

00343

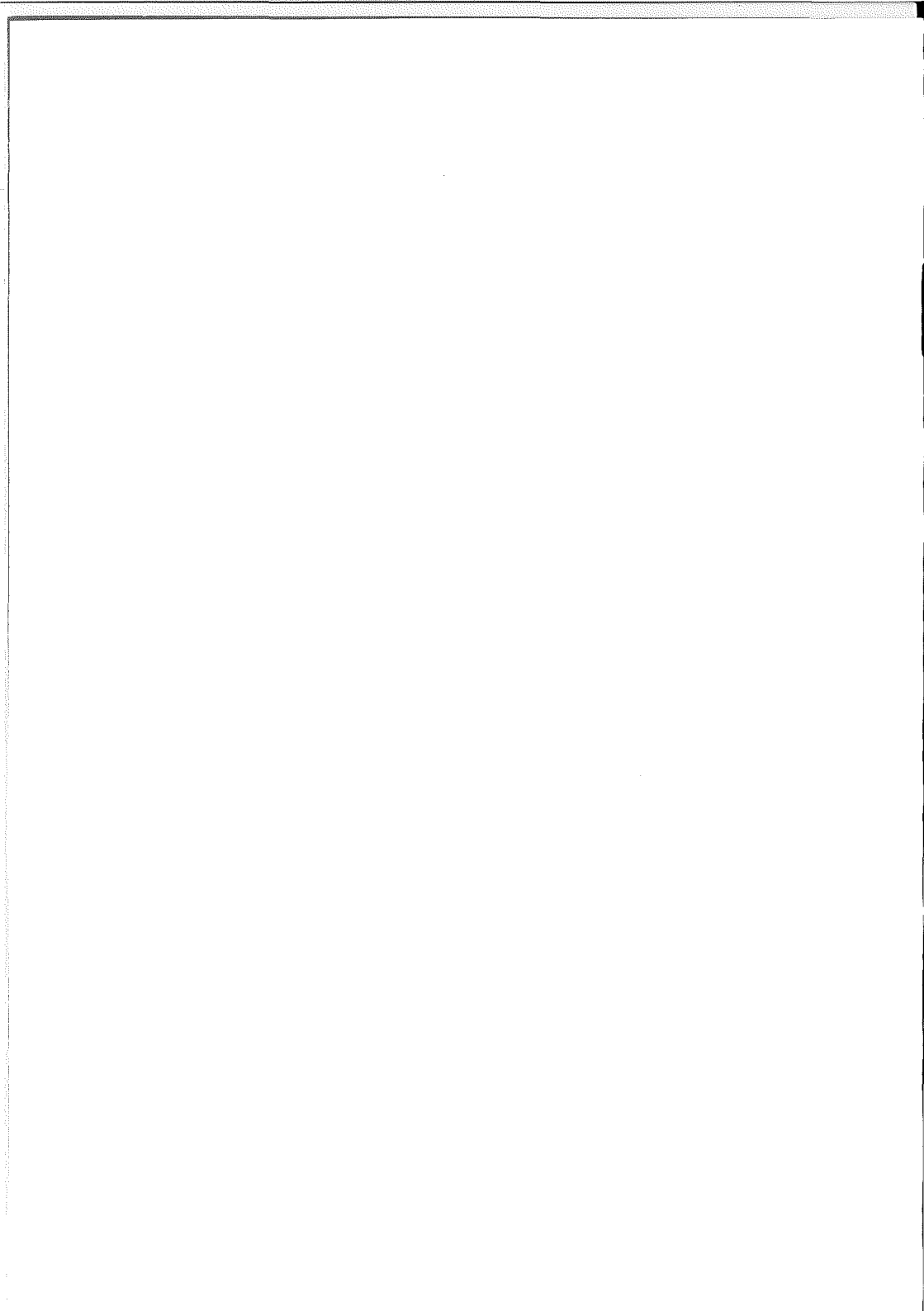
NB

prof. dr. A. Lodder

Het gaat om de waarheid

vrije Universiteit







Mijnheer de Rector, dames en heren,

Toen ik ergens in juni 1988 opblikte van een afleiding die ik net voltooid had en tot me door liet dringen wat daar voor mij lag, besepte ik dat ik hierdoor in principe een verdacht persoon geworden was. Ik kan me indenken dat deze openingszin direct al enkele vragen bij u oproept.

Ik spreek van een afleiding. Voor een aantal van u is duidelijk wat ik hiermee bedoel, maar voor anderen is het misschien zinnig te vermelden, dat het geven van afleidingen een echte beroepsactiviteit is. Een afleiding bestaat altijd uit een paar wiskundige handelingen, waardoor een bepaalde formule of uitdrukking er anders uit komt te zien. U moet iemand die daarmee bezig is vooral niet afleiden, want het vergt de hoogste concentratie, en er mogen geen fouten gemaakt worden. Anders komt het niet goed uit. Tot zover over het woord afleiding.

Daarnaast zal het jaartal 1988 en dat 'verdacht worden' u mogelijk bevreemden. 'Het jaar 1988 is al een tijd geleden, dus heeft het voor een vak als het uwe nu nog zin om daarheen terug te gaan', zou u kunnen vragen. Verder: 'Was natuurkunde niet de meest exacte natuurwetenschap, die als een voorbeeld gediend heeft voor andere wetenschappen, zoals sociologie, psychologie en zelfs wijsbegeerte? Dit zijn wetenschappen die af en toe een richtingenstrijd beu waren en dan gingen lonken naar de natuurkunde met zijn harde, onweerlegbare uitspraken. Hoe kun je in zo'n vakgebied door een onderzoeksresultaat een verdacht persoon worden?'

Wat de datering betreft, mijn afleiding had betrekking op een vraagstelling die al in 1962 was gaan spelen, en die tot op vandaag nog niet helemaal tot ieders voldoening is beantwoord. Dus in 1988 was het actueel, en dat is het eigen-

lijk nog steeds. Voorts betrof het een controverse. Een minderheid was in 1962 gekomen met een onconventioneel resultaat. Een meerderheid was daar tegenin gegaan en had geprobeerd het minderheidsresultaat te ontzenuwen. Soms lukt zoiets na enige tijd. In het onderhavige geval is het blijven slepen.

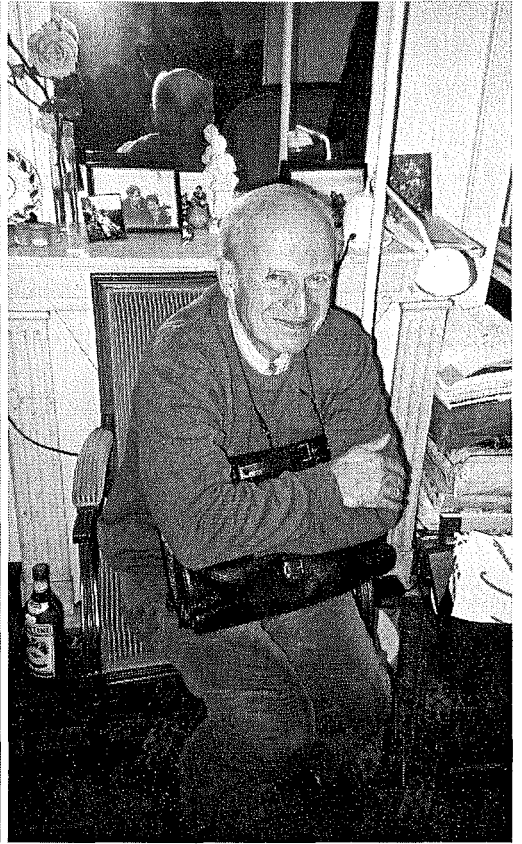
Voor ik nu inga op het natuurkundige verschijnsel, wil ik iets vertellen over wat ik met mijn resultaat in eerste instantie deed. Van Richard Sorbello¹, hoogleraar in de 'Beer capital of the world', Milwaukee, een paar honderd mijl ten noorden van Chicago, die een van mijn vrienden in de wetenschap was, had ik in de voorafgaande jaren begrepen wat het consensus-standpunt was en wat verdacht was. Wat de Franse fysici Friedel en Nozières beweerden deugde niet en was dus verdacht. Nu houd ik niet erg van controverses, dus had ik de betreffende vraagstelling laten liggen. Toch voelde ik me in het voorjaar van 1988 ertoe geroepen ernaar te kijken, en laat ik tot mijn grote schrik het verdachte resultaat eruit krijgen. Uiteraard bekeek ik mijn resultaat van alle kanten, maar ik kon er niet omheen. Is het een wonder dat ik er het eerste halfjaar het zwijgen toe deed? Wel bewerkte ik het tot een onderdeel van een college. Verder schreef ik eind augustus een brief aan Sorbello. Ik stelde hem een enkele vraag over zijn werk, maar over het controversiële onderwerp schreef ik slechts vagelijk dat ik geneigd was te geloven dat de Fransen gelijk hadden. Wat was zijn antwoord?

Dear Adri,

Nice to hear from you. Things are going well here, though rather slowly. I was hoping to hear about some definitive state of the art wind-force calculations using alloy wave functions ----- *but if you want to attack the direct-force problem, good luck! My experience with the latter problem is that there are many subtleties, blind-alleys and oscillating points of view. On somedays Bosvieux-Friedel looks good, on other days it looks totally wrong.*



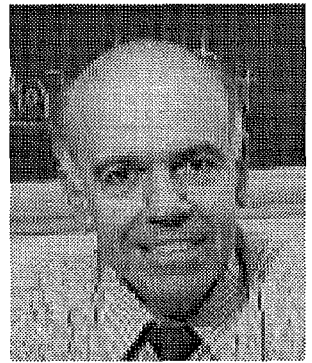
Jacques Friedel



Philippe Nozières



Nieminen Stocks Coleridge
Ellis Lodder Györffy Sorbello
Gonis Pinski R.W. Siegel Christiane König



Richard Sorbello

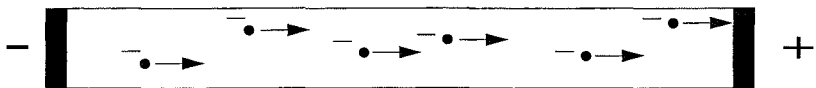
Beste Adri,

Bedankt voor je brief. Hier gaat alles goed, maar wel een beetje langzaam. Ik had gehoopt iets van je te horen over je berekeningen van de windkracht ----- *maar als je je wilt werpen op het probleem van de directe kracht, ik wens je geluk! Mijn ervaring met dit probleem is dat er veel subtiliteiten aan zitten, doodlopende wegen en wisselende inzichten. De ene dag lijkt Friedel gelijk te hebben, de andere dag lijkt hij volkomen fout.*

Ik was dus gewaarschuwd. Tegen de Kerst vertelde collega Griessen iets over een meting. Ik vertelde wat ik gevonden had. Griessen keek door de formules heen en kon er wat mee. Dit haalde mij over de brug. Begin januari 1989 ging ik een artikel erover schrijven. Wat dat tot gevolg had, vertel ik straks. Nu eerst een en ander over het verschijnsel.

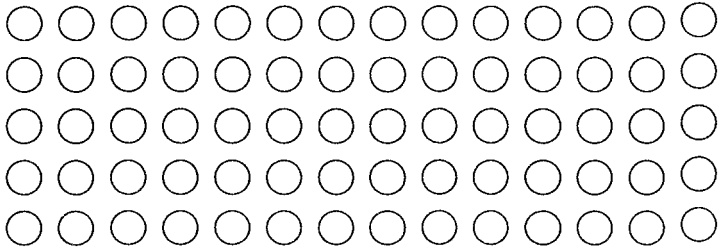
Het verschijnsel heet electromigratie. Het is een vreemd woord, maar ik zal een verband proberen te leggen met wat iedereen weet. Iedereen weet, dat als je een elektrische spanning aanlegt over een metaal, laten we zeggen een koperdraadje, er een elektrische stroom gaat lopen. Druk maar op de lichtknop en de lamp gaat branden. De elektrische stroom door het gloeidraadje in de lamp maakt dat draadje zó heet, dat het gaat gloeien. We zien licht. In onze samenleving zijn elektrische spanningen eigenlijk alomtegenwoordig. In alle stopcontacten, in uw radio, TV-toestel, in uw PC.

U weet dat elektrische stroom eigenlijk een stroom van elektronen is. Elektronen zijn heel kleine onzichtbare deeltjes, ze hebben een negatieve elektrische lading en ze bewegen van de minpool van uw spanningsbron naar de pluspool.

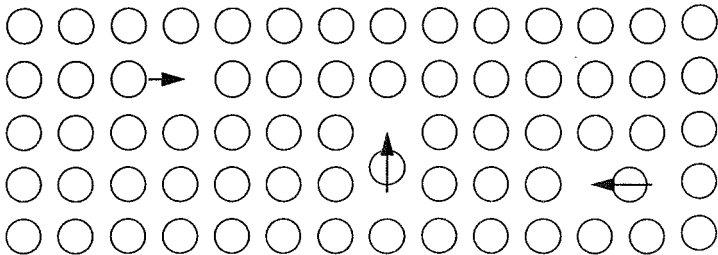


De negatief geladen elektronen bewegen van min naar plus

Tegenwoordig weet ook bijna iedereen dat onze materiële wereld is opgebouwd uit atomen en moleculen. Dat kunnen heel ingewikkelde moleculen zijn zoals in onze organen. Het koperdraadje waar ik het over had heeft als bouwstenen simpelweg koperatomen. Ik teken het draadje op wat grotere schaal, want atomen zijn toch weer een stuk groter dan elektronen.



Die rondjes stellen koperatomen voor, en ze liggen keurig netjes op een rij, op een rooster. Men spreekt van een kristalrooster. Ik heb er hier maar 70 getekend, maar in een koperdraadje zitten er vele miljoenen. In werkelijkheid, en dat is in de regel bij kamertemperatuur, staan die atomen niet helemaal stil, maar ze trillen van de warmte. Verder ontbreekt er altijd hier en daar een atoom. Al trillend kan dan een atoom een sprongetje maken naar een naburige lege plaats. U ziet in de figuur op drie plaatsen een atoom dat kan



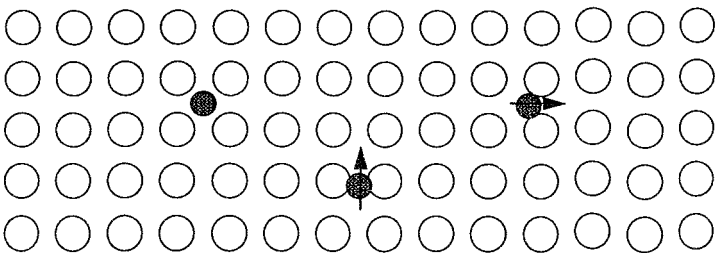
springen of aan het springen is. Als er nu weer een elektrische spanning aangelegd wordt dan springen die atomen niet meer willekeurig, maar ze gaan gemiddeld of naar rechts, of naar links. Die gerichte beweging, die migratie, heet electro-

migratie. Maar u begrijpt wel, al die atomen die bijvoorbeeld naar rechts springen kunnen een opeenhoping van atomen geven ergens rechts in het draadje, en er blijven gaten achter links in het draadje. Dit is een gevreesd proces bij ingenieurs, die hele kleine schakelingen maken, zoals die voorkomen in de chips die in uw PC zitten. Kijk maar wat er kan gebeuren. Zo'n opeenhoping geeft kortsluiting, gaten maken



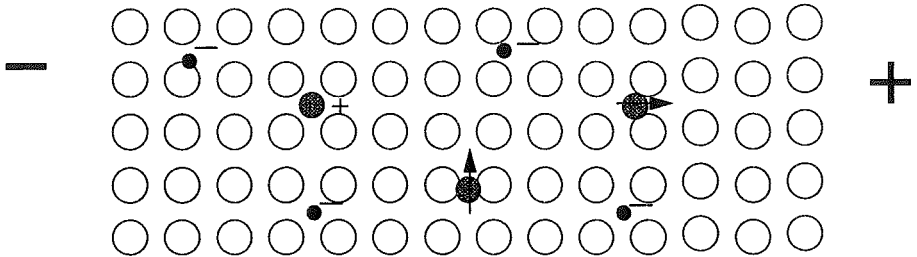
dat het contact verbroken wordt. Voor alle duidelijkheid, de gearceerde aluminiumstripjes zijn gescheiden door een isolerend tussenstukje.

Dit is nogal praktisch, maar tevens aardig ingewikkeld. Wij zullen ons nu concentreren op een eenvoudiger electromigratieproces. Dat van waterstof dat in een metaal is bin-



nengedrongen. Waterstofatomen gaan tussen de metaal-atomen inzitten en kunnen betrekkelijk gemakkelijk van hun holletje naar een naburig holletje springen. We gaan ervan uit dat er slechts hier en daar een waterstofatoom zit. Als er

geen elektrische spanning is gaat zo'n atoom op en neer en heen en weer. Als er wel een spanning aangelegd is gaan ze gemiddeld effectief één kant op. Waar zullen ze heen gaan?



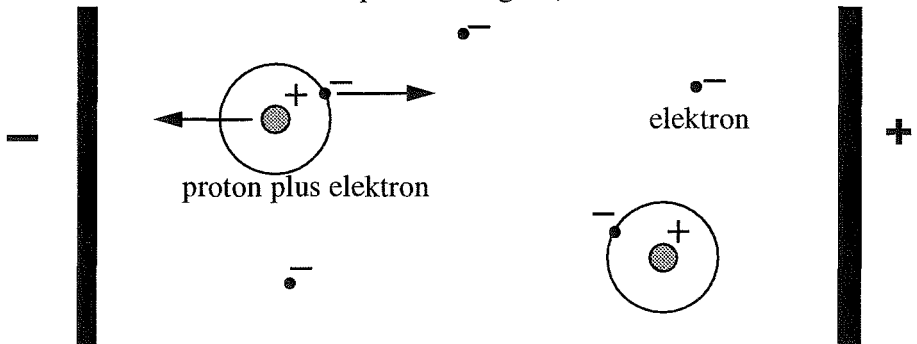
Natuurlijk gaan de elektronen, waarvan ik er nu een paar bijgetekend heb, naar de plus, dus naar rechts. Het waterstofatoom is even sterk positief geladen als het elektron negatief is. Dus, zult u zeggen, het waterstofatoom gaat naar links. De aardigheid is dat dat maar af en toe waar is. In koper en allerlei andere metalen gaat het waterstof juist naar rechts.

Is dat te begrijpen? Inderdaad, en het is niet eens erg moeilijk. Want wat doen de elektronen. Ze bewegen naar rechts en als zodanig loopt er een elektrische stroom. Maar die elektronenstroom ondervindt hinder van de waterstofatomen. Omdat het eigenlijk de atoomkern van het waterstof is, die een aparte naam heeft, namelijk proton, spreken we vanaf nu meestal over protonen. De elektronen botsen dus tegen de protonen op en zijn geneigd ze mee te sleuren. Dat geeft een extra kracht op de protonen. Deze kracht heet grappig genoeg 'windkracht'. De windkracht is onafhankelijk van die andere kracht, die vanwege de positieve protonlading.

Nu zijn we waar we wezen willen. De controverse heeft betrekking op de kracht vanwege de positieve protonlading. Die kracht wordt de directe kracht genoemd. Bestaat die kracht of bestaat die niet. Friedel² vond in 1962 dat die kracht er niet was, terwijl vóór die tijd iedereen dacht van wel. Voor Friedel was er dus alleen een windkracht. Dat gaf tumult, maar Friedel was ervan overtuigd dat zijn resultaat correct was en hij verdedigde het met verve.

Zoals dat altijd gaat met opwinding, als er verder niets meer gebeurt en er komen geen nieuwe feiten bij, dan wordt het een poosje stil. Pas tien jaar later, midden jaren zeventig, leefde de discussie weer op. Er kwam een nieuwe aanpak op de markt³. Die aanpak bood de mogelijkheid om een exacte berekening te maken. Maar dat bleek nogal moeilijk en men kon er slechts benaderde resultaten uit krijgen. Deze resultaten wezen wel in een richting dat de Fransen geen gelijk konden hebben⁴. Maar de Fransen ontplooiden een nieuwe activiteit, dit keer gesteund door de gerenommeerde theoreticus Nozières⁵. Zij bleven erop uitkomen dat de directe kracht nul was. Toen kwam er weer een pauze van een kleine tien jaar.

“Was er dan niemand die het eens probeerde te meten?”, zullen velen van u zich inmiddels afvragen. Hoewel het een moeilijke meting zou zijn, voelde collega Griessen begin jaren 80 het als een uitdaging het te proberen. Vereenvoudigd, maar toch nauw aansluitend bij de probleemstelling, ging het erom of de directe kracht nul of 1 was. Griessen's promovendus Ad Verbruggen deed de meting⁶. In twee metalen vond hij ongeveer 1, maar in een ander metaal vond hij iets minder dan een half. Dus geen nul, maar toch duidelijk veel minder dan 1. Ondertussen leidde de theoreticus Sorbello⁷ een exact resultaat af, maar dat zag er zo lelijk uit dat niemand er gelukkig mee was. Het was geen nul en geen 1, maar ietsje minder dan 1. Het hield in elk geval geen steun in voor het Franse standpunt. Overigens, dat meetresultaat van



'iets minder dan een half' is nog steeds niet verklaard. Ik kom daar nog op terug.

Een plaatje vormt mogelijk een welkome onderbreking. Behalve die twee protonen waar een elektron omheencirkelt heb ik nog enkele loslopende elektronen getekend. De metaalatomen heb ik weggelaten, terwille van de duidelijkheid. U begrijpt dat de kracht op het proton naar links, naar de minpool dus, even groot is als de kracht op het bijbehorende elektron naar rechts. De ladingen zijn immers even groot. Ze hebben alleen een verschillend teken. Zoals het nu getekend is lijken die twee krachten elkaar precies te compenseren. Dat is ook wat Friedel denkt. Anderen denken dat het proton door warmtebeweging plotseling een stapje naar links kan maken, en dat dat zo vlug gaat dat het elektron dat alleen maar kan volgen nadat dat stapje al gemaakt is. Friedel daarentegen denkt dat het elektron zo snel reageert, dat die twee krachten elkaar altijd compenseren. Het is dus nul tegen 1.

Inmiddels had ik Sorbello leren kennen. Dat was in het voorjaar van 1980, toen hij hier een bezoek bracht aan de groep van collega Griessen. Die twee kenden elkaar al van enkele jaren daarvoor toen ze allebei verbonden waren aan de Eidgenössische Technische Hochschule te Zürich. Ik had voor die tijd een methode ontwikkeld om heel nauwkeurig te berekenen hoe elektronen zich in vaste stoffen, in het bijzonder in metalen, gedragen. Sorbello vond die methode prachtig en hij moedigde mij aan deze toe te passen op de windkracht. In 1982 schreven we samen een eerste artikel over het onderwerp⁸ en toen kwam ik pas echt op gang. Er kwam een prachtige theorie voor de windkracht⁹, en in 1987 ging Jan van Ek er getallen van maken. Er waren al allerlei metingen gepubliceerd, maar die waren nog niet in een theoretisch kader geplaatst, dus eigenlijk nog niet verklaard. Dat is hij gaan doen, en met veel succes. In het begin echter, toen hij zich nog aan het inwerken was, wist hij natuurlijk al wel dat er naast de windkracht ook een directe kracht was, maar al studerende kwam hij er ook achter dat er een probleem

mee was. Zo kwam hij bij me en ik stond voor het blok. Ik wist dat die materie hardnekkig was en de artikelen erover heel moeilijk te lezen. Dus kon ik een beginnend promovendus niet vragen dat maar wat verder uit te zoeken. Ik voelde me geroepen ervoor te gaan zitten.

Na enkele maanden geploeter met het bestuderen van de beschikbare literatuur ontdekte ik dat een belangrijke vereenvoudiging mogelijk was. Kort daarna vond ik vrij recht-toe rechtaan het Franse resultaat. Ik ben nu weer terug bij mijn openingszin. In principe was ik hierdoor een verdacht persoon geworden.

Zoals ik al gezegd heb, pas een half jaar later begon ik het resultaat te publiceren. Althans, ik probeerde het. Twee dingen gebeurden. In Amerikaanse tijdschriften werd het geweigerd. Verder had ik de tekst natuurlijk ook toegestuurd aan Sorbello en enkele andere geïnteresseerden. Ik werd overspoeld met opgewonden brieven. Men kwam niet met een weerlegging van mijn theorie, er kwamen slechts argumenten dat het niet waar kon zijn. Dit had natuurlijk wel invloed op mijn gemoedsrust, maar gelukkig kon ik alle argumenten weerleggen. Inmiddels had ik de theorie gepubliceerd in enkele Europese tijdschriften^{10,11}.

Twee voorvallen wil ik u niet onthouden. In april 1989, toen ik net met mijn publicatiepogingen was begonnen en al allerlei reacties had gehad, zou de Voorjaarsvergadering gehouden worden van de Nederlandse Natuurkundige Vereniging, in het Jaarbeursgebouw te Utrecht. En wie zou daar spreken? De Amerikaanse fysicus Landauer. Hij had in het verleden ook iets aan het probleem gedaan, en ik zag het als een buitenkansje om met hem te kunnen praten. Ik legde het contact, we zaten naast elkaar aan de lunchtafel, en zouden na de lunch een uurtje kunnen babbelen. We gingen naar een apart zaaltje en zaten met zijn vieren bij elkaar, Landauer, Jan van Ek, Ad Verbruggen, die zowel mij kende als bij Landauer in New York gewerkt had, en ik.

Wat gebeurde er? Ik begon en stelde een vraag, die noch

fel, noch gemeen was. Maar hoe reageerde Landauer? 'Zie je nou wel', zei hij richting Ad Verbruggen, en hij stond op en wilde kwaad weglopen. Ik vond dat ik me dat niet kon permitteren. Tenslotte had Landauer een wereldnaam, en ik was in wezen nog maar een beginnertje. Dus begon ik te sus-senderen, en bracht in dat het toch slechts een wetenschappelijke discussie betrof. We hebben het drie kwartier volgehouden, maar u begrijpt mijn frustratie. Hoe is zoiets nou mogelijk. Later heb ik begrepen dat iedereen wel problemen had met de nogal kortaangebonden Landauer, maar goed, het was toch maar gepasseerd. Het heeft wat mij betreft tot een derde artikel geleid, waarin ik nogeens van de grond af aan duidelijk maakte hoe het in elkaar zat. Er zaten ook nieuwe elementen in, en aan het eind heb ik Landauer ervoor bedankt, dat onze discussie de noodzaak had blootgelegd om het artikel te schrijven¹².

Het tweede voorval was een ontmoeting met Friedel, voorjaar 1990. Ik moest in Parijs zijn voor een conferentie, maar dat was vlakbij het laboratorium waar Friedel werkte. Hij was toen net zeventig, maar hij kwam nog elke dag langs. We spraken over de materie, en ik zie deze allervriendelijkste man nog tegen me zeggen: "Wat heerlijk dat we over dit onderwerp kunnen spreken zonder al die emoties." Hoewel ik nu hier niet inhoudelijk kan aangeven wat het precies was, heb ik in dat gesprek ook nog iets van hem geleerd. Hij bracht mij nog een belangrijk aspect van het onderwerp onder ogen en dat verduidelijkte veel. Ik ervoer aan den lijve dat Friedel een eminent fysicus was en is!

Na twee jaar was ik het zat. Ik had nog een compromis weten te formuleren, dat gebaseerd was op de beschikbare formules^{13,14}. Het hield in dat het Franse resultaat alleen correct was bij hele lage temperaturen, maar dat bij kamertemperatuur en hogere temperaturen er wel een directe kracht zou kunnen zijn. En juist bij die temperaturen worden de experimenten gedaan. Het Franse resultaat had dus alleen academische waarde. Voor mij was hiermee de kous af. Frie-

del schreef mij dat hij het wel een ingenieus idee vond, maar dat hij er niet door overtuigd was. Hij hield vast aan zijn oude visie.

Tien jaar verstreken en ik deed heel andere dingen. Twee jaar geleden kwam Sorbello weer eens langs, op uitnodiging van collega Griessen. Ik had een vriendschappelijke discussie met hem, en hij liet opnieuw blijken dat hij nog steeds onder de indruk was van mijn windkrachtberekeningen. Het onderwerp van de directe kracht kwam slechts zijdelings aan de orde. Al met al wist ik dat hij de Franse visie afwees. Dat had hij ook duidelijk gemaakt in een uitgebreid overzichtsartikel¹⁵ in 1998.

Nu kom ik bij de titel van mijn rede. Ik zag dat ik in het jaar 2003 wel wat tijd had voor onderzoek. Zou ik nog wat verder gaan met het onderwerp Supergeleiding, waar ik de laatste tien jaar aan gewerkt had? Ik besloot tot iets anders. Ik wou weten hoe het echt zat met die directe kracht. Naar mijn mening was Nozières de aangewezen persoon geweest om dit uit te zoeken, want hij was een theoreticus van formaat, maar hij heeft er verder nooit meer iets aan gedaan. En het is toch theoretische natuurkunde, dacht ik, een op wetenschap gebaseerde activiteit. Daar mocht toch niet iets blijven hangen in een controverse? Ik zag het als een uitdaging om uit te zoeken wat echt waar was. Kortom, het ging om de waarheid. En zeker niet om een of ander gelijk.

Toen ik ruim een jaar geleden ermee begon, was ik een beetje bang dat ik gauw klaar zou zijn. Ik zat er toch nog steeds vrij goed in? Echter, twee maanden gingen al heen met het onderzoeken van allerlei aspecten van de eigen formulering. Uiteindelijk bleef er hetzelfde uit komen. Al doende werd ik telkens weer herinnerd aan Sorbello's karakterisering van het onderwerp, met al die subtiliteiten en wisselende gezichtspunten. Dus moest ik die moeilijke literatuur tot op de bodem doorploegen. Ik zal er niet over uitweiden waarom die literatuur zo moeilijk is. Ik zeg er slechts over, en het klinkt misschien eigenwijs, maar in het verleden was

men met een moeizame formule van start gegaan, en die vroeg om een moeizame uitwerking. Maar hun formule was volkomen gelijkwaardig aan de mijne, dus moest er ook hetzelfde uitkomen. Na veel zuchten, ook dat kostte twee maanden, moest ik erkennen dat ik geen fout kon vinden. Dus terug naar de eigen theorie, die zoveel eenvoudiger was.

Het bleek mij dat op een subtiele manier er toch een extra term tevoorschijn te toveren was¹⁶. In 1991 had ik daar met Nozières al over gesproken. Toen hadden we geconcludeerd dat die term nul moest zijn^{17,18}. Maar na een maand, ergens in juni afgelopen jaar, zag ik in dat die term niet nul was en zelfs veel weg had van wat uit die moeilijke literatuur opgedoken was. Ik kreeg een bevrijd gevoel. *Libertas ex veritas!* Ik meende achter de waarheid gekomen te zijn.

“Lodder Exit”, zult u misschien denken, daarbij refererend aan die bekende kop van het hoofdartikel in het NRC Handelsblad, die gebruikt wordt als er weer eens iemand op moet krassen. Drie maanden geleden was het nog “Oudkerk Exit”, en ruim vijftientig jaar geleden “Aantjes Exit”.

Voor mij lag dat anders. Het ging immers om de waarheid. En wat is de winst als een toevallige fysicus van de Vrije Universiteit zich bekeert? Neen, niet ik had de controverse in het leven geroepen. Ik had hem hoogstens weer eens opnieuw aan het licht gebracht. Neen, het lag voor mij duidelijk dat ik contact moest zoeken met Friedel en Nozières. Ik hoopte erop de controverse uit de wereld te helpen.

In eerste instantie zat het mee. Begin juli, vlak voor mijn vakantie naar Frankrijk, raadpleegde ik het telefoonboek van Parijs en vond tot mijn verrassing adres en telefoonnummer van zowel Jacques Friedel als Philippe Nozières. Op de terugweg klopte ik bij Friedel aan. Het was spannend. Zou hij het zelf nog zijn. Zou het soms zijn zoon zijn? Voor mij was het ontroerend te zien, dat deze oude vriendelijke man zelf open deed. Hij herkende mij nog van ruim tien jaar daarvoor. Wij, mijn echtgenote en ik, dronken er een kopje thee. Friedel was bereid tot een gesprek, en hij zou het fijn vinden als

Nozières er ook bij zou zijn. We spraken af dat ik een tekst zou opsturen met de relevante informatie. Op 22 oktober ontmoetten we elkaar bij Friedel thuis. Het was op zijn voorstel bij hem thuis, omdat zijn vrouw niet meer goed alleen kon zijn.

Het gesprek bij Friedel thuis verliep wat teleurstellend. Hij was en is nog volkomen helder, ondanks zijn 83 jaren, maar hij had toch niet goed naar de tekst gekeken. Nozières corrigeerde Friedel zelfs op een bepaald punt. Uiteindelijk werd het een discussie met wat oude bekende argumenten. De sfeer was allerplezierigst, maar er zat geen schot in. Na een uur was het gewenst te vertrekken in verband met Friedel's echtgenote. Hij bedankte Nozières nog in de veronderstelling dat die nog zijn standpunt deelde. Ik zette de discussie voort met Nozières in een indrukwekkende zaal van het 'Institut de France' aan de Seine. Nozières bleek na enige tijd toch bereid wat te gaan twijfelen.

Terug in Nederland dacht ik eerst dat het een verloren zaak was. Opeens kreeg ik echter de ingeving, dat het mogelijk was een bepaald argument van Friedel, dat gebaseerd was op de heel snelle respons van de elektronen op de beweging van het proton, te ontzenuwen. Ik schreef een uitvoerige brief en eindigde met een dringend beroep om de zaak serieus te heroverwegen. Ik stuurde een kopie naar Nozières en die reageerde vrijwel direct en heel positief. Friedel, die meestal binnen een week respons gegeven had, liet op zich wachten. Vlak voor de Kerst kreeg ik een lange brief van hem, zeer positief gesteld, en het bleek dat hij inderdaad oog gekregen had voor allerlei nieuwe gezichtspunten. Kortom, het bleek toch geen verloren zaak.

Hoe is het overigens met Sorbello, zult u misschien vragen. Toen ik eind januari op dit punt van deze rede gekomen was besloot ik hem te mailen. Hij reageerde direct, en zeer positief. De tekst van zijn mail staat in de gedrukte versie van dit verhaal. Ik releveer slechts de mijmering waarmee hij besluit: "Daar ook ik binnenkort met emeritaat ga, ligt de

verlokking om over de directe kracht na te denken voortdurend op de loer." Hier volgt zijn volledige mailtekst.

Dear Adri,

Thank you for your very nice email letter and your kind words. I wish you a very happy and rewarding retirement, even if it is hard to believe that this is your retirement year. I unfortunately won't be able to be in Europe this Spring, and so I won't be able to take part in the celebration of your many productive years and seminal contributions to condensed matter physics. *Your work has really made a difference.*

Your recent work on the direct force and your discussions with Friedel and Nozieres sound really interesting. (And your perseverance in working out the details of the often not-too-elegant steps of my earlier papers is extraordinary!) I am very much looking forward to any forthcoming papers of yours on these matters. As I, too, approach retirement years, *the allure of thinking about the direct force is always in the background.*

Best Wishes,

Richard

De rest is niet echt interessant. Natuurlijk ga ik het materiaal in publiceerbare vorm brengen. Verder ben ik nog van plan het in juli op een conferentie in de Poolse stad Krakow te gaan vertellen, want daar gaat het over diffusie, en diffusie en electromigratie verhouden zich tot elkaar als moeder en dochter. Wel is het zo dat de nieuwe vereenvoudigde aanpak de mogelijkheid in zich heeft die gemeten waarde van 'iets minder dan een half' nader te bestuderen.

Dus wat zal ik hier nog aan toevoegen. Uiteraard verlang ik u een iets nadere uitwijding over de titel die ik voor deze rede gekozen heb en over het onderwerp wetenschappelijke controverses. Een verhandeling zou zeker te voeren en controverses, hoe interessant ook, laat ik toch maar

rusten. Ik merk slechts op dat controverses vaak betrekking hebben op verschijnselen die niet of nauwelijks te meten zijn. Ze zijn heel hardnekkig en lossen zich vaak pas op als één van de partijen uitsterft. Wat de titel betreft, ik noem u slechts enkele illustraties, want u wist het allang.

U herinnert zich allen nog de verwickelingen rondom Bill Clinton, Mabel Wisse Smit, Rob Oudkerk en Tony Blair aangaande diens voormalige wapenexpert David Kelly. De waarheid was niet altijd even welkom, maar de waarheid was wel bepalend. Men wil de onderste steen boven. Elke dag staat er wel een illustratie van in de krant. Dan komen zelfs die vreselijke, verwoestende zelfmoordaanslagen binnen het gezichtsveld. De noties waarheid en gerechtigheid komen dan dicht bij elkaar. Daarover uitweiden voert te ver. Als een verademing kan teruggedacht worden aan de Commissie voor Waarheid en Verzoening in de jaren negentig na de ontmanteling van het Apartheidsregime. Nog één illustratie. Wat dacht u van die kerkelijke gemeenten die niet verder kunnen met de nieuwe Protestantse Kerk Nederland. Immers, het gaat om de waarheid!

Ik wil liever beginnen expliciet mijn dank uit te spreken. Mogelijk hebt u een ondertoon van dank al beluisterd in mijn verhaal tot nu toe. Halverwege mijn studie natuurkunde heb ik af en toe overwogen om over te stappen naar theologie. Mijn voorliefde voor afleidingen, zeg maar 'sometjes maken', heeft het echter gewonnen. En zo heb ik een vak mogen beoefenen waarbinnen de waarheidsvraag wat gemakkelijker en eenduidiger beantwoord kan worden dan in andere wetenschappen. Een tiental jaren geleden dacht emeritus ethiekhoogleraar Kuitert nog aan een vakgroep 'Waarheid', maar ik houd het voor mogelijk dat hij inmiddels ook daar van afgezien heeft. Dan is mijn vak minder moeizaam, en daar ben ik dankbaar voor.

Eind jaren zestig kwam Professor Blok bij mij langs met de vraag of ik nog een promovendus kon gebruiken. Rare tijden waren dat, want ik was druk bezig met mijn eerste theo-

riepromovendus en was nog niet echt klaar voor een tweede. Het werd Daan Rijsenbrij, en natuurlijk heb ik mijn best gedaan om zijn onderzoek op de rails te zetten. Daartoe werd hij in de gelegenheid gesteld in Parijs een onderzoeksproject nader uit te werken. Hij zat daar in een inspirerende omgeving, en hij kwam thuis met een aangepast project.

Wat moeten wij daar nu mee, zult u vragen. Nu, het heeft iets te maken met waarheid en genoegdoening. Want waar hij mee thuis kwam, de theorie van meervoudige verstrooiing, heeft mij dermate gegrepen dat ik er zelf nog ruim twintig jaar op kon voortborduren.

Het voert me te ver om de andere promovendi met name te noemen. Ze weten hoe fijn ik het vond met hen samen te werken. Hetzelfde geldt voor de afstudeerstudenten. Voorts ben ik blij met de vrijheid die ik bij Natuurkunde&Sterrenkunde genoten heb om mijn onderzoek te doen en om dat onderwijs te verzorgen dat mijn interesse had. Graag wil ik collega Lenstra er voor bedanken, dat ik rustig door heb kunnen werken tot op de dag van vandaag, dank zij de dakpanconstructie met mijn opvolger. De Vrije Universiteit heeft mij mijn werk en mijn ontwikkeling mogelijk gemaakt. Het 'Vrije' van deze universiteit, ongeacht de bekende historische betekenis ervan, bracht mij er zojuist mede toe te verwijzen naar het aloude 'Libertas ex veritas', of wel 'de waarheid zal u vrijmaken', zie Johannes 8:32.

Mijn gevoel van dankbaarheid is groot. Dat komt in het bijzonder tot uitdrukking op een dag als deze. Ik opende het voorwoord van mijn proefschrift met 'De dank is aan God', een lithurgisch zinnetje, en het was toen duidelijk wat dat betekende. In de tussenliggende achtendertig jaar is er veel veranderd. Zijn het mijn ouders, zijn het mijn genen, zijn het mijn geliefden en vrienden? Wat is er in deze tijd eigenlijk nog meer.

Geliefden, vrienden en kennissen, dames en heren, mijn beker is overvloeiende, en de dank is aan God.

Ik heb gezegd.

The truth is the issue

Summary

In electromigration, which is the motion of atoms in a solid under the influence of an electric field, two forces contribute to that motion, the direct force and a wind force. The direct force is due to the charge of the migrating atom. The wind force is due to the electric current. Namely, the electrons, which take care of the electric current, are scattered by the migrating atom and induce a wind effect. The direct force on a hydrogen atom in a metal has been a subject of debate since 1962. In that year Bosvieux and Friedel² predicted a cancellation of the direct force, by which only a wind force would be operating. Others kept supporting the conventional point of view, which amounts to it that a possible screening effect would be small. A controversy was born.

In the middle of the seventies a linear response formulation³ was hoped to lead to conclusive results. This was not achieved in a convincing way, and the controversy was not resolved. In the meantime Nozières⁵ had joined Friedel in his opinion. In 1989 I found a result supporting the French point of view of cancellation of the direct force^{10,11}. Thereupon I formulated a treatment in which the cancellation of the direct force would be only of interest at low temperatures and no longer operative at room temperature and above¹³. Experiments never have shown an indication of a complete cancellation⁶. And electromigration experiments are done at elevated temperatures.

At the end of my career as a theoretician I wanted to find out what is the truth. To my opinion that should be possible in the present case, just representing a part of theoretical physics. The year 2003 was most appropriate for that effort, being the last full year before my retirement.

The subject indeed appeared to be as tricky as was formulated by Sorbello in 1988, see the quotation at the bottom of page 4 of the present text. But it finally turned out, that the

French point of view of cancellation was not correct. Consequently I considered it as a challenge to discuss matters with Friedel and Nozières. It took quite some effort to convince them. This was aimed in an interesting discussion on 22 October 2003 at Friedel's home with both of them¹, and in a subsequent correspondence. Last year Friedel was 83 years old, and Nozières was 71, and both of them were still clear of mind and bright.

The talk, in addition, gives a few examples of the important rôle of truth in life, and ends with an expression of a deep feeling of thankfulness.

Literatuurverwijzingen

1. De foto's van Friedel en Nozières op de bladzijde 5 heb ik genomen op 22 oktober 2003 bij Friedel thuis. De foto van Sorbello is die van zijn homepage. De groepsfoto dateert van een conferentie op het Argonne National Laboratory van juni 1986. Daar staat Sorbello bij. Sommige lezers kennen ook een aantal anderen.
2. C. Bosvieux and J. Friedel, *J. Phys. Chem. Solids* **23** (1962) 123, "Sur l'électrolyse des alliages métalliques".
3. P. Kumar and R. S. Sorbello, *Thin Solid Films* **25** (1975) 25, "Linear Response Theory of the Driving Forces for Electromigration".
4. L. J. Sham, *Physical Review B* **12** (1975) 3142, "Microscopic theory of the driving force in electromigration".
5. L. Turban, P. Nozières, and M. Gerl, *Le Journal de Physique* **37** (1976) 159, "Driving force for the electromigration of an impurity in a homogeneous metal".
6. A. H. Verbruggen, and R. Griessen, *Phys. Rev. B* **32** (1985) 1426, "Experimental evidence for nonintegral di-

- rect-force valence in electromigration".
- 7 R. S. Sorbello, Phys. Rev. B **31** (1985) 798, "Theory of the direct force in electromigration".
 8. R. S. Sorbello, A. Lodder, and S. J. Hoving, Phys. Rev. B **25** (1982) 6178, "Finite-cluster description of electromigration".
 9. A. Lodder, J. Phys. F: Met. Phys. **14** (1984) 2943, "Theory for electromigration in dilute alloys".
 10. A. Lodder, Solid State Communications **71** (1989) 259, "Exact linear-response result for the driving force in electromigration".
 11. A. Lodder, Physica A**158** (1989) 723, "The driving force in electromigration".
 12. A. Lodder, J. Phys. Chem. Solids **51** (1990) 19, "Momentum-balance considerations in electromigration revisited".
 13. A. Lodder, J. Phys.: Cond. Matter **3** (1991) 399, "Electromigration of hydrogen in V, Nb and Ta: a new description of the measured sample-resistivity-dependent effective valence".
 14. J. van Ek and A. Lodder, Defect and Diffusion Forum **115-116** (1994) 1, "Electromigration of Hydrogen in Metals: Theory and Experiment".
 15. R. S. Sorbello, in *Solid State Physics*, Vol. 51, Eds. H. Ehrenreich and F. Spaepen (Academic Press, San Diego, 1998), page 159, "Theory of Electromigration".
 16. R. S. Sorbello, Solid State Comm. **76** (1990) 747, "Corrections to Lodder's "exact" electromigration theory".
 17. A. Lodder, Solid State Comm. **79** (1991) 143 "Clarification of the direct-force controversy in electromigration theory".
 18. A. Lodder, Solid State Comm. **79** (1991) 147, "On Sorbello's corrections to the new electromigration theory".

Curriculum vitae

Prof. dr. A. Lodder was van 1 juni 1963 tot 22 mei 2003 verbonden aan de Vrije Universiteit te Amsterdam, aanvankelijk als wetenschappelijk medewerker, vanaf 1973 als lector en vanaf 1980 als hoogleraar.

Adri Lodder, op 22 mei 1939 te Oud-Beijerland geboren, behaalde aldaar het H.B.S.-B diploma en ging in 1956 natuurkunde en wiskunde met scheikunde studeren aan de Vrije Universiteit. Op 30 mei 1963 deed hij daar het doctoraal examen theoretische natuurkunde. Aansluitend, van 1 juni 1963 tot 1 oktober 1965, verrichtte hij daar promotieonderzoek in dienst van de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie. Daarna werd hij benoemd tot wetenschappelijk hoofdmedewerker aan de Vrije Universiteit met de opdracht leiding te geven aan de onderzoeksafdeling Fysica van de Vaste Stof. Ondertussen promoveerde hij op 1 juli 1966 op een onderwerp uit de theoretische kernfysica.

Vanaf 1 september 1967 was hij voor een vol jaar vrijwel vrijgesteld van zijn verantwoordelijkheid voor de Afdeling Fysica van de Vaste Stof. Dit verlof wendde hij aan om onderzoek te doen in de Verenigde Staten van Amerika. De kosten voor dit jaar werden gedragen door de Nederlandse Stichting voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek, maar hij bleef in dienst van de Vrije Universiteit. In dat jaar werd, dank zij de inspiratie van Professor Shigeji Fujita, de basis gelegd voor een aanzienlijke inspanning op het gebied van de elektrische transporttheorie, in het bijzonder gebaseerd op het lineaire responsieformalisme.

Per 1 december 1973 werd hij benoemd tot lector in de Fysica van de Vaste Stof, met name in de theoretische aspecten daarvan. Per 1 januari 1980 werd dit lectoraat omgezet in een hoogleraarschap. Ondertussen had hij technieken ontwikkeld om realistische berekeningen te doen aan de ver-

strooiing van elektronen aan onzuiverheden in metalen. Dit maakte een onderzoeksinspanning mogelijk die van 1976 tot 1998 duurde, waartoe ook het electromigratieonderzoek gerekend wordt. Het heeft tot zes doctoraten geleid. De laatste tien jaar werden ook mesoscopische systemen bestudeerd waarin supergeleiding een belangrijke rol speelt, zowel met vier promovendi als in samenwerking met Yuli Nazarov.

Hoewel zijn hoofdaandacht altijd is uitgegaan naar het doen van onderzoek, heeft hij ook bijgedragen tot een aantal algemene zaken. Hiervan worden er slechts vijf genoemd. Eind jaren zeventig is hij een drietal jaren voorzitter geweest van de Commissie Onderwijs van de Kamer Natuurkunde van de Academische Raad. In dezelfde periode was hij lid van eenzelfde commissie van de Nederlandse Natuurkundige Vereniging. Als voorzitter van de toenmalige subfacultaire onderwijscommissie heeft hij in het jaar 1981 de basis gelegd voor het nieuwe vierjarige curriculum voor de natuurkundeopleiding aan de Vrije Universiteit. In datzelfde jaar heeft hij ten behoeve van de betafaculteiten, in samenwerking met Professor Lever, de Beleidsnota Algemene Vorming geschreven. Deze nota heeft twintig jaar lang als uitgangspunt gediend voor dit facultaire onderwijs. Tenslotte is hij de afgelopen tien jaar lid geweest van de Commissie voor het Studium Generale van het College van Decanen, waarvan de laatste zeven jaar als voorzitter.



derzoeken doorgeven veronderstellen bevestigen luister
geven veronderstellen bevestigen luisteren verwonderen waarnemen verwijzen vergelijken verbind
en doorgeven veronderstellen bevestigen luister
eken doorgeven veronderstellen bevestigen luisteren verwonderen waarnemen verwijzen vergelijken verbind
oken doorgeven veronderstellen bevestigen luisteren
zoeken doorgeven veronderstellen bevestig
eken doorgeven veronderstellen bevestigen luisteren verwonderen waarnemen verwijzen vergelij
erzoeken doorgeven veronderstellen bevestigen luistere
onderen waarnemen verwijzen vergelijken verbinden toetsen onderzoeken doorgeven veronderst



VU Boekhandel/Uitgeverij Amsterdam
ISBN 90 - 5383 - 915-1