedanken. In de laatste jaren leefde hij zeer teruggetrokken, zich in zijn laboratorium wijddende aan onderzoekingen, die geen lichamelijke inspanning vorderden, en zich verder bezighoudende met het in orde brengen van zijne volledige werken, die door het Londensch Natuurkundig Genootschap zouden uitgegeven worden.

Hij was trouwens nooit een publiek man geweest in den gewonen zin van het woord; ambten had hij niet bekleed en in het openbaar was hij bijna nooit opgetreden; hij verkoos de kalmte van zijn huis en de rust van zijn werkplaats boven de rumoerigheid van vergaderingen en congressen. Voor één genootschap had hij hart; dat was voor het natuurkundig gezelschap te Manchester, in welks vertrekken hij DALTON's lessen had gehoord. In 1842, in den tijd van zijn grootste ontdekkingen, was hij lid geworden, en tot zijn dood toe vervulde hij bij afwisseling de betrekkingen van secretaris, vice-president en voorzitter; hij gevoelde er zich geheel op zijn plaats en genoot er de liefde en vereering van alle leden.

Heeft hij geen openbare eerbewijzen gezocht, hij ontving ze in ruime mate; bij vele universiteiten was hij eershalve doctor en van vele geleerde genootschappen in Engeland en daarbuiten eerelid.

Hij was lid van de *Royal Society* en ontving van deze in 1852 de koninklijke medaille en in 1870 de Copley-medaille, een der hoogste onderscheidingen, die aan eenigen geleerde kunnen te beurt vallen. In 1872 berichtte hem Lord BEACONSFIELD, dat H. M. hem een jaargeld van 200 L. had toegekend. Voor deze bewijzen van erkenning van zijn werk toonde hij zich steeds zeer gevoelig en dankbaar.

Toen in Oktober van het vorige jaar de mare van JOULE's dood in wetenschappelijke kringen een diepe ontroering veroorzaakte, uitte zich in Engeland eenstemmig de wensch, dat hij mocht rusten te midden van de groote helden, denkers en dichters zijns volks, in de Westminster Abdij. Aan dat verlangen kon niet voldaan worden, omdat de bekendmaking van het overlijden om bepaalde redenen uitgesteld en in dien tijd van uitstel de termijn verstreken was, binnen welke vergunning tot een begrafenis in de Abdij kon verleend worden. Toch zal onder de bogen van dat Pantheon, die zich welven boven de asch van Englands grootste zonen, het borstbeeld geplaatst worden van den man, die aan de wereld heeft doen kennen de grootste en meest omvattende wet der stoffelijke natuur, van JAMES PRESCOTT JOULE, den ontdekker van de wet van het behoud van arbeidsvermogen.
