

# HERINNERINGEN UIT DEN VACANTIE-CURSUS

TE AMSTERDAM.

DOOR

Dr. J. J. LE ROY.

---

(Vervolg van bladz. 240)

Na zoolang stilgestaan te hebben bij de thermodynamica en de kinetische molecuulairtheorie, gaan wij over op het gebied der lichttheorie, waartoe prof. ZEEMAN — de thans algemeen bekende ontdekker van het naar hem genoemde spectrale verschijnsel — eene belangwekkende bijdrage leverde.

»Anomale voortplanting van lichtgolven», zoo stond de bijdrage op de lijst der werkzaamheden aangekondigd.

Wat zijn lichtgolven en waarin bestaat de bedoelde afwijking van de gewone wijze van voortplanting?

In het elementaire onderwijs wordt de leer van het licht ingeleid met de volgende beschouwing. Tusschen het oog van den waarnemer en eene lichtbron worden eenige ondoorschijnende schermen geplaatst, elk van eene opening voorzien. Liggen de openingen met de lichtbron en het oog in eene rechte lijn, dan vangt het oog het licht op; de waarnemer ontvangt eene lichtgewaarwording. Dus in de lucht *plant het licht zich rechtlijnig voort*. Nu volgt de abstractie. De afmetingen der openingen worden weggedacht, er treden meetkundige punten voor in de plaats en de lichtbundel wordt een lichtstraal.

Het meetkundig begrip lichtstraal leidt tot eene meetkundige behandeling van de optica; de verschijnselen van terugkaatsing, breking en kleurschifting kunnen tot op zekere hoogte langs dezen

weg worden afgeleid. Men vergete evenwel niet: slechts tot op zekere hoogte.

Eene juistere en door langdurige ondervinding beproefde beschouwing stelt het licht voor als eene golving in den wereldaether of lichtaether, waarmede reeds onze landgenoot CHRISTIAAN HUYGENS, ten behoeve van zijne verklaringsmethode, het heelal gevuld heeft. Wij vervangen dan de lichtstralen door lichtgolven, bestaande uit de aaneenschakeling van transversaal trillende deeltjes, dat wil zeggen trillende in eene richting loodrecht op de richting, volgens welke de trilbeweging (de golf) zich in de ruimte voortplant.

Om zonder figuren aan de gedachten van den lezer een weinig houvast te geven, nemen wij onze toevlucht tot de analogie der watergolven. Ook hier zijn de trillingen transversaal, in zoover de beweging van elk waterdeeltje eene verticaal gerichte component heeft, terwijl deze beweging zich rondom in horizontale richting uitbreidt. Gaat de evenwichtsverstoring in het water van een enkel middelpunt uit, dan liggen de toppen eener zelfde golf in een cirkel om dit middelpunt; evenzoo de diepste punten. Alle toppen van een zelfden golfring, ook die van opeenvolgende golfringen, verkeeren in overeenkomstigen bewegingstoestand of, zooals men ook zegt, in dezelfde trillingsphase.

Brengen wij ons beeld over op de licht- of aethergolven in de ruimte, dan worden onze cirkels boloppervlakken en hebben wij met spherische golven te doen. Bij gelijke voortplantingssnelheid in alle richtingen verkeeren ook nu alle deeltjes op eenzelfde boloppervlak in gelijke phase. Volgt in het middelpunt op de eerste evenwichtsverstoring eene tweede en zoo voort, dan ontstaan er niet slechts na elkander in den tijd, maar ook naast elkander in de ruimte, een aantal spherische golven, zoodanig dat ook de deeltjes, die in de voortplantingsrichting eene heele golflengte van elkaar verwijderd zijn, een overeenkomstigen bewegingstoestand vertoonen, m. a. w. in gelijke phase verkeeren. De lengte van de golf is namelijk de afstand, waarover de trilbeweging zich voortplant in het tijdsverloop, waarin elk deeltje voór zich eene trilling volbrengt. Liggen de deeltjes in de richting van de voortplanting eene halve golflengte van elkaar, dan bestaat er tusschen hen een phase-verschil van een halven trillingstijd, m. a. w. dan verkeeren zij in tegengestelde phase: de bewegingsrichting op hetzelfde tijdstip is tegengesteld.

Voor een oningewijde lijken die lichtgolven niet aannemelijk. Wordt

immers op den weg van het licht een ondoorschijnend scherm geplaatst, dan heeft men aan den anderen kant van het scherm eene schaduw, eene ruimte, waar geen licht binnendringt. Is dit te rijmen met de voorstelling, dat licht eene aethergolving is? De golven van het water, de geluidsgolven van de lucht buigen immers om een hinderpaal heen, zoodat het analogon van schaduw hier ontbreekt. Het antwoord hierop is, dat, wat dat ombuigen van de water- en geluidsgolven om een hinderpaal betreft, alles afhangt van de betrekkelijke afmetingen van golf en hinderpaal. Maak de afmetingen van het beletsel belangrijk grooter dan de lengte van de golven en het analogon van schaduw ontstaat. Achter den golfbreker is stil water en achter een muur is geen geluid waarneembaar, of het moest op andere wijze worden overgebracht.

In de tweede plaats, wat het licht betreft, geeft niet elk scherm de schaduw achter zich, die men allicht verwacht. Laat het scherm slechts zeer smal zijn, klein in vergelijking van de onbegrijpelijk kleine golflengten van het licht, en ook het licht buigt om de randen heen, zoo goed als de watergolven om een paal.

Wij houden dan vast aan onze voorstelling van eene golving van den aether en vervangen in onze beschouwingen den lichtstraal van de geometrische optica door een golfoppervlak, dat is elk oppervlak, welks deeltjes in gelijke trillingsphase verkeereren. Is zulk een oppervlak een plat vlak — en dit kan voorkomen — dan hebben wij met eene vlakke golf te doen; is het een boloppervlak, dan noemen wij haar spherisch. Door lenzen en spiegels kunnen vlakke in spherische en omgekeerd spherische in vlakke golven worden veranderd.

Nu kan eene spherische golf nog tweërlei zijn: de bolle zijde kan naar voren gekeerd zijn; maar ook de holle oppervlakte kan haar front zijn, d. i. gekeerd naar den kant, waarheen de golf zich uitbreidt. Daar de voortplantingsrichting loodrecht op het front staat, zal bij eene golf, die de bolle zijde naar voren keert, de golfbeweging zich over steeds grootere ruimte verspreiden, m. a. w. de golven divergeeren. Is daarentegen de holle zijde naar voren gekeerd, dan convergeeren de golven en de evenwichtsverstoringen van de verschillende bestanddeelen van een boloppervlak bereiken gelijktijdig het middelpunt; daarna worden de golven weder divergent. Het convergentiepunt is een brandpunt. Nu geschiedt er bij het passeeren van het brandpunt iets merkwaardigs, dat door Gouy ontdekt en in 1890 gepubliceerd is.

HUYGENS had reeds in zijne golftheorie het naar hem genoemde beginsel opgesteld, dat elk deeltje van een golfoppervlak beschouwd kan worden als een middelpunt van trilling, alsof er om die deeltjes elementaire golven ontstonden, uit welke samenwerking weer een ander golfoppervlak, de elementaire golven omhullende, kan worden afgeleid. Het beginsel van HUYGENS is voor de golftheorie vruchtbaar gebleken; doch het kan alleen dan van de bekende wetten der voortplanting rekenschap geven, wanneer men aanneemt, dat elk deeltje van een golfoppervlak, zoodra het middelpunt van eene nieuwe evenwichtsverstoring wordt, in de richting van den straal een voorsprong krijgt van een kwart golfengte, of van een kwart trillingstijd, op de dan bestaande beweging van het beschouwde golfoppervlak. De phase van zulk een deeltje, aanvankelijk dezelfde als die van het beschouwde golfoppervlak, verandert in de eerste oogenblikken onmiddellijk daarna, tengevolge van de optredende anomale voortplantingssnelheid, zoo snel dat er per slot van rekening een kwart trillingstijd gewonnen wordt.

Van dit uitgangspunt uit verder redeneerende en zich niet beperkende tot het grensgeval der vlakke golven, maar overgaande tot de spherische golven, kwam GOUY tot de merkwaardige gevolgtrekking, dat *eene spherische golf bij haar doorgang door een brandpunt eene phaseversnelling krijgt van een halven trillingstijd.*

GOUY gaf de verklaring van het verschijnsel voor geluidsgolven; prof. v. A. JULIUS te Utrecht daarna voor lichtgolven. Volgens de stelling van GOUY is het alsof de golven in de nabijheid van het brandpunt zich normaal op de golf met eene grootere snelheid voortplanten, zoodat zij bij den doorgang door het brandpunt eene halve golfengte winnen op een ander punt, dat zich volgens de gemeenschappelijke normaal met de gewone lichtsnelheid voortplant. De proefondervindelijke verificatie van deze uitkomst bevestigde haar volkomen.

Om duidelijk te maken, hoe door eene proef deze kwestie van phase-verschil kan worden beslist, roepen wij weder de hulp in van de watergolven.

In het water kunnen twee golfstelsels elkander doorsnijden en zoodoende kan een zelfde waterdeeltje op hetzelfde tijdstip twee verschillende bewegingsimpulsen ontvangen, die in denzelfden, maar ook in tegengestelden zin gericht kunnen zijn. Zoo kan het gebeuren, dat een waterdeeltje op zeker oogenblik, ten gevolge van de inmenging eener tweede golf, van de snelheid beroofd wordt, die het

van wege de eerste golf zou bezitten. Deze inmenging van de eene golf op het gebied van eene andere, heet met een kunstterm *interferentie*.

Brengen wij de voorstelling van de interferentie der watergolven op den lichtaether over, dan leidt dit tot het resultaat, dat door de interferentie van twee lichtgolven eene evenwichtsverstoring, in den vorm eener golfbeweging in den aether, door eene andere golfbeweging kan worden opgeheven, op alle plaatsen namelijk waar de twee golven aan een zelfde deeltje eene tegengestelde phase zouden mededeelen. Op deze plaatsen brengt licht gevoegd bij licht duisternis teweeg.

De klassieke interferentie-proef van FRESNEL bewees het bestaan eener zoodanige interferentie, waarbij het eene licht door het andere werd uitgebluscht. De proef kwam hierop neer, dat het van een zelfde lichtpunt afkomstige licht langs twee verschillende wegen een scherm bereikte, zoodat dit laatste voortdurend door twee elkaar doorsnijdende (interfereerende) golfstelsels getroffen werd. Was nu de weg, dien de eene golf had moeten afleggen om een zeker punt van het scherm te bereiken eene halve golflengte of een oneven aantal halve golflengten langer dan de weg, dien de andere golf had moeten afleggen om hetzelfde punt te bereiken, dan werd in dit punt de lichtwerking verzwakt of uitgedoofd. Versterking had daarentegen plaats, wanneer het wegverschil een even aantal halve golflengten bedroeg. Zoo ontstonden dan op het scherm, in het gemeenschappelijk gebied der beide golven, een zeker aantal donkere strepen of interferentie-banden, die met zooveel lichte strepen afwisselden. Men denke zich deze proef herhaald, doch zoo ingericht dat men eene spherische golf met eene andere laat interfereeren, vóór en na haar doorgang door een brandpunt, terwijl het meetkundig wegverschil gelijk blijft. Men neemt dan waar, dat de genoemde wijziging in de omstandigheden der proef eene verschuiving der interferentie-banden ten gevolge heeft en wel zoo, alsof de golf, na door een brandpunt gegaan te zijn, een voorsprong van eene halve golflengte had gekregen: de middelste lichtband op het scherm verandert in een donkeren band.

De proef, waaraan GOUY zijne uitkomst toetste, bestond inderdaad in eene wijziging der Fresnel'sche proef. Door Prof. ZEEMAN werd eene geheel nieuwe methode ontwikkeld voor de demonstratie van het interferentie-verschijnsel. Het bestek van dit artikel laat niet toe de methode met de noodige uitvoerigheid uiteen te zetten. Alleen zij

aangeduid, dat de interfereerende golven volgens deze methode verkregen werden, door het licht te laten gaan door eene lens, geslepen uit een dubbelbrekend kristal, n.l. uit kalkspaat, welke lens twee brandpunten had: een van de gewone en een van de buitengewone golven. Door middel van twee nicols (waarover straks nader), waar de lens tusschen geplaatst was, werden beide golven tot interferentie gebracht, 't zij vóór of na den doorgang door haar brandpunt. De overgang van het lichte in het donkere interferentie-centrum werd dan duidelijk gezien.

Na de viri clarissimi de juvenes ornatissimi, door wier voorkomende hulp en goed geslaagde exposities veel is bijgedragen tot het wetenschappelijk genot der bezoekers van den cursus. Een woord van dank en niet minder een woord van lof komt aan deze jonge mannen toe voor de uitstekende wijze, waarop zij zich van hunne taak gekweten hebben. De goede indruk, door hen op hun auditorium gemaakt, kon slechts verhoogd worden door de bescheidenheid van hun optreden, verklaarbaar voor een ieder, die weet, wat spreken in het openbaar beteekent, nog wel tegenover hoorders, die zelf de kunst van mededeelen dagelijks in praktijk brengen, bovendien beoefenaars van de wetenschap, ouderen in jaren.

Een wijze uit verre landen, MIRZA-SCHAFFY geheeten, heeft echter gezegd:

Nicht immer am besten erfahren ist,

Wer am ältesten an Jahren ist.

Uit eigen ervaring erken ik de wijsheid in zijne spreuk.

Om met de lichtverschijnselen voort te gaan, breng ik in de eerste plaats de bijdrage van den heer CUNÆUS, phil. doct. en assistent bij het laboratorium, in herinnering: »Bepaling van het brekend vermogen als methode van onderzoek naar de samenstelling van dampen.«

De methode werd gebruikt bij een onderzoek naar »het verband tusschen de samenstelling van den damp boven een mengsel van twee vloeistoffen met die van dat vloeistofmengsel en met den druk.«

De moeilijkheid van bovengenoemd door den heer CUNÆUS verricht onderzoek naar dit verband lag in het bepalen van de samenstelling van den damp; zonder den damp eerst te condenseeren en zonder scheikundige analyse werd eene optische methode toegepast, bestaande in de bepaling van het brekend vermogen. Er bestaat namelijk eene zekere betrekking tusschen het brekend vermogen van een meng-

sel van twee gassen, dat van de samenstellende gassen en hare mengverhouding. Voorts hangt het brekend vermogen van eene zelfstandigheid samen met de snelheid, waarmede het licht zich er in voortplant, zoodat een onderzoek naar het brekend vermogen teruggebracht wordt tot een onderzoek naar de voortplantingssnelheid. Het was de optische methode van RAYLEIGH tot bepaling van het brekend vermogen, die door den heer CUNAEUS, bijgestaan door den heer GERRITS, phil. cand., werd gedemonstreerd.

Om eenig inzicht in de methode te geven, vooraf het volgende. Wordt voor een spiegel van dik glas eene kaarsvlam geplaatst en kijkt de waarnemer, zijwaarts van de kaars staande, zoo schuin mogelijk in den spiegel, dan ziet hij twee beelden van de vlam. Het eene beeld ontstaat door terugkaatsing tegen het voorste, het andere door terugkaatsing tegen het achterste grensvlak van de glasplaat. De lichtbundel, uit een willekeurig punt der vlam op den spiegel vallende, is dus na de terugkaatsing in twee bundels gesplitst, die, door onze pupil in het oog dringende, twee gescheiden beeldpunten op het netvlies geven. Dat de beide lichtbundels, als zij in het oog komen, van de gemeenschappelijke lichtbron af ongelijke wegen hebben afgelegd, is duidelijk.

Denken wij ons nu een lichtbundel op soortgelijke wijze in twee geheel of nagenoeg evenwijdige deelen gesplitst, ver genoeg van elkander om ze door twee even lange, door spiegelglas afgesloten buizen te laten gaan. Na uit de buizen getreden te zijn, worden de bundels weder dichtter bij elkaar gebracht, doch zóó dat er, als zij in het oog binnentreden, nog altijd een wegverschil bestaat tusschen elk stralenpaar, dat, van eenzelfde punt der lichtbron afkomstig, in een zelfde punt A van het netvlies samenkomt. Bij eene bepaalde inrichting der proef bestaat bovendien tusschen elk ander stralenpaar, dat van een ander punt der lichtbron afkomstig is, maar in hetzelfde punt A van het netvlies convergeert, een zelfde wegverschil. De grootte van dit wegverschil varieert van het eene punt van het netvlies tot het andere. Op sommige plaatsen zal het een oneven aantal halve golflengten, men kan ook zeggen halve trillingstijden, op andere een even aantal halve golflengten verschillen. Er ontstaan dus op het netvlies, als interferentieverschijnsel, donkere en lichte gedeelten, die wij in den vorm van interferentiebanden waarnemen.

Wordt nu in de eene der genoemde buizen de gewone lucht door verdunde of verdichte lucht of door een geheel ander gas vervangen,

dan verandert hierin de voortplantingssnelheid en daarmede het wegverschil of verschil in phase. Waar eerst een donkere band op het netvlies was, ontstaat dan misschien eene lichtstreep of omgekeerd; in elk geval ziet men de interferentiebanden verschuiven, terwijl men uit het aantal banden, dat langs een vast punt in het veld verschuift, kan opmaken, hoeveel het wegverschil vergroot is. Door drukverandering in het gas der beschouwde buis heeft de proefnemer het in zijne macht, de oorspronkelijke voortplantingssnelheid van het licht te herstellen en het interferentie-verschijnsel in zijn oorspronkelijken of normaalstand terug te brengen.

Een ander lichtverschijnsel, de absorptie van circulair gepolariseerd licht, werd na eene korte theoretische uiteenzetting gedemonstreerd door den heer BRINKMAN, phil. cand. Om niet ondankbaar te schijnen tegenover het genot, dat de fraai uitgevoerde proef heeft opgeleverd, waag ik de vermetele poging, ook over dit onderwerp een paar mededeelingen te doen.

Gaat er licht door glas of door welke middelstof ook, dan wordt er altijd een gedeelte van geabsorbeerd. Hoeveel, dit hangt af van de middelstof en van de lichtsoort.

In sommige kristallen en oplossingen hebben bovendien nog andere wijzigingen van het licht plaats. Kijkt men door een kristal van kalkspaat — de stof, waaruit de boven vermelde lens van prof. ZEEMAN was geslepen — naar eene stip op het papier, dan ziet men twee stippen, reden waarom zulk een kristal dubbelbrekend genoemd wordt. De lichtgolf of de straal, die op het kristal valt, wordt bij het binnentreden in twee golven of stralen gesplitst, die met verschillende snelheid het kristal doorloopen en bovendien in een ander opzicht verschillen. De trillingsrichting van den aether in de lucht is slechts in zoover bepaald, dat zij loodrecht op de voortplantingsrichting of op den lichtstraal staat; rondom den straal kan de trilling — mits loodrecht gericht blijvende — in verschillende vlakken geschieden. Dit wordt anders, zoodra het licht in een kristal als kalkspaat binnentreedt. Hier is de moleculaire bouw der stof van dien aard dat aethertrillingen van een zekeren straal slechts in één bepaald plat vlak kunnen plaats hebben. Het licht heet in dit geval *lineair gepolariseerd*, waarbij opgemerkt moet worden, dat de trillrichtingen der beide stralen, waarin de invallende gesplitst wordt, onderling loodrecht zijn.



Ten behoeve van verschillende optische onderzoekingen worden prisma's gemaakt, die uit twee stukken kalkspaat bestaan, zoo saam verbonden, dat van de twee gepolariseerde stralen, waarin de invallende *natuurlijke* straal gesplitst wordt, slechts één aan de andere zijde uit het prisma te voorschijn komt. Zulk een prisma heet een nicol.

In de bovengenoemde absorptie-proef diende eene natrium-vlam als lichtbron. Het uitgestraalde licht wordt door eene lens zooveel mogelijk evenwijdig gemaakt en in een nicol geleid, waaruit het aan de andere zijde als lineair gepolariseerd licht te voorschijn komt. Laat het vlak, waarin de trillingen plaats hebben, een hoek van  $45^\circ$  met den horizon maken en het gepolariseerde licht opgevangen worden op een plaatje van glimmer of mica, dat eveneens dubbelbrekend is en slechts trillingen doorlaat in twee onderling loodrechte richtingen, in ons geval horizontaal en verticaal. De trilbeweging van den invallenden lichtstraal wordt dan ontbonden in twee trilbewegingen, wier richtingen elk een hoek van  $45^\circ$  met de oorspronkelijke trillingsrichting maken. De invallende lineair gepolariseerde straal wordt op deze wijze gesplitst in twee lineair gepolariseerde stralen, die het glimmerplaatje *met verschillende snelheid* doorloopen. Beider trillingen, bij de intrede in het glimmer tegelijk begonnen, krijgen dus onderweg een gangverschil en bij het uittreden uit het glimmer zullen de twee trillingen een phase-verschil vertoonen, grooter of kleiner naarmate het plaatje meer of minder dik is. Is er onderweg een gangverschil van een kwart golfengte, d. i. een phase-verschil van een kwart trillingstijd ontstaan, dan valt het passeeren van den middel- of evenwichtsstand in de eene samen met het passeeren van het punt van grootste uitwijking in de andere trilbeweging. Uittredende in de lucht, worden de twee onderling loodrechte trillingen, met haar phase-verschil van een kwart trillingstijd weer tot eene enkele trilling samengesteld en het eerstvolgend aetherdeeltje in de lucht voert dientengevolge eene beweging langs een loodrecht op den straal geplaatsten cirkel uit, die zich aan de volgende in de richting van den straal gelegen deeltjes mededeelt. De rechtlijnige trilbeweging der aetherdeeltjes is in eene cirkelvormige veranderd en de aldus gewijzigde lichtstraal heet *circulair gepolariseerd*. Wij stellen ons dan den straal voor onder het beeld van een cylinder, op welks gebogen oppervlak evenwijdige cirkels, loodrecht op de as, geteekend zijn: de banen die elk in 't

bijzonder door een bepaald aetherdeeltje worden doorloopen. Het uit het glimmerplaatje tredende licht was in de gedemonstreerde proef *rechts* circulair gepolariseerd, hetgeen wil zeggen dat voor den waarnemer, op wiens oog de straal gericht was, de beweging langs iederen cirkel plaats had als die van de wijzers der klok.

Het *rechts* circulair gepolariseerde licht, dat uit het glimmer komt, valt op eene tweede doorzichtige plaat, waarvan de bovenhelft uit kwarts, de onderhelft uit gewoon glas bestaat. De benedenhelft van den lichtbundel, die door het glas gegaan is, behoudt haar eigenschappen; de bovenhelft van den bundel wordt bij haar doorgang door het kwarts zoodanig gewijzigd, dat zij, bij goed gekozen dikte van de kwartsplaat, van *rechts*- in *links* circulair gepolariseerd licht verandert. Hierom was het te doen. Wij hebben nu twee lichtbundels, beide circulair, maar tegengesteld gepolariseerd, en wij kunnen nu nagaan, wat er met deze twee gebeurt, wanneer zij in eene optisch actieve oplossing binnendringen. Hiermede bedoel ik eene oplossing, die op een gepolariseerden lichtstraal denzelfden invloed heeft, dien eene kwartsplaat er op uitoefent, bestaande in eene draaiing van het vlak, waarin de trillingen plaats hebben, wat voor eene circulaire trilling wil zeggen, dat zij versneld of vertraagd wordt. Zulk eene oplossing was het in de proef gebezigde *rechts* draaiende kalium-chroomtartraat.

»In een groot aantal kristallen worden de twee door splitsing ontstane stralen, die zich met verschillende snelheden voortplanten, in ongelijke mate geabsorbeerd. Nu bestaan er in eene middelstof, die draaiend vermogen bezit, eveneens twee soorten van stralen, een *rechts*- en een *links*-circulair gepolariseerde straal, die zich met verschillende snelheden voortplanten, en men ziet ook in sommige gevallen, dat een straal, die door eene actieve stof heen gaat, zich duidelijk splitst in twee tegengesteld circulair gepolariseerde stralen.

»Als men deze dubbele circulaire breking in verband brengt met de dubbele breking in kristallen, neemt men tusschen de twee reeksen van verschijnselen de grootste analogie waar. Het ligt dus voor de hand zich af te vragen, of er geen actieve stoffen bestaan, die een *rechts*- en een *links*-gepolariseerden straal in ongelijke mate absorbeeren". Op deze vraag van COTTON gaf de proef een bevestigend antwoord. De twee tegengesteld circulair gepolariseerde lichtbundels van gelijke lichtsterkte, die naast elkaar in het tartraat binnendrongen, werden inderdaad in ongelijke mate geabsorbeerd, zooals — wanneer

men de uittredende bundels in het oog opving — door de ongelijke verlichting van de twee helften van het gezichtsveld bewezen werd.

Wij verlaten hiermee de behandelde lichtverschijnselen om nogmaals op het gebied van de warmteleer terug te komen. Na eene mondelinge door teekeningen toegelichte uiteenzetting van het werktuig, vertoonde de heer NORR, phil. cand., de bepaling van de soortelijke warmte met den dampcalorimeter."

Het beginsel, waarop de damp- of stoomcalorimeter berust, komt op het volgende neer. Het lichaam, van welks zelfstandigheid de soortelijke warmte bepaald moet worden, hangt in een calorimeter aan een platina-draad, die zelf aan eene gevoelige balans is opgehangen. In den calorimeter wordt verzadigde stoom gelaten van eene hoogere temperatuur dan het lichaam, zoodat een gedeelte van den stoom op de oppervlakte van het lichaam wordt gecondenseerd. Deze condensatie houdt aan, totdat het lichaam de temperatuur van den stoom heeft aangenomen. De hoeveelheid stoom, die op het lichaam is gecondenseerd, wordt door de balans gemeten.

Zij  $m$  de massa van het lichaam en  $t^{\circ}$  zijne aanvangstemperatuur. Zij  $m^1$  de massa van den gecondenseerden stoom en  $t_1^{\circ}$  diene temperatuur, tevens de eindtemperatuur van het lichaam. De temperatuursverhooging van het lichaam bedraagt dan  $t_1 - t^{\circ}$  en, indien  $c$  zijne gemiddelde soortelijke warmte tusschen  $t^{\circ}$  en  $t_1^{\circ}$  voorstelt, dan bedraagt de hoeveelheid warmte, die door het lichaam is opgenomen,  $c m (t_1 - t)$  calorieën.

Zij voorts  $l$  de condensatie-warmte van den stoom bij  $t_1^{\circ}$ , dan is door de condensatie eene hoeveelheid warmte van  $m_1 l$  calorieën vrij gekomen, die tot verwarming van het lichaam heeft gediend. Wij krijgen dus de vergelijking  $c m (t_1 - t) = m_1 l$ , waaruit de gezochte soortelijke warmte  $c$  kan worden opgelost. De medegedeelde berekening is eene ruwe benadering zonder correcties, maar zij drukt voldoende het beginsel van de zaak uit.

Zooals het met meer experimenteele methoden gaat, het beginsel is eenvoudig, maar aan de uitvoering zijn vaak groote moeilijkheden verbonden. Deze heeft JOLY in zijn dampcalorimeter op vernuftige wijze weten te overwinnen en wel door een soortgelijken kunstgreep als REGNAULT toepaste bij zijne weging van de lucht. De dampcalorimeter is daardoor tot een universeel-instrument geworden, waarmede de soortelijke warmte zoowel van gassen, als van vloeistoffen en vaste lichamen bepaald kan worden.

Nu heeft een gas tweeërlei soortelijke warmte, die bij constant volumen ( $c_v$ ) en die bij constante drukking ( $c_p$ ). De verhouding van deze twee grootheden is van theoretisch belang, ook in de theorie van VAN DER WAALS. Terwijl reeds lang experimenteele methoden bestonden om de genoemde verhouding en om  $c_p$  te bepalen, zoodat  $c_v$  door berekening kon gevonden worden, miste men eene nauwkeurige methode voor de bepaling van  $c_v$ , waardoor de langs een omweg verkregen waarde dezer grootheid rechtstreeks kon worden geverifieerd. De stoomcalorimeter van JOLY voorziet in de leemte; de grootheid  $c_v$  kan met zijn behulp met een hoogen graad van nauwkeurigheid worden bepaald.

Onder aan elke schaal der balans hangt een platina-draad, die een koperen bol draagt. De beide bollen zijn zoo nauwkeurig mogelijk aan elkaar gelijk; de eene wordt gevuld met het gas, waarvan men de *s. w.* zoekt, de andere wordt leeggepompt. Nu condenseert op den met gas gevulden bol meer stoom dan op den ledigen bol; wat er op den eersten meer condenseert levert de warmte, die het gas, dat hij inhoudt, van de aanvangs- op de eindtemperatuur brengt. Onder aan de bollen bevinden zich pannetjes om het condensatie-water op te vangen, dat van de bollen afdruipt; deze pannen hebben zoo nauwkeurig mogelijk gelijke warmte-capaciteit. De condensatie op beide pannen is dus gelijk en het uitwerksel op de balans van wege de eene pan wordt door de andere geneutraliseerd; evenzoo het storende effect van de gedeeltelijke condensatie, die optreedt wanneer de stoom bij het binnenkomen van den calorimeter warmte uitstraalt naar de koudere wanden. Elke fout, die aan de beide bollen gemeen is, wordt dus buitengesloten; dit stempelt het werktuig tot een differentiaal-instrument en maakt het tot een model-meetwerktuig. Toch blijven er nog bronnen van fouten over. Zoo zal er stoom condenseeren op den platina-draad, vooral te plaatse, waar hij boven uit de opening van den calorimeter treedt. Om dit te voorkomen waren er eenige windingen eener stroomspiraal op kleinen afstand van den draad omheen gelegd, zoo dat de door den stroom opgewekte verwarming voldoende was om het neerslaan van water op den platina-draad te beletten. Dit staaltje zij voldoende om te doen zien met hoeveel moeilijkheden de proefnemer heeft te strijden, maar tevens wat zijn vernuft vermag om ze te overwinnen.

Nog een laatste onderwerp blijft te vermelden over: de »bepaling van de verhouding  $v$  tusschen de electrostatische en electromagnetische éénheden.»

De heer MEELINK, phil. cand., begon met de beteekenis van deze grootheid  $v$  uiteen te zetten en toonde aan, hoe deze beteekenis kan afgeleid worden uit de *dimensies* van de electrostatische en de electromagnetische absolute eenheden.

Wat éénheden of maten zijn, behoeft hier niet herhaald te worden; minder eenvoudig is het begrip »absolute eenheid”. Wat het begrip »dimensie” betreft, menigeen, die de school reeds eenige jaren achter zich heeft, zal hiermede minder vertrouwd zijn. Eerst in de laatste jaren is het dimensie-begrip in die mate op den voorgrond gekomen, dat het zelfs in sommige elementaire schoolboeken is opgenomen.

De getalwaarde eener grootheid is het getal, dat zegt hoeveel maal in deze grootheid eene andere van dezelfde soort, die als éénheid wordt aangenomen, begrepen is. De éénheid, waarin de getalwaarde van een oppervlak wordt uitgedrukt, is zelf ook een oppervlak. Op verschillende tijden en plaatsen hebben hiervoor verschillende éénheden gediend; men denke slechts aan den Amsterdamschen morgen, het Blooisch gemet en vele andere. Zoo hebben ook verschillende lengten als lengte-eenheid dienst gedaan; men denke aan de Amsterdamsche el, den Rijnlandschen voet en dergelijke.

Hoe in de praktijk de grootte van een oppervlak bepaald wordt, leeren wij in de Meetkunde; de getalwaarde van het oppervlak van een rechthoek is evenredig aan het product van de getalwaarden zijner twee aanliggende zijden. Als derhalve een rechthoek, die 1 Rijnl. voet lang en 1 Rijnl. voet breed is, een oppervlak heeft van  $c$  vierkante Amsterdamsche ellen, dan zal een rechthoek van  $a$  Rijnl. voet lang en  $b$  Rijnl. voet breed een oppervlak bezitten van  $a b \times c$  vierkante Amsterdamsche ellen. Zijne oppervlakte door de getalwaarde  $s$  voorstellende, bestaat dus de in de volgende vergelijking uitgedrukte betrekking:  $s = a b \times c$ . Het eerste lid der vergelijking bevat slechts één getal, het tweede lid bevat drie getallen, waarvan twee de getalwaarde eener lengte voorstellen en het derde een coëfficiënt of eene constante.

De in ons voorbeeld gebruikte éénheid van oppervlakte is de Amsterdamsche el, de lengte-eenheid is de Rijnlandsche voet. Tusschen deze twee soorten van éénheden bestaat geen *natuurlijk verband*.

Men kan echter de éénheden zoodanig kiezen, dat er, hoewel zij van verschillende soort zijn, een zeker verband tusschen haar bestaat. Zoo zou men als éénheid van oppervlakte den vierkanten Rijnlandschen voet kunnen aannemen, d. i. de rechthoek, die 1 Rijnl. voet lang en 1 Rijnl. voet breed is. Dan zou  $s$  in onze vergelijking de getalwaarde van het oppervlak voorstellen, uitgedrukt in vierkante Rijnl. voeten en de vergelijking zou worden:  $s = a \cdot b$ . De constante van onze vorige vergelijking is gelijk 1 geworden en de vergelijking heeft daardoor eene eenvoudiger gedaante aangenomen.

Ook in de Natuurkunde vindt men betrekkingen tusschen grootheden van verschillende soort; meer dan één voorbeeld komt daarvan in dit opstel voor.

Eene snelheid, de lengte van een weg en een tijdsverloop zijn grootheden, waartusschen, hoewel zij van verschillende soort zijn, eene numerieke betrekking kan bestaan. Bij eene eenparige beweging bijv. is de snelheid evenredig aan de in zeker tijdsverloop afgelegde weglengte of omgekeerd evenredig aan het tijdsverloop, waarin eene zekere weglengte wordt doorlopen. Wil men dit verband in eene vergelijking uitdrukken, dan kan men twee wegen inslaan. Men kan de éénheden, waarin de getalwaarden der verschillende grootheden worden uitgedrukt, zoo kiezen, dat er geen natuurlijk verband tusschen haar bestaat; men kan ze ook zoo kiezen, dat zij van elkander afhangen. De laatste weg verdient de voorkeur; de vergelijkingen worden dan eenvoudiger door het wegvallen van anders onvermijdelijke coëfficiënten.

Gesteld dat men als snelheidseenheid aanneemt de snelheid, waardoor bij eene eenparige beweging 1 Rijnl. voet per seconde wordt afgelegd en zij  $s$  de getalwaarde van de snelheid, waardoor in  $t$  seconden een weg van  $l$  c M. wordt afgelegd, dan bestaat, als 1 Rijnl. voet =  $c$  centimeters, de betrekking:  $s = \frac{1}{c} \times \frac{1}{t}$ .

Wordt echter als snelheidseenheid aangenomen de snelheid waardoor 1 c M. per seconde wordt afgelegd, dan verandert de vergelijking in  $s = \frac{1}{t}$ .

Een stelsel van éénheden, zoo gekozen dat in de vergelijkingen de boven aangeduide coëfficiënten of constanten gelijk 1 worden, heet een stelsel van *absolute* éénheden.

Het meest bekende voorbeeld van een absoluut maatstelsel is ons metriek stelsel, waarvan de Meter de grondslag is.

In de Natuurkunde is de groote behoefte aan een stelsel van

absolute éénheden vooral gebleken na de uitbreiding van de leer der electriciteit ook in de praktijk van het dagelijksch leven. Drie grond-éénheden vormen hier de basis van het geheele stelsel, de *centimeter* als éénheid van lengte, het *gram* als éénheid van massa en de *seconde* als éénheid van tijdsverloop. Vandaar draagt het stelsel den naam van het centimeter-gram-seconde- of C.-G.-S.-stelsel.

In onze laatste vergelijking waren de drie grootheden snelheid, weglengte en tijdsverloop in bij elkander passende éénheden en wel in absolute C. G. S.-éénheden uitgedrukt, De [getalwaarde der] snelheid is dan gelijk aan de [getalwaarde der] weglengte gedeeld door [de getalwaarde van] het tijdsverloop. Stellen wij deze uitkomst voor in dezen vorm:  $S = L \times T^{-1}$ , waarin  $T^{-1}$  eene bijzondere schrijfwijze is voor »gedeeld door T», dan merken wij op, dat het eerste lid der vergelijking een zeker aantal *afgeleide éénheden* voorstelt; het tweede lid een product, waarvan elke factor uit een zeker aantal *grondéénheden* bestaat.

Zij de snelheid eener eenparig versnelde beweging op zeker tijdstip gelijk aan  $s_1$ , en  $t$  seconden later  $s_2$ , en zij de versnelling gedurende dit tijdsverloop gelijk  $v$ , alles uitgedrukt in bij elkaar passende C. G. S.-éénheden, dan bestaat de betrekking  $v = \frac{s_2 - s_1}{t}$ . De versnelling is, kort uitgedrukt, gelijk aan het verschil van twee snelheden gedeeld door een tijdsverloop. Daar nu het verschil van twee snelheden zelf ook eene snelheid is, zoo kan gezegd worden, dat eene versnelling gelijk is aan het quotient van eene snelheid gedeeld door een tijdsverloop of, symbolisch:  $V = S \times T^{-1}$ . Vervangen wij  $S$  door zijn æquivalent  $L \times T^{-1}$ , dan wordt de vergelijking  $V = L \times T^{-2}$ , waarin weder in het tweede lid niets dan de grondéénheden voorkomen. Vergelijkingen als de beide laatste voor  $S$  en  $V$ , verduidelijken den samenhang tusschen de afgeleide éénheid, waarin zekere grootheid wordt uitgedrukt, en de grondeenheden van het stelsel, waaruit zij is ontstaan. Zulke vergelijkingen heeten *dimensie-vergelijkingen*. Het symbool  $L \times T^{-1}$  heet de dimensie van de snelheid;  $L \times T^{-2}$  de dimensie van de versnelling.

De door FOURIER in zijne boven aangehaalde *Théorie analytique de la chaleur* ontwikkelde theorie der dimensies heeft eene bijzondere betekenis gekregen, toen MAXWELL haar uitbreidde tot de electricische en de magnetische grootheden.

Wil men eene electricische grootheid, bijv. eene hoeveelheid electriciteit uitdrukken in eene éénheid, die past in het kader van het

C. G. S. stelsel, dan kan men bij het vaststellen dezer éénheid op tweeërlei wijze te werk gaan. Men kan namelijk van electrostatische en ook van electromagnetische verschijnselen uitgaan.

Twee electricisch geladen stofdeelen, die onder elkanders invloed in evenwicht verkeerden, oefenen wederkeerig eene krachtwerking op elkander uit. Nu kan men als éénheid van electriciteitshoeveelheid eene lading aannemen, die op 1 c. M. afstand op eene gelijke lading de éénheid van kracht uitoefent, d. i. in ons C. G. S. stelsel de kracht van 1 dyne. De aldus vastgestelde éénheid van electriciteit is de absolute *electrostatische éénheid*, die in het C. G. S. stelsel past.

Een electricische stroom oefent invloed uit op een magneet en van deze electromagnetische werking uitgaande, kan de absolute *electromagnetische éénheid* aldus gedefinieerd worden: De éénheid van hoeveelheid electriciteit is de hoeveelheid, die in 1 seconde door eene dwarse doorsnede van een cirkelvormigen geleider met 1 c.M. straal stroomt, wanneer een gedeelte van dezen geleider ter lengte van 1 c.M. op eene in het middelpunt geplaatste magneetpool, die de éénheid van magnetisme bezit, dat éénheid van kracht, n. l. 1 dyne, uitoefent. Aan den stroom in dezen geleider kent men dan de electromagnetische éénheid van stroomsterkte toe.

Spoort men de dimensie van de electrostatische éénheid op, dan vindt men hiervoor  $M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}$ ; de dimensie der electromagnetische éénheid wordt voorgesteld door  $M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}$ . Deelt men op elkaar, dan vindt men voor de verhouding  $v$  der beide dimensies:  $v = L T^{-1}$ . Deze verhouding heeft merkwaardiger wijze de dimensie van eene *snelheid*. Zou aan deze verhouding ook de natuurkundige beteekenis van eene snelheid verbonden zijn?

Laten wij eens den afstand tusschen twee plaatsen P en Q in tweeërlei maat uitdrukken. Men kan zeggen: de afstand tusschen P en Q bedraagt 3 uur gaans; maar ook dat hij 15000 Meter bedraagt. Het quotient van beide getalwaarden is 5000; en dat deze verhouding de beteekenis van eene snelheid heeft, is duidelijk: het is de snelheid van den voetganger, die 5000 Meter per uur aflegt.

Zoo is onze verhouding  $v$  de snelheid, waarmede de electricische evenwichtsverstoring zich in den geleider moet voortplanten, opdat in 1 seconde eene hoeveelheid electriciteit door de dwarse doorsnede van den geleider stroomt, die beantwoordt aan de electromagnetische éénheid van stroomsterkte.

De bepaling van de grootheid  $v$  is op velerlei wijzen beproefd.



Na den heer MEELINK zette de heer KEESOM, phil. cand., eene methode uiteen om  $v$  experimenteel te bepalen, waarna beide heeren, geassisteerd door den heer VAN TROTSENBURG, phil. cand., de in eene afzonderlijke kamer opgestelde proef demonstreerden. De bijzonderheden der proef, om niet te spreken van de beginselen waarop zij steunt, zijn te veel omvattend dan dat zij in een paar bladzijden konden beschreven worden. Ik bepaal mij dus tot de mededeeling, dat de door  $v$  voorgestelde snelheid gebleken is gelijk te zijn aan  $3 \times 10^{10}$  C. G. S.-éenheden, dat is de snelheid, waarmede ook het licht zich voortplant, 300 000 Kilometer in 1 seconde.

Niet enkel in een geleidenden draad, maar ook in de lucht, plant eene electriche evenwichtsverstoring zich met deze snelheid voort.

Nadat MAXWELL gevonden had, dat electriche evenwichtsverstoringen of trillingen zich in de lucht voortplanten met dezelfde snelheid, waarmede de lichttrillingen zich voortplanten, en in aanmerking nemende dat beide soorten van trillingen transversaal zijn, werden verscheidene andere betrekkingen tusschen licht en electriciteit ontdekt en was de weg gebaad tot de opvatting, dat lichttrillingen eene bijzondere soort van electriche trillingen zijn. Deze beschouwing heeft geleid tot de zoogenaamde electromagnetische lichttheorie.

Ik kom nu aan het einde van de taak, die ik mij had gesteld. De medegedeelde onderwerpen vormden het natuurkundig gedeelte van het programma van dezen vacantie-cursus. De beide secties voor natuur- en scheikunde, bij de openingsrede van prof. VAN DER WAALS vereenigd, daarna gescheiden, kwamen aan het slot nogmaals samen in het scheikundig laboratorium der universiteit onder het gehoor van prof. BAKHUIS ROOZEBOOM, die eene belangwekkende voordracht hield over »de beteekenis van de Phasenleer.»

Die beurtelingsche vereeniging en scheiding van de beoefenaars der beide zusterwetenschappen is het beeld van de geschiedenis der natuur- en scheikunde. Gescheiden en toch één, op menig gebied elkaar ontmoetende en elkanders hulp behoevend. Hier en daar zelfs zoo ineengevlochten, dat de grens is weggevallen. De openings- en de sluitingsrede, de natuurkundige en de scheikundige, zij bewegen zich op een gemeenschappelijken bodem, die voor beiden een rijken oogst oplevert. De thermodynamica en hare dochter de phasenleer van GIBBS behooren beide tot het studiegebied van den physicus en van den chemicus te zamen.

De eigenlijke vacantië-cursus was hiermede geëindigd. Het vriendelijk aanbod van den heer dr. WIND, Lector aan de Universiteit te Groningen om er voor belangstellenden in de electromagnetische lichttheorie nog een derden dag bij aan te knooopen was echter te verleidelijk om niet door velen met groote instemming aanvaard te worden. Dr. WIND was er namelijk in de laatste maanden in geslaagd, eene elementaire behandeling en verklaring te geven van de genoemde theorie. Van de verkregen resultaten werd een overzicht gegeven, waaruit de mogelijkheid bleek voor eene electromagnetische straling af te leiden: de transversaliteit, de onderlinge loodrechte stand van de magnetische en electriche veranderingen, de voortplantingssnelheid, de wetten van breking en terugkaatsing en de wetten van polarisatie bij breking en terugkaatsing.

De toejuichingen, die den spreker ten deel vielen, waren meer dan plichtpleging; zij mogen hem aansporen spoed te maken met de verspreiding zijner voordracht door den druk, waarnaar door vele beoefenaars der natuurkunde en zeker niet het minst door zijne Amsterdamsche hoorders verlangend wordt uitgezien.

De woorden van dank, door Dr. VAN DE STADT uit Arnhem en door Dr. DOYER uit Utrecht gesproken tot hen, die hun tijd en hunne gaven gegeven hebben om ons voor te lichten en te sterken waren de weerklank van de gevoelens der aanwezigen. Maar ook dr. JAPIKSE uit Middelburg deed een goed werk, toen hij hulde bracht aan dr. DOYER, door wiens goede zorgen de zaak op het getouw is gezet.

Moge zulk een verfrisschend en levenwekkend bad in de bronnen van de wetenschap nog menigmaal terugkeeren; wij mannen van het onderwijs, die naast de wetenschap nog zooveel andere belangen te dienen hebben, wij hebben nu en dan zoo'n excitans noodig. Wij hebben onze schoolinstrumenten en onze boeken; doch dit is op den duur niet voldoende. Ook hierin heeft de wijze MIRZA-SCHAFFY het bij het rechte eind:

Die allerbeste Offenbarung  
Ist: die aus erster Quelle trieft.

Deventer, Mei 1900.