

N, met de volgende eigenschappen:

(a) N^{13} heeft hetzelfde laatste cijfer als N.

(b) De som van de cijfers van N^{13} is gelijk aan de som van cijfers van N^{31} .

Als de som meer dan een cijfer heeft, tel deze cijfers dan bij elkaar op, en herhaald deze procedure tot er alleen een cijfer overblijft.

(c) $N^{13} - N$ is deelbaar door 13.

Oplossingen van de puzzels van het vorige nummer

S.O. Mess: Steek de touwen aan beide uiteinden aan: Dan is het 8 minuten touw zeker in 4 minuten doorgebrand, en dat van 2 minuten in 1 minuut. Zo kun je 5 minuten meten.

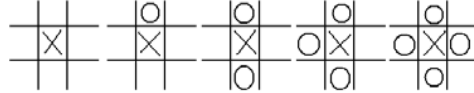
Playing hard to get: Neem aan dat de vijver straal 1 heeft. Het meisje moet tot een afstand $1/4$ van het centrum van de vijver zien te komen, met de jongen op $5/4$ afstand. Als de afstand van haar tot het centrum kleiner dan $1/4$ is en ze draait in cirkels rond, dan is haar hoeksnelheid groter dan die van de jongen. Ze kan dus in een spiraal roeien en tot $1/4$ van het centrum komen, met de jongen $5/4$ van haar af. Dan kan ze recht voor land roeien: Zij moet nog $3/4$ afleggen, en de jongen π . Dat haalt ze net.

Ben jij nog wakker: De waarde van gouden munten is evenredig met hun gewicht. Een kilo is dus meer waard dan een halve kilo.

Tic tac toe revisited: De eerste speler wint altijd. Hij begint in het midden, dan kunnen er twee paden worden gevolgd, zie figuur 1 en 2.



Figuur 1



Figuur 2

The gods don't all play dice: Er stond helaas een fout in de puzzel. Men moest door het stellen van één vraag aan één god alleen vaststellen wie die god is. De vraag is: "Als ik jou oneindig vaak zou vragen of jij Walter bent, wat zou jij dan elke keer beantwoorden?" Walter zegt ja, Lucille nee, Sjonnie staat daar met zijn mond vol tanden, en zwijgt.

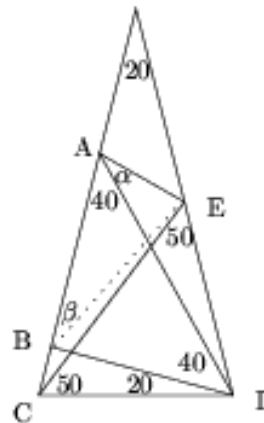
Just asking: Het antwoord stond op blz. 7.

Bedrieglijk moeilijk: Voeg aan de driehoek het lijnstuk BD toe, onder een hoek van 20° met de basis (zie figuur).

Door naar de hoeken te kijken zie je dat er ineens een aantal gelijkbenige driehoeken in de figuur zijn ontstaan: ABD, BCD en CDE zijn gelijkbenig. Hieruit volgt dat de lijnstukken AB, BD, CD en DE allemaal even lang zijn. Bovendien is de hoek $\angle BDE = 60^\circ$, en dus is de driehoek BDE gelijkzijdig. De lengte BE is daarom gelijk aan BD, en dus aan AB. Driehoek ABE is dus ook gelijkbenig.

Maar we weten dat $\beta = 40^\circ$. Hieruit volgt direct dat $\alpha = 30^\circ$.

Bedankt aan Wouter Kager, OIO aan het Instituut voor Theoretische Fysica, voor het opzoeken van deze oplossing.



Figuur 3

Scoop

Oplage 300
Verschijning September 2002

Hoofdredactie

Charles Mathy

Eindredactie

Jorn Mossel

Redactie

Paul Friedel, Zdenko van Kesteren,
Vincent van der Noort

Redactieadres

Studievereniging NSA
Universiteit van Amsterdam
Nieuwe Achtergracht 170
1018 W V Amsterdam
tel: 020-525 5882
mail: scoop@science.uva.nl
www.science.uva.nl/student/scoop

Contributies

Evert Glebbeek, Klaas Landsman,
Thomas Miedema

Ontwerp

Charles Mathy

Scoop is het blad van de studievereniging NSA. Het is gratis voor alle studenten en medewerkers van de studies natuurkunde, sterrenkunde, wiskunde en statistiek aan de Universiteit van Amsterdam. Losse nummers kunnen bij de redactie worden aangevraagd.

Gedeeltelijke of volledige overname van artikelen uit dit blad is niet toegestaan zonder schriftelijke toestemming van de hoofdredactie.

Welkom

Je hebt in je handen het tweede nummer van Scoop, het blad van de studievereniging NSA. Het eerste nummer heeft nogal wat enthousiaste reacties opgewekt, van studenten en docenten. Ik ben zelfs door Chris Zaal, uitgever en redacteur van Pythagoras en Nieuw Archief voor Wiskunde, gefeliciteerd. Hoe het blad ooit zo ver als Leiden is gekomen is voor mij een van de grootste onopgeloste problemen. Wie weet wat voor exotische reizen Scoop te wachten staat. Maar zoals prof. Veltman, Nobelprijswinnaar en emeritus hoogleraar natuurkunde, tegen mij zei toen ik hem het blad liet zien: "Het eerste nummer is altijd goed. De uitdaging is om het voort te zetten". Dat zullen we zeker proberen. We hebben een redactie opgericht, en hopelijk zal het lukken om deze redactie voortdurend met vers bloed aan te vullen.

Dit tweede nummer blijft trouw aan de stijl en inhoud van het openingsnummer. Toen de artikelen in de maak waren was politiek een hot topic. Daarom hebben twee studenten hun kennis van de wetenschap losgelaten op het politieke systeem van Nederland, om deze proberen te doorgronden. Een van de studenten is wiskundige, de ander natuurkundige, dat biedt zeer uiteenlopende perspectieven. Aangezien er een nieuwe afstudeerrichting bestaat, heeft prof. Landsman een artikel geschreven over de geschiedenis van mathematische fysica. Natuurlijk is er ook een scoop, de Scanning Tunneling Microscope. Kom je alleen voor de prijzen, werp dan een blik op de puzzels.

Geniet ervan, en succes met het komende jaar.

Charles Mathy
Hoofdredacteur

Charles Mathy

PUZZLES & RIDDLES

20 Politiek en renormalisatie

23 Verkiezingsparadoxen

Twee studenten van verschillende vakgebieden bestuderen het Nederlandse verkiezingssysteem. Twee vakgebieden, één conclusie.

5 Mathematische fysica

Prof. Klaas Landsman vertelt over zijn vakgebied.

3	NSAagenda
4	Woord van het nieuw bestuur
5	Mathematische fysica
9	Scanning Tunneling Microscope
14	Bèta's en onbegrip
19	Shell kruiswoordpuzzel
20	Politiek en renormalisatie
23	Verkiezingsparadoxen
31	Hersenwerk: puzzles

14 Bèta's en onbegrip

Bèta's zijn in de 'normale wereld' nogal onbegrepen. Een student deelt zijn ervaring hiermee.

Het is altijd leuk om een puzzelartikel voor beta's te schrijven: Aan het aantal reacties dat ik krijg is te zien hoeveel mensen onder ons ook weten hoe je de dode tijd kunt invullen (Ik los zelf problemen op als ik op de fiets zit). Heeft iemand het zomernummer van de Folia gezien, #40? Op blz. 11 stonden de meest saaie, uitgemolken, wolf-geit-kool puzzels ooit verzonnen. Misschien moet ik maar een puzzelrubriek voor de Folia schrijven, eens kijken hoe goed die andere letters van het alfabet tegen een uitdaging kunnen.

Er wordt weergegeven ongeveer hoe moeilijk een puzzel is: hoe meer sterren, hoe meer middagen je ervoor na zult moeten denken. De persoon die de meest volledige en elegante oplossing opstuurt, krijgt een prijs die binnen de UvA onmisbaar is geworden: Een volle kopieerkaart. Heb je die al, dan wordt het een bioscoopbon.

* Factoren

Vind twee getallen die ongelijk aan elkaar zijn, A en B, zodat $A + n$ een deler is van $B + n$ voor alle waarden van n van 0 tot 10.

** Omsingeld door leugenaars

Professor P. bezoekt voor de zoveelste keer Aristotelia, de beroemde stad waar alle bewoners alle vragen beantwoorden die ze kunnen beantwoorden, maar hun antwoord kan de waarheid of een leugen zijn, afhankelijk van zijn/haar stemming.

Dat maakt het leven in Aristotelia moeilijk. Maar Professor P. kon de naam van elke inwoner bepalen, door een vraag te stellen. Wat is die vraag?

Just asking

Wat is het thema van de voorkant van dit blad?

*** Die ogen

Staat het hoofd van het meisje in het schilderij "Meisje met parel" van Johannes Vermeer stil, of is ze in beweging? Je kunt het schilderij vinden op www.geheugenvannederland.nl/mauritshuis.

* Een voorwerp in beweging

Een voorwerp is in beweging door een stationair medium. Als het omringende medium afwezig was geweest, dan zou het voorwerp gewoon eenparig bewegen met een constante snelheid. Maar omdat het voorwerp energie verliest door wrijving met de omgeving, gaat hij sneller bewegen. Leg uit.

** Deze moet lukken

Deze probleem is opgedragen aan de degenen die nooit een probleem hebben kunnen oplossen, hoe makkelijk dat ook leek te zijn. Vind een getal

Kiezers	parkeergarage	fusie	privatisering	gekozen partij
A: 20%	Leefbaar Z	Leefbaar Z	Z Belangen	Leefbaar Z
B: 20%	Leefbaar Z	Z belangen	Leefbaar Z	Leefbaar Z
C: 20%	Z Belangen	Leefbaar Z	Leefbaar Z	Leefbaar Z
D: 40%	Z Belangen	Z Belangen	Z Belangen	Z Belangen
Winnaar				
referendum:	Z Belangen 60%	Z Belangen 60%	Z Belangen 60%	

Bij de verkiezingen wint Leefbaar Zwaanhoven met 60 procent van de stemmen. Maar als er referenda gehouden zouden worden zou Zwaanhoven Belangen op alle drie de punten zijn zin krijgen en Leefbaar Zwaanhoven achter het net vissen.

Aanvullende literatuur:

Meer over verkiezingsparadoxen en nog talloze andere overtuigende bewijzen dat wiskunde in uitzonderlijke gevallen erg leuk, spannend en tot de verbeelding sprekend kan zijn, in De wraak van Archimedes ("Archimedes' revenge") van Paul Hoffman. Wat verder ook een ontzettend leuk boek is dat iedereen moet lezen: interessant, geestig en geschreven voor de spreekwoordelijke geïnteresseerde leek.

Nog meer over verkiezingsparadoxen in Verkiezingen een web van paradoxen van H. de Swart, A van Deemen, E van der Hout en P. Klop. (deel 8 uit de Zebrareeks van boekjes over interessante wiskunde die buiten de lesstof van de tweede fase valt). Hoewel het dus geschreven is voor middelbare scholieren, verraadt de stijl dat de auteurs de laatste jaren meer wiskundige dan gewone teksten geschreven en misschien ook wel gelezen hebben. Ik ben er dan ook beduidend minder enthousiast over dan de wraak van Archimedes, maar over verkiezingsparadoxen en kiessystemen in het algemeen staat er wel meer in.

NSAgenda

September

2 t/m 5 Introductie week

19 Bestuurswissel borrel

Gratis voor alle medewerkers en studenten. In Diamantslijperij. Kom allemaal.

Reeks lezingen

De NSA organiseert een aantal lezingen, in samenwerking met het vak keuzevoorlichting. De data: 25 september, 9 oktober en 13 november. De inhoud is nog niet vastgesteld, deze zal bekend worden gemaakt dmv. posters.

27 t/m 29 Eerstejaarsweekend

We gaan met z'n allen naar een verlaten eiland, of zoiets (de Klonie in Drenthe). In zo'n weekend leer je, je klasgenoten (van een andere kant) kennen. We gaan samen met de VIA. Dat is elk jaar een succes.

November

Excursie naar een bedrijf

Mei

Vanaf 11 Buitenlandse excursie naar Frankrijk

In Frankrijk is er aan natuurkunde genoeg te beleven. We gaan daar bij een aantal onderzoeksinstituten rondkijken. Maar wees gerust: In het programma zal er zeker genoeg plaats zijn voor het genieten van de lokale savoir-vivre.

Thomas Miedema

Woord van het nieuwe bestuur

Ok, we beginnen helemaal opnieuw. Jij bent student. Wij ook. Jij studeert natuurkunde, sterrenkunde, wiskunde of statistiek aan de UvA. Wij ook. Jij wilt graag zo snel mogelijk al je EC-studiepunten verzamelen. Wij ook. Maar het moet ondertussen wel een beetje leuk en gezellig zijn. Kijk, en dat vinden wij nou ook. En daarom hebben wij ons vorig jaar verkiesbaar gesteld voor het bestuur van de studievereniging NSA. Per 1 september bestaat dit bestuur uit:

Thomas Miedema, 4e-jaars natuurkunde, voorzitter.
Judith Groot, 3e-jaars wiskunde, vice-voorzitter.
Jorn Mossel, 2e-jaars natuurkunde en wiskunde, secretaris.
Marieke Jesse, 2e-jaars wiskunde, penningmeester.
Yan Grange, 2e-jaars natuurkunde, onderwijscommissaris.

Wat wij gaan doen? Artikel 2 van de (nieuwe) statuten van de vereniging stelt: "De vereniging stelt zich ten doel de bevordering van de omstandigheden van de studie van haar leden in de ruimste zin des woords." Wij interpreteren dat voorlopig als volgt:

- Een nieuwe pingpongtafel in de NSA-ruimte van de Diamantslijperij.
- 19 september: Gratis borrel voor alle studenten en medewerkers.
- Iedere maand: Borrel voor de betere onderlinge contacten. Helaas niet gratis.
- 25 september: De eerste van een serie lezingen voor het vak keuzevoorlichting.
- Oktober: Eerstejaarsweekend voor alle eerstejaars studenten.
- Voorjaar 2003: Buitenlandse studiereis.

Wat kan jij doen? Allereerst lid worden, al was het maar om boeken te kunnen kopen. Vervolgens natuurlijk verschijnen tijdens één van onze activiteiten. Ideeën voor nieuwe activiteiten zijn altijd welkom: er is geld beschikbaar. Ook zijn wij op zoek naar studenten die plaats willen nemen in een van onze commissies, bijvoorbeeld om de studiereis te organiseren. Stuur daarvoor een e-mail naar nsa@science.uva.nl. Of spreek iemand van ons aan, bijvoorbeeld tijdens de borrel van 19 september.

Namens het (nieuwe) bestuur van de NSA,

Thomas Miedema

antwoord is ja, en dit systeem heet dictatuur. Dit wil niet zeggen dat dictatuur wiskundig het meest democratische systeem is. We kunnen namelijk gewoon een eis aan onze volmaakte democratie toevoegen, bijvoorbeeld dat alle stemmen even zwaar moeten meetellen. Ga na dat in een districtensysteem zoals in Engeland ook niet aan deze eis voldoet.

Wat nu in 1950 door Keneth Arrow bewezen is, is het volgende: er is geen systeem dat

- niet dictatoriaal is (niet iedereen hoeft gelijk behandeld te worden, maar je moet het niet te bond maken),
- neutraal (alle partijen worden gelijk behandeld),
- aan de Pareto eis voldoet (als iedereen A beter vindt dan B moet A ook beter uit de bus komen dan B)
- transitief is (Er is wel een uitslag).

Dit klinkt nogal schokkend. De (nog niet eens zo heel) Volmaakte Democratie is wiskundig bewezen (niet te verwarren met statistisch bewezen) onhaalbaar.

En nu?

De vraag is wat we daar mee aanmoeten in de praktijk. Ik zou zeggen dat we een keuze moeten maken welke eisen aan de democratie we belangrijker vinden dan andere. En dan een systeem zoeken dat het best aan die eisen voldoet.

Vershil tussen verkiezingen en referenda

In de Gemeente Zwaanhoven zijn twee partijen: Zwaanhoven Belangen en Leefbaar Zwaanhoven. Bovendien draaien de verkiezingen geheel om drie thema's: de bouw van een parkeergarage in een park, een fusie met de nabijgelegen gemeente Oest en de privatisering van het Zwaanhovens Vervoerbedrijf. Op al deze drie punten zijn de partijen het niet met elkaar eens. Als de één voor is, is de ander tegen, en andersom.

De meningen van de kiezers zijn verdeeld. Ze zijn in te delen in 4 groepen Hieronder staat aangegeven hoe deze groepen het per vraagstuk met de verschillende partijen eens zijn en hoe groot ze zijn. We gaan ervan uit dat alle kiezers alle drie de vraagstukken even belangrijk vinden en dus stemmen op de partij met wie ze het op minstens twee van de drie punten eens zijn.

fauteuil op zijn beurt wint weer van de multifunctionele klapstoel, maar de multifunctionele klapstoel wint van de rotanstoel. Twee-aan-twee vergelijken geeft misschien het best de 'mening van de samenleving als geheel' weer, maar de samenleving als geheel denkt niet altijd logisch na.

We zouden natuurlijk (zoals Anna voorstelt in het voorbeeld van de stoelen) een van de drie vergelijkingen niet kunnen uitvoeren, maar in dat geval worden de stoelen niet gelijkwaardig behandeld. Als extra eis aan volmaakte democratie zouden we willen toevoegen dat alle partijen of dingen waartussen gekozen moet worden, gelijk worden behandeld.

Eisen aan je kiessysteem

Dan hebben we in totaal vijf eisen waaraan een volmaakte democratie zou moeten voldoen:

- **Neutraliteit:** alle partijen worden gelijk behandeld
- **Meerderheidsprincipe:** als de meerderheid partij A boven partij B verkiest moet A ook boven B eindigen
- **Monotonie:** als iemand van gedachten verandert en partij A hoger waardeert dan eerst, dan moet A er ook in de uitslag op vooruit gaan.
- **Onafhankelijkheid van irrelevante alternatieven:** toevoegen en weer verwijderen van partijen heeft geen invloed
- **Transitiviteit:** als A eindigt boven B en B boven C dan eindigt A automatisch ook boven C. Dit is dus niet haalbaar bij twee-aan-twee vergelijken.

De uitdaging is nu: kunnen we een kiessysteem bedenken dat aan alle vijf eisen voldoet?

Het antwoord is nee. Dit neemt echter niet weg dat je het niet kunt proberen. Er zijn een hoop kiessystemen te bedenken die een stuk eerlijker lijken dan meeste-stemmen-gelden, maar weer andere paradoxen hebben. Bijvoorbeeld dat sommige kiezers hun eerste keus meer helpen door thuis te blijven dan door te gaan stemmen (dit is het geval in het systeem van Ierland en Malta).

Je kan ook zeggen dat het meerderheidsprincipe en monotonie gewoon te veel gevraagd zijn. Laten we monotonie gewoon afschaffen als eis en het meerderheidsprincipe vervangen door de (onbetwistbaar redelijke) 'Pareto eis': Als iedereen partij A boven B verkiest moet A ook boven B eindigen in de verkiezingen.

Is er een systeem dat aan deze eis voldoet, transitief is, onafhankelijk van irrelevante alternatieven en alle partijen gelijk behandelt? Het

Klaas Landsman

Nieuwe masteropleiding: Mathematische fysica

In september 2003 zal aan de UvA de nieuwe tweejarige masteropleiding mathematische fysica van start gaan (en in het jaar 2002-2003 is het alvast een afstudeerrichting voor wiskundigen of theoretisch fysici). Mathematisch fysicus prof. Klaas Landsman vertelt over zijn vakgebied en de geschiedenis daarvan.

Tot het begin van de 20e eeuw waren de wiskunde en de (theoretische) natuurkunde onlosmakelijk met elkaar verbonden. Vooruitgang vond dikwijls gelijktijdig op beide fronten plaats en vaak zelfs door dezelfde persoon. Ter illustratie mag het noemen van enige wetenschappers volstaan: Newton, Euler, Lagrange, Laplace, Fourier, Gauss, Poisson, Cauchy, Jacobi, Hamilton, Riemann. Met hun vakgebieden: mechanica, calculus, hydrodynamica, partiële differentiaalvergelijkingen, variatierekening, hemelmechanica, warmtegeleiding, harmonische analyse, differentiaalmeetkunde, elektriciteitsleer, potentiaaltheorie, complexe analyse, optica, topologie, etc.. Hun werk vormt de grondslag van de klassieke mathematische fysica, die tot de dag van vandaag actueel is. De laatste persoon die zowel de gehele wiskunde als natuurkunde van zijn tijd beheerste, was vermoedelijk Poincaré.

Eerste helft 20^e eeuw

In de eerste helft van de 20^e eeuw valt het op dat enige van de grootste en tevens meest universele wiskundigen, als Hilbert, Weyl, Von Neumann, en Kolmogorov, bijzondere belangstelling voor natuurkunde hadden. Ze lieten zich hierdoor ook in hun wiskundige werk inspireren. Zo werd Von Neumanns theorie van

Hilbert-ruimten en operator-algebra's mede gemotiveerd door het doel de quantummechanica een solide wiskundige grondslag te geven. Ook de distributietheorie en de theorie van Lie-groepen hebben van de quantummechanica geprofiteerd. Op langere termijn beïnvloedde fysisch gemotiveerd wiskundig werk dan ook weer de natuurkunde, zoals in het voorbeeld van ijktheorieën te zien is. Omgekeerd waren fysici als Einstein,

Poincaré beheerste zowel de gehele wiskunde als natuurkunde

Born, Dirac en Wigner uitstekend op de hoogte van de wiskunde van hun tijd. De algemene relativiteitstheorie, de matrixmechanica en de hieruit voortvloeiende moderne quantummechanica, en de theorie van atoomspectra zouden niet of veel later zijn ontstaan zonder hun kennis van respectievelijk de Riemannse meetkunde, de niet-commutatieve algebra en de theorie van groepen. Opgemerkt mag ook worden dat Wigner ("If there ever was a mathematical physicist, it was Wigner.") het verband tussen speciale functies en groeps-representaties ontdekte. Zelfs in afwezigheid van universele geleerden ging de wederzijdse kruisbestuiving tussen de

wis- en de natuurkunde dus gewoon door.

Na de oorlog

Karakteristiek voor de naoorlogse periode is dat het front van de fysica niet of nauwelijks gebruik maakte van geavanceerde wiskunde. Een topfysicus als Feynman sprak zelfs zijn verachting over de wiskunde uit. De populariteit van het idee dat de theoretische fysica een serie van approximaties in plaats van een logische wiskundige beschrijving van de natuur moet geven viel samen met de tanende invloed van Einstein. De (niet-klassieke) mathematische fysica zag het intussen als haar taak het werk van Von Neumann aan de wiskundige formulering van de quantummechanica voort te zetten. Dit leidde tot de theorie van Schrödinger-operatoren (Kato) en tevens tot pogingen de recent ontwikkelde quantumveldentheorie wiskundig te beschrijven. In de formulering van Wightman spelen distributies en complexe functietheorie een centrale rol. Later ontstond hieruit de constructieve quantumveldentheorie. Met *pad-integraalmethoden* werden laag-dimensionele quantumveldentheorieën met interactie voor het eerst wiskundig beschreven (Glimm en Jaffe). De aanpak van Haag leidde tot een interactie tussen de theorie van operator-algebra's en de quantumfysica die nog steeds gaande is. Hoogtepunten hierin zijn: de theorie van deeltjesstatistiek en superselectiesectoren in de quantumveldentheorie (Doplicher, Haag, en Roberts), en de classificatie van Von Neumann algebra's door

Connes, die wezenlijk gebruikt maakte van ideeën uit de quantum-statistische mechanica.

Tegelijkertijd werd de moderne wiskundige formulering van de klassieke mechanica m.b.v. symplectische meetkunde ontwikkeld. In de klassieke mathematische fysica werd de inverse-scatteringmethode ontdekt (ter oplossing van bijvoorbeeld de Korteweg-de Vries vergelijking), die tot grote populariteit van solitonen leidde. Een ander spectaculair hoogtepunt van de mathematische fysica in de jaren 60 zijn de singulariteitsstellingen voor de algemene relativiteitstheorie van Hawking en Penrose.

Feynman sprak zelfs zijn verachting over de wiskunde uit

Al met al was de mathematische fysica van 1945 tot circa 1980 een respectabele maar nogal technische aangelegenheid, die niet op grote schaal tot de verbeelding sprak. Niettemin werd in die tijd de basis gelegd voor de doorbraken vanaf 1980. Naast de zojuist beschreven ontwikkelingen vonden bijvoorbeeld methoden uit de algebraïsche topologie (homotopie etc.) hun weg in zowel de theorie van gecondenseerde materie als in de quantumveldentheorie. Omgekeerd zou de studie van topologische effecten en anomalieën in Yang-Mills ijktheorieën in de jaren 70 op gang gebracht door o.a. 't Hooft, later van groot wiskundig belang blijken te zijn. Deze verschijnselen werden al eerder in verband gebracht met de Atiyah-Singer indexstelling uit de globale differentiaalmeetkunde.

3. China (met 0 stemmen)

De klas besluit naar België te gaan. 's Avonds is echter op het nieuws dat in België oorlog is uitgebroken. De ouderraad acht het niet verantwoordelijk om in deze omstandigheden naar België te gaan en de klas kiest voor zijn tweede keus: Japan. Dit is natuurlijk niet helemaal eerlijk. Als de oorlog een dag eerder was uitgebroken en er meteen alleen tussen China en Japan gestemd was, had China overtuigend met 16 tegen 4 gewonnen. Dit mankement van het kiessysteem nodigt natuurlijk uit tot vreselijke fraude. Stel dat de keus oorspronkelijk alleen tussen China en Japan ging. Piet voelde al aankomen dat hij vreselijk ging verliezen en zat danig met de handen in het haar. Toen hoorde hij opeens een piepje in zijn broekzak. Zijn sms-nieuwsdienst vertelde hem als eerste en als enige over de oorlog in België die zojuist begonnen was. Prompt lanceerde hij het irrelevante alternatief België als derde vakantiebestemming. Hij gaf hoog op van de goede keuken en de frisse boslucht en al zijn klasgenoten gingen voor de bijl. België won de verkiezingen als hierboven, met als goede tweede Japan. 's Avonds zag iedereen het nieuws en de volgende dag besloot de klas naar Japan te gaan, in plaats van het logischer lijkende China. We zeggen dat dit de meeste-stemmen-gelden-systeem niet onafhankelijk van irrelevante alternatieven is.

Ga na dat twee-aan-twee vergelijken wel onafhankelijk van irrelevante alternatieven is: d.w.z. het toevoegen en achteraf weer weghalen van een extra keuzemogelijkheid verandert niks aan de verhoudingen tussen de andere mogelijkheden.

Twee-aan-twee vergelijken in de praktijk

Dit alles roept twee vragen op: 'merken we nou ook wat van in het echt?' en 'als twee-aan-twee vergelijken dan zoveel beter is dan de meeste-stemmen-gelden, waarom doen we dat dan niet?'

Het antwoord op de eerste vraag is waarschijnlijk ja. Op grond van opiniepeilingen is dit berekend voor een aantal Nederlandse Tweede Kamerverkiezingen. Zie hiervoor A. van Deemen en N. Vergunst, *Empirical evidence of paradoxes of voting in Dutch elections*. In: *Public Choice*, 97, blz 475-490, 1998. In de verkiezingen van 1994 won D66 bij twee-aan-twee vergelijken van de PvdA, het CDA en de VVD, maar al deze partijen behaalden meer zetels dan D66.

Dan de vraag waarom twee-aan-twee vergelijken niet wordt toegepast. De reden is vrij eenvoudig: er is niet altijd een uitslag. Kijk nog eens naar het voorbeeld van de stoelen. Bij twee-aan-twee vergelijken wint de rotanstoel van de lederen fauteuil, de lederen

dat zo'n aardverschuiving in 'de mening van de kiezers' van grote invloed is op de uitslag van de verkiezingen. Dit is bij de meeste-stemmen-gelden echter helemaal niet het geval!

De nieuwe voorkeuren:

1e keus	2e keus	3e keus	Aantal
geel	turquoise	oranje	12 leden
turquoise	geel	oranje	3 leden
turquoise	oranje	geel	7 leden
oranje	geel	turquoise	3 leden
oranje	turquoise	geel	6 leden

Wat is met de nieuwe voorkeuren de 'nieuwe' uitslag als ieder lid zijn 1e keus op een briefje schrijft? En wat is de 'nieuwe' uitslag bij twee-aan-twee vergelijken? 'Uw mening telt' geldt dus meer bij twee-aan-twee vergelijken dan bij meeste-stemmen-gelden.

Iets meer in het algemeen is het bezwaar tegen het systeem dat in Nederland gebruikt wordt, dat het geen rekening houdt met wat de kiezers vinden van de partijen waar ze niet op stemmen. Twee-aan-twee vergelijken is niet de enige manier om hier wat aan te doen. Er zijn talloze andere kiessystemen te bedenken en bedacht die op dit punt 'eerlijker' lijken dan het gewone Nederlandse systeem. Ik roep jullie ook allemaal op zo'n systeem te bedenken.

Twijfel over België

Er is zelfs nog een derde punt waarop twee-aan-twee vergelijken beter scoort dan de meeste-stemmen-gelden, genaamd onafhankelijkheid van irrelevante alternatieven. Bekijk het volgende voorbeeld.

Een schoolklas gaat een weekje op kamp en mag kiezen uit drie bestemmingen: China, Japan en België.

De meningen van de 20 leerlingen zijn als volgt verdeeld:

1e keus	2e keus	3e keus	Aantal
België	China	Japan	16 leerlingen
België	Japan	China	3 leerlingen
Japan	België	China	1 leerling (Piet)

Er wordt gestemd op de gebruikelijke manier en de uitslag is als volgt:

1. België (met 16 stemmen)
2. Japan (met 1 stem)

Vanaf 1980

In de jaren 80 vond een serie doorbraken plaats, die tezamen een nieuwe gouden tijd van de mathematische fysica inluiden. Ofschoon deze onderwerpen reeds langer bestonden, kwamen vanaf 1984 vanuit de fysica de Yang-Baxter vergelijking, de conforme veldentheorie, en de stringtheorie pas echt van de grond. Zowel statistisch fysici, hoge-energie fysici, als wiskundigen stortten zich en masse op deze ontwikkeling, waarbij de laatsten vooral uit de hoek kwamen van de oneindig-dimensionale Lie algebra's en de algebraïsche meetkunde. De

wiskunde en (theoretische) natuurkunde waren onlosmakelijk met elkaar verbonden

zogenaamde Verlinde-formule, gesuggereerd door een Nederlandse promovendus, bracht een doorbraak in de algebraïsche meetkunde, evenals het fysische idee van mirror-symmetrie. De conforme veldentheorie leidde tot Borchers' theorie van vertex-algebra's en bracht hierdoor totaal onverwachte verbanden aan het licht met het classificatieprobleem van eindige groepen, in het bijzonder met de 'monstergroep'. De hier genoemde ontwikkelingen kunnen niet los worden gezien van de opkomst van Witten en diens invloed op prominente wiskundigen als Atiyah, Bott, Segal en Hitchin. In aansluiting op een eerdere opmerking kwamen na 1980 ook de eerder verworpen ideeën van Einstein over unificatie en de rol van de meetkunde in de fysica weer bovendrijven. Aan het

unificatieprogramma van alle fundamentele krachten in de natuur ligt sindsdien de stringtheorie ten grondslag, zodat ook gravitatie bij dit programma betrokken is.

Vanuit de wiskunde vonden zowel in de functionaal-analyse als in de meetkunde ontwikkelingen plaats die direct door de mathematische fysica waren beïnvloed, en die op hun beurt later ook weer de natuurkunde zouden bestuiven. Uitgaande van de theorie van operator-algebra's werd door Connes de niet-commutatieve meetkunde opgezet, waarbij de Dirac-vergelijking uit de fysica een prominente motiverende rol speelde. Bovendien geven Penrose-tilings een interessante klasse van voorbeelden die ook centraal staan in de fysische theorie van quasi-kristallen. Jones formuleerde de theorie van subfactoren van Von Neumann algebra's die direct tot zijn beroemde knopen-invariant leidde. Het werk van Jones hangt sterk samen met de Yang-Baxter vergelijking en met de representatietheorie van de vlechtgroep. In de fysica zien we deze theorie weer terug in de statistiek van deeltjes in lage dimensies (bijvoorbeeld anyon-statistiek i.p.v. de Bose of Fermi statistiek in hogere dimensies). Dit is bijvoorbeeld van belang voor het quantum Hall effect. In de globale meetkunde gebruikte Atiyahs promovendus Donaldson de al genoemde ideeën van 't Hooft en Polyakov om een classificatie van vierdimensionale variëteiten te geven. Zijn werk werd in de jaren 90 sterk vereenvoudigd door Seiberg en Witten. Het wiskundige classificatie-probleem van driedimensionale variëteiten kreeg ook een geweldige impuls vanuit de

fysica d.m.v. Witten's topologische quantum-veldentheorieën. Tenslotte definieerde Drinfeld, geïnspireerd door onder meer het werk van Faddeev aan integreerbare systemen, het begrip quantum-groep. Binnen de wiskunde bleek deze structuur van groot belang te zijn voor Lie-theorie, speciale functies, algebraïsche groepen, knopentheorie, gevlochten categorieën etc. Meer in het algemeen blijken vrijwel alle in deze en de vorige paragraaf genoemde ontwikkelingen op een diepe manier samen te hangen.

Naast Connes en Witten speelt momenteel ook de wiskundige Kontsevich een toonaangevende rol. Laatst genoemde gaf bijvoorbeeld kortgeleden een revolutionaire draai aan de kwantisatietheorie, die ook in Nederland nauwgezet wordt bestudeerd. Quantisatie blijkt nu samen te hangen met grafentheorie, Galois-theorie etc. In de stringtheorie werden recent verbanden gevonden met K-theorie en niet-commutatieve meetkunde. Een stringtheoreticus die aan het front wil werken moet nu met deze begrippen vertrouwd zijn.

Nieuwe masteropleiding

Tegen deze achtergrond is aan de UvA een tweejarige masteropleiding mathematische fysica opgezet, die officieel overigens pas in september 2003 van start gaat. Deze master wil drie doelgroepen aantrekken en verder opleiden:

1) De theoretisch fysicus die aan de zojuist geschetste moderne ontwikkelingen mee wil doen. Die wil leren communiceren met wiskundigen. En die de essentie wil kunnen

begrijpen van relevante wiskundige artikelen die ver buiten de traditionele wiskundige achtergrond van de theoretische fysica vallen.

2) De wiskundige die vanuit zijn eigen optiek de basisprincipes van bijvoorbeeld de quantumvelden-theorie, de stringtheorie of de statistische mechanica zover wil beheersen als nodig is om moderne ontwikkelingen in de wiskunde te kunnen volgen. En die wil leren communiceren met theoretisch fysici.

3) De traditionele mathematisch fysicus die zich in de intersectie van de wiskunde en de natuurkunde beweegt en probeert al bekende theorieën uit de theoretische fysica wiskundig rigoreus te beschrijven.

De typische achtergrond van dergelijke studenten is een dubbele bachelor natuurkunde en wiskunde of iets vergelijkbaars. Ook studenten met een wiskundig georiënteerde belangstelling voor de grondslagen van de natuurkunde zijn welkom.

Klaas Landsman
npl@science.uva.nl
tel. 5257



Figuur 1 – Klaas Landsman

1e keus	2e keus	3e keus	Aantal
geel	turquoise	oranje	5 leden
geel	oranje	turquoise	7 leden
turquoise	geel	oranje	3 leden
turquoise	oranje	geel	7 leden
oranje	geel	turquoise	3 leden
oranje	turquoise	geel	6 leden

Net als bij de echte verkiezingen mogen de leden hun eerste keus op een briefje schrijven. De uitslag is dus:

1. geel met 12 stemmen
2. turquoise met 10 stemmen
3. oranje met 9 stemmen

Als we echter de kleuren twee-aan-twee zouden vergelijken krijgen we een heel andere uitslag: meer dan de helft van de leden (16 namelijk) heeft liever oranje dan turquoise, en ook meer dan de helft (ook 16) heeft liever oranje dan geel. Het lijkt er dus op dat oranje veruit de populairste kleur is. Bovendien hebben 16 leden liever turquoise dan geel en 16 leden liever oranje dan geel. Geel kunnen we dus wel aanmerken als de grote verliezer.

1. oranje (want populairder dan zowel turquoise als geel)
 2. turquoise (want populairder dan geel, maar minder populair dan oranje)
 3. geel (want minder populair dan zowel oranje als turquoise)
- Deze uitslag is echter precies tegengesteld aan de vorige. Welke is nou eerlijker?

Meeste-stemmen-gelden vs twee-aan-twee vergelijken

Over het algemeen wordt twee-aan-twee vergelijken (de tweede uitslag) eerlijker gevonden dan meeste-stemmen-gelden (de eerste uitslag). De reden hiervoor is dat twee-aan-twee vergelijken aan een aantal redelijke eisen voldoet, waaraan de meeste-stemmen-gelden helaas niet altijd kan voldoen. De eerste eis is al besproken: als een meerderheid van de kiezers liever A dan B heeft, dan willen we dat A ook hoger eindigt dan B. En in het extreme geval dat alle kiezers liever partij A dan partij B hebben, willen we natuurlijk helemaal dat A meer zetels haalt dan B. Zelfs hieraan is in het Nederlandse kiessysteem niet altijd voldaan (bedenk zelf hoe).

De tweede eis wordt duidelijk uit het volgende voorbeeld. Stel dat de zeven kiezers die als volgorde 1. geel; 2. oranje; 3. turquoise hadden, zich op het laatste moment bedenken en besluiten dat ze turquoise eigenlijk mooier vinden dan oranje (maar geel nog steeds mooier dan de andere twee). Je zou redelijkerwijs mogen verwachten

	1e keus	2e keus	3e keus
Anna	rotan	leer	klapstoel
Bob	leer	klapstoel	rotan
Charles	klapstoel	rotan	leer

Gewoon per stoel stemmen heeft geen zin: voor iedere stoel is precies één stem. Daarom stelt Anna voor eerst tussen de lederen fauteuil en de multifunctionele klapstoel te stemmen, en dan tussen de winnaar en de rotanstoel. Bij iedere stemronde moet de uitslag 2 tegen 1 of 3 tegen 0 zijn, dus is er in elk geval een uitslag.

Bob is hier fanatiek op tegen (waarom?). Hij doet een ander voorstel: eerst stemmen tussen de multifunctionele klapstoel en de rotanstoel en dan tussen de winnaar en de lederen fauteuil. Waarom is dit voordeliger voor Bob?

Als je Charles was, wat voor stem-methode zou je dan voorstellen? Uiteindelijk krijgt Anna haar zin. Er wordt eerst gestemd tussen de fauteuil en de klapstoel en dan tussen de winnaar en de rotanstoel. Bob voelt de bui al hangen, en omdat zijn rotantrauma zo sterk is dat hij liever verhuist dan op een rotanstoel te moeten zitten, besluit hij in de eerste stemronde niet op zijn eerste keus (de lederen fauteuil) maar op zijn tweede keus (de multifunctionele klapstoel) te stemmen. Wie wint nu de eerste ronde? En de hele verkiezingen? Is iedereen hiermee gelukkig?

Op zoek naar het perfecte kiessysteem

Nu we weten dat verschillende kiessystemen tot verschillende uitslagen leiden, kunnen we ons afvragen: wat is het beste kiessysteem? Bij welk kiessysteem komt de uitslag het best overeen met de meningen van de kiezers? Deze vraag is nogal moeilijk te beantwoorden omdat 'de mening van de kiezers' een onduidelijk begrip is. We kunnen bijvoorbeeld wel zeggen dat het Nederlandse kiessysteem geen rekening houdt met wat de kiezers vinden van de partijen waar ze niet op stemmen. Als de meerderheid van de kiezers liever partij A heeft dan partij B, dan zouden we willen dat A ook meer zetels haalt dan B. Ook als een groot deel van de kiezers op partij C stemt. In het Nederlandse systeem is dit niet altijd het geval. Laten we kijken naar het volgende vereenvoudigde voorbeeld.

Een pasopgerichte politieke partij, moet een kleur kiezen. rood, blauw en groen zijn al geclaimd, paars is ook geen optie, dus gaat de keus tussen geel, oranje en turquoise. Op het congres dat deze belangrijke beslissing moet nemen zijn 31 leden aanwezig. De voorkeuren zijn als volgt verdeeld:

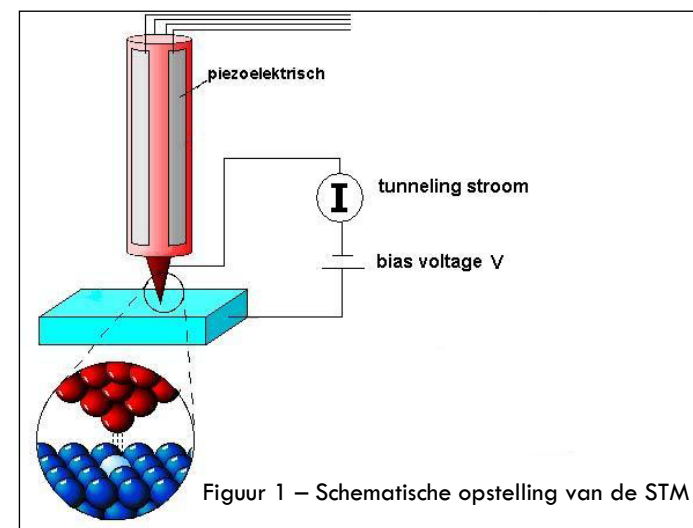
Zdenko van Kesteren

Scanning Tunneling Microscope

Vorige keer bekeken we de Atomic Force Microscope (AFM). De krachtige kijker die een resolutie had in de orde van de grootte van een atoom. Een andere scoop die dergelijke resoluties kan behalen is de Scanning Tunneling Microscope (STM).

De werking van de STM

De STM is net als de AFM een rastermicroscop, hij scant een oppervlakte af met een naald, net als een platenspeler bij een plaat. Maar de naald van de STM maakt nooit contact met het oppervlak waarover hij scant. Hij blijft er altijd fracties van nanometers boven hangen. Verder is ook deze scoop uitgerust met een piezo-elektrisch besturingssysteem, in staat om de naald te bewegen met ångstrømprecisie. De manier van kijken van de STM is echter totaal anders dan die van de AFM.



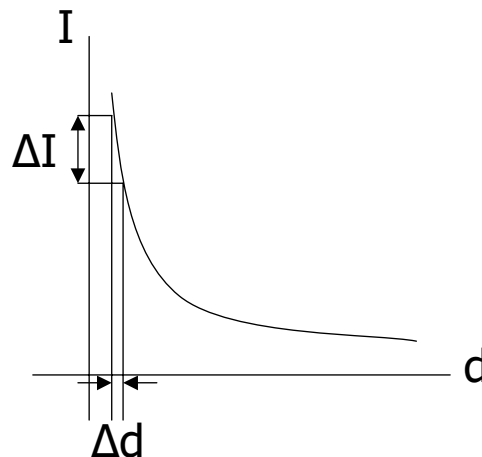
De naam zegt het eigenlijk al, de Scanning Tunneling Microscope gebruikt een tunnelingstroom om te bepalen hoe hoog de naald boven het sample staat. Tunneling is een bekend fenomeen in de quantummechanica: het effect dat een deeltje zich toch in een klassiek verboden gebied begeeft, maar met een kleine waarschijnlijkheid. Tussen het sample en de naald wordt een spanning aangelegd (het biasvoltage). Er kan echter geen stroom lopen tussen de naald en het

sample omdat deze los van elkaar staan. Indien de afstand tussen de naald en het sample heel klein wordt (maar niet nul), zullen de elektronen van de naald naar het sample tunnelen, hetgeen een stroompje (de tunnelingstroom) veroorzaakt. Een schematische voorstelling van de STM is weergegeven in figuur 1.

De waarschijnlijkheid dat een deeltje zich in een bepaald gebied begeeft wordt gegeven door $|\psi|^2$, waarbij ψ de golf functie van het deeltje is. Deze hangt exponentieel af van de afstand tussen de tip en het sample. Voor de tunnelingstroom zal dan ook een dergelijk verband bestaan:

$$I \propto V \cdot k/d \cdot \exp(-2kd)$$

waarbij V het biasvoltage is, d de afstand tussen de naald en het sample en k een constante. Het verband wordt weergegeven in figuur 2. Er is te zien dat een kleine variatie in de afstand d al een flinke verandering geeft in de tunnelingstroom I . Een hoogteplaatje kan verkregen worden door te kijken wat de tunnelingstroom aangeeft als de naald op een constante hoogte wordt gehouden. Een nog preciezere map krijg je als je de tunnelingstroom constant houdt en de afstand tussen de naald en het sample varieert.



Figuur 2 - Verband tussen afstand naald-sample en tunnelingstroom. Een kleine Δd geeft een grote ΔI .

De voor- en nadelen

Een groot voordeel van de STM is, naast zijn extreme hoge resolutie, dat het een non-destructieve methode is om het sample te bekijken. Er wordt immers nooit contact gemaakt. De methode werkt ook gewoon in lucht en onder water. Een eis is echter wel dat het sample en tip geleidend moeten zijn om de tunnelingstroom toe te staan. Ook is de opstelling bijzonder trillingsgevoelig. De kleinste trilling veroorzaakt al een grote verstoring in je meting (figuur 3).



Figuur 3 - Deze wil je niet naast je STM hebben dansen.

Verder moet de tip van de naald een atoom dik zijn. In de praktijk maken ze naalden door te etsen of krassen, of door het materiaal te beschieten met hoogenergetische ionen. Uiteindelijk is het goed realiseerbaar, omdat er altijd één atoom uitsteekt ten opzichte van de anderen. Verder is de diameter van één

Vincent van der Noort

Is democratie wiskundig onmogelijk?

Een verschillende kiessysteem levert soms een verschillende uitslag. Dit wordt in de wiskunde een verkiezingsparadox genoemd. In dit artikel zullen een aantal verkiezingsparadoxen worden besproken.

Jullie herinneren je vast de laatste presidentsverkiezingen in Amerika wel. Naast de eindeloze hertellingen in Florida, trad er een nog veel merkwaardiger verschijnsel op: hoewel Gore landelijk meer stemmen had dan Bush, won Bush de verkiezingen, dankzij het idiote districtenstelsel. Dit is een goed voorbeeld van wat in de wiskunde een verkiezingsparadox genoemd wordt: door de manier waarop de verkiezingen georganiseerd zijn, kan de uitkomst van de verkiezingen anders zijn dan je logischerwijze zou verwachten. In deze tekst zal ik voorbeelden geven hoe verschillende kiessystemen tot verschillende uitslagen kunnen leiden, en welke verkiezingsparadoxen daarbij kunnen optreden. In 1951 bewees ene Kenneth Arrow dat geen enkel kiessysteem helemaal eerlijk is, en dat volmaakte democratie dus wiskundig onmogelijk is. Dit schokkende feit was goed voor een Nobelprijs economie. Ik zal hier niet vertellen hoe het bewijs eruit ziet, maar wel wat hij bedoelt met 'volmaakte democratie'.

Verschillend kiessysteem, verschillende uitslag

Drie vrienden (die zoals de meeste vrienden in wiskunderaadsels Anna, Bob en Charles heten) hebben na jaren zoeken eindelijk een mooi huis in Amsterdam gevonden waar ze kunnen gaan wonen. Ze zijn nu bezig met de inrichting van hun gemeenschappelijke woonkamer en zoeken op de meubelboulevard in Beverwijk naar een stoel. Anna is helemaal weg van een rotanstoel, Bob gaat voor een lederen fauteuil en Charles is zeer gecharmeerd van een multifunctionele klapstoel. Ze zijn het erover eens dat het één van deze stoelen moet worden, want alle andere stoelen zijn of te lelijk of te duur. Bob wil echter absoluut niet de rotanstoel, omdat hij als driejarige zijn vinger aan zo'n soort stoel heeft opengehaald. Anna heeft ernstige bezwaren tegen de multifunctionele klapstoel, omdat die helemaal geen sfeer in huis geeft. Charles is fanatiek tegen de lederen fauteuil omdat hij dan zijn kat de hele dag krampachtig in zijn eigen kleine kamertje opgesloten zou moeten houden.

Omdat ze het niet eens worden besluiten ze te stemmen. De voorkeuren zijn dus als volgt verdeeld:

doen alsof ze dat wel zijn, dus moeten we de resultaten wegen naar het aantal stemmen dat in een gemeente is uitgebracht. Welnu:

PvdA: 7%
CDA: 69%
VVD: 10%
LPF: 14%

Dit keer klopt ook de volgorde van de grote partijen, al blijven de verhoudingen anders. Ter vergelijking, het percentage kamerzetels van deze vier partijen is:

PvdA: 15%
CDA: 29%
VVD: 16%
LPF: 17%

Het CDA groeit dus onder renormalisatie en is duidelijk relevant. De LPF lijkt me marginaal irrelevant: ze wordt kleiner onder renormalisatie, maar niet heel erg veel. De VVD wordt ook kleiner en ik zou geneigd zijn te zeggen dat de VVD irrelevant is, maar dat is misschien wat voorbarig op grond van deze beknopte analyse. De PvdA is duidelijk irrelevant, evenals alle andere partijen die na renormalisatie niet eens meer voorkomen.

Wat leert ons dit? Niet veel nieuws, eigenlijk. De grootste partij heeft het meeste profijt van een districtenstelsel, voor andere partijen heeft het bijna alleen nadelen. Kleine trends, zoals de winst van de SP, blijven onopgemerkt.

Toch lijkt het districtenstelsel de 'gemiddelde' wil van de kiezer te reproduceren. Betekent dit dat het dan

toch een goed systeem is? Naar mijn idee niet: kleine partijen zijn in een democratie wel degelijk belangrijk. Om weer een analogie met de statistische fysica te gebruiken: verschuivingen op kleine schaal kunnen in de buurt van een kritiek punt op eens van belang worden en een fase-overgang veroorzaken waarbij de macroscopische toestand significant verandert. Denk maar weer aan de presidentsverkiezingen in de VS.

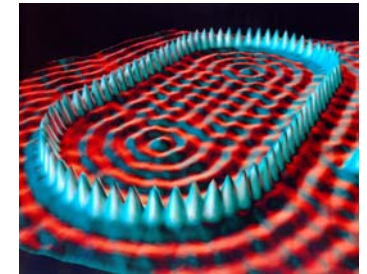
Hierbij komt nog dat de politiek een veel minder bonte verzameling zou worden dan ze nu is met veel minder uiteenlopende standpunten en veel minder discussie. Saai dus. Iedere stem moet tellen, iedere mening moet gehoord worden en niet worden uitgeschaald uit het systeem.

Althans, zo denk ik erover. Maar ik schijn niet van deze tijd te zijn.

atoom al genoeg om de tunnelingstroom flink te reduceren, dus alleen het uitstekende atoom scant het oppervlak.

Wat meet de STM

Maar wat meet je nou eigenlijk? Je meet de waarschijnlijkheidsverdeling van de elektronen van de atomen in je sample. Dat kan je bijvoorbeeld zien aan figuur 4: hier hebben ze een valletje gemaakt van atomen (dat wordt een corral genoemd), en je ziet duidelijke interferentiepatronen van de elektronenwolken in de val. Dus eigenlijk zien we hier de (gekwadrateerde) golf functie van het elektron, precies zoals quantummechanica voorspeld.

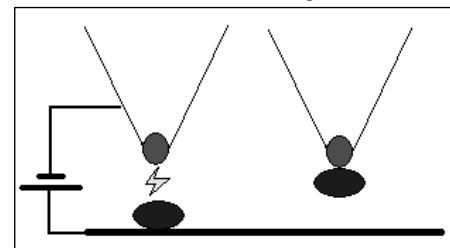


Figuur 4 - Een plaatje gemaakt met de STM van een quantumcorral. De lichte pieken zijn grote atomen, de ribbels zijn de golf functies van de opgesloten elektronen.

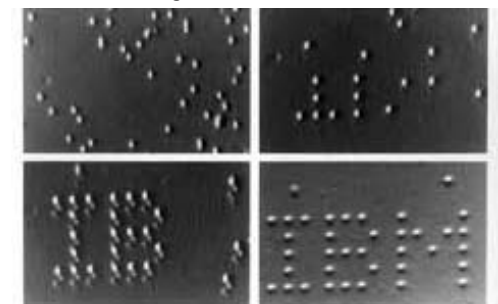
De STM kom je dus tegen daar waar kleine structuren beken moeten worden. Dat is in de biologie, bijvoorbeeld bij onderzoek naar grote moleculen zoals eiwitten en DNA. Dit zijn kwetsbare moleculen, de STM is dus vanwege zijn niet-invasieve karakter uitermate geschikt voor dergelijk onderzoek (de AFM zou dergelijke moleculen uit elkaar trekken). Ook in de vaste stoffysica kom je de STM geregeld tegen. Niet alleen voor het onderzoek naar oppervlaktes, maar ook naar de stabiliteit van bepaalde nanostructuren en de bouw van grote moleculen.

Bouwen met de STM

Met de STM kan je atomen oppakken, verplaatsen en weer neerleggen door het biasvoltage te variëren (zie figuur 5). Als het biasvoltage wordt verhoogd, plakt het atoom aan de naald. Deze kan naar een ander punt op het sample worden gebracht waarna het biasvoltage weer wordt verkleind. Zo is het bekende IBM-plaatje gemaakt (figuur 6), maar ook de corrals en zelfs grotere moleculen worden zo gebouwd.



Figuur 5 - De STM kan ook worden gebruikt om atomen te verplaatsen.

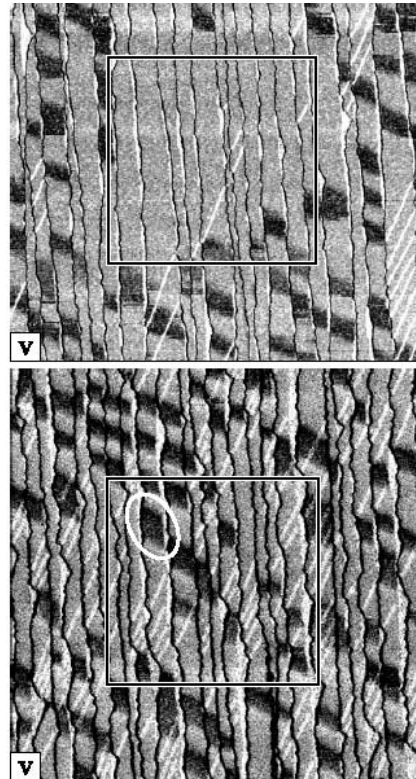


Figuur 6 - Het rangschikken van atomen met de STM.

De spin-gepolariseerde STM

Met de STM kunnen ook magnetische structuren bekeken worden. Magnetisme wordt veroorzaakt door het collectief gericht zijn van de magnetische dipoolmomentjes van de atomen. Als een magnetische naald gebruikt wordt met scannen, zullen de tunnelende elektronen spin-gepolariseerd zijn. Als het scannende atoom van de naald (de meest uitstekende atoom) een bepaalde spinrichting heeft, zal het tunnelende elektron ook deze oriëntatie aannemen. Stel dat het tunnelende elektron spin-up gepolariseerd is. Dan zal dit elektron makkelijker naar een spin-up gepolariseerd gat tunnelen in het sample. Door het biasvoltage zitten er in de naald een vershot aan elektronen en in het sample een tekort hieraan. Deze worden aangegeven met gaten, met een polarisatie richting (figuur 9). Dus voor een passende polarisatie tussen gat en elektron zal de tunnelingstroom anders zijn dan bij een niet passende polarisatie. Dit is aangegeven in figuur 7. Hier zie je de lijnen bij constante tunnelingstroom van een niet-magnetische naald, die houdt bij verandering van terrassen een constante afstand. De magnetische naald interpreteert de afstand groter bij de ene terras dan bij de andere. Het sample is een antiferromagnetische, dat wil zeggen dat de lagen om en om 'up' en 'down' gepolariseerd zijn. De afwijking van de magnetische naald op de niet-magnetische is een maat voor de spinpolarisatie van het sample, dus een maat voor de magnetische structuur van het sample.

Omdat alleen de spinrichting van het uitstekende atoom bepalend is voor de spinpolarisatie van de tunnelende elektronen, kan men het best een antiferromagnetische naald gebruiken in plaats van een ferromagnetische. Dit is goed te zien in figuur 8. Het magnetisch veld van de ferromagnetische naald is dusdanig sterk dat het de richtingen van de spins in het sample beïnvloedt. Het gebied waarover de naald heeft gescand is gericht naar diens veld, in het bovenste plaatje, en bevat dus geen informatie meer over de oorspronkelijke magnetische structuren.



Figuur 7

Eventuele alternatieven vallen echter buiten de doelstelling van dit stukje. Laten we eens kijken waar het in de praktijk toe leidt.

Kleine partijen worden irrelevante parameters in het politiek beleid en verdwijnen onder renormalisatie. Dat uitgerekend D66 hier altijd voor is

een natuurkundige zou een andere aanpak kiezen, politiek ligt dat lastiger

geweest lijkt mij een soort zelfmoord, maar bovendien lijkt het mij niet democratisch: als je mening afwijkt van een (paar) hoofdstromingen doet hij er blijkbaar niet toe. Je kunt dan wel op GroenLinks stemmen, maar als je stem dan toch naar de VVD gaat had je net zo goed thuis kunnen blijven. Dat het districtenstelsel niet altijd een goede uitslag oplevert blijkt ook uit de laatste presidentsverkiezingen in de VS, waar Al Gore op zijn minst het grootste aantal stemmen heeft gekregen. Blijkbaar waren Bush en Gore beide marginale kandidaten en is het principe van renormalisatie niet zonder meer van toepassing. Een natuurkundige weet dat je dan een andere aanpak moet kiezen, maar politiek ligt dat lastiger. Nog een reden om tegen te zijn, lijkt mij.

Verkiezingsuitslag

Laten we de uitslagen van de laatste Tweede Kamerverkiezingen er bij pakken. Ik heb hier geen goed overzicht van kunnen vinden op het web, dus ik heb gebruik gemaakt van de uitslagen uit de Volkskrant van 16 mei. Om een algemene trend te zien heb ik eerst gekeken naar de

provinciehoofdsteden. Arnhem en 's-Hertogenbosch kwamen in de uitslag niet voor en heb ik vervangen door Apeldoorn en Eindhoven. Verder heb ik ook Amsterdam en Rotterdam opgenomen. Steeds heb ik de grootste partij opgeschreven. Het resultaat is wel interessant:

Amsterdam	PvdA
Rotterdam	LPF
's-Gravenhage	LPF
Utrecht	CDA
Groningen	PvdA
Leeuwarden	PvdA
Assen	PvdA
Zwolle	CDA
Lelystad	LPF
Apeldoorn	CDA
Maastricht	CDA
Eindhoven	CDA
Middelburg	CDA
Haarlem	CDA

Dus 7x CDA, 4x PvdA en 3x LPF. De VVD, toch de derde partij van het land, komt dus niet eens in dit rijtje voor! Nu is dit natuurlijk maar een kleine steekproef, dus ik heb het nog eens gedaan maar nu voor de gemeenten in Noord-Holland. Wie het voor de overige 431 gemeenten wil doen gaat zijn gang maar. Het resultaat:

PvdA	2%
CDA	75%
VVD	12%
LPF	11%

In ieder geval reproduceert dit de grote partijen op dit moment, maar de verhoudingen kloppen niet. Natuurlijk niet, want niet alle gemeenten zijn even groot! Het is dus fout om te

Evert Glebbeek

Politiek en renormalisatie

Wat zijn de voor- en nadelen van een districtenstelsel? In dit artikel zal dit probleem worden onderzocht door middel van het natuurkundige begrip: renormalisatie.

Ik ben links. Dat schijnt niet meer van deze tijd te zijn, maar dat geldt ook voor het studeren van natuurkunde. Een paar weken terug hoorde ik echter Bram Peper verkondigen, die naar mijn smaak toch vaak goede ideeën heeft, dat hij voor een districtenstelsel is. Dat zou zogenaamd bevorderlijk zijn voor de democratie. Persoonlijk heb ik dat nooit zo begrepen en ik wilde dit stukje gebruiken om mijn bedenkingen daarover te uiten. Ten eerste zal ik daarvoor het principe op een natuurkundige manier herformuleren. Daarna zal ik, zoals dat hoort, proberen één en ander te toetsen aan waarnemingen.

Renormalisatie

Het principe van het districtenstelsel lijkt namelijk sterk op een principe dat binnen de (theoretische) natuurkunde veel gebruikt wordt: renormalisatie groep methoden. Onder de renormalisatie groep (die overigens geen groep is, maar dit terzijde) worden de interacties op kleine schaal uitgeïntegreerd, waardoor een effectieve beschrijving op grote afstanden over blijft. Kort gezegd komt het er in het algemeen op neer dat alleen de algemene trend in een systeem van belang is en kleine lokale afwijkingen geen invloed hebben.

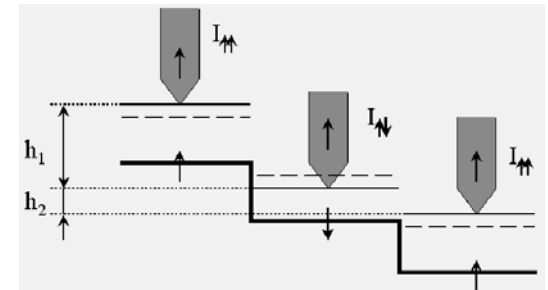
In het algemeen, maar niet altijd. Lokale verstoringen kunnen op drie manieren transformeren onder de renormalisatie groep: ze kunnen kleiner worden, zoals hier boven gezegd, groeien of (oh wonder) gelijk blijven. We spreken van irrelevante, relevante en vaste parameters. De laatste twee types spelen een belangrijke rol in fase-overgangen.

Districtenstelsel

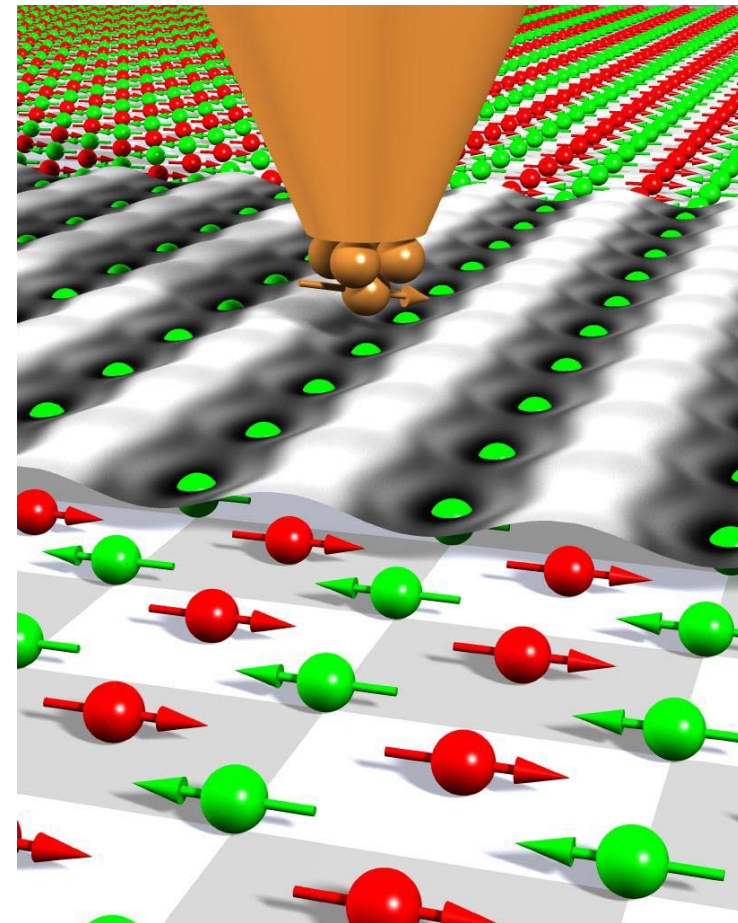
In een districtenstelsel worden de stemmen in een bepaald gebied (een kiesdistrict) allemaal toegewezen aan één partij. Het huidige systeem van directe vertegenwoordiging komt overeen met een kiesdistrict van één persoon. Het andere uiterste is een kiesdistrict zo groot als Nederland, waarin de partij die het meeste stemmen heeft gehaald alle zetels krijgt toebedeeld. Tussen deze twee uitersten kan uiteraard een middenweg gevonden worden.

Het idee is nu het volgende: de uitgebrachte stemmen worden op een bepaalde manier gemiddeld en de winnaar die uit deze middeling naar voren komt krijgt alle stemmen toebedeeld. Deze middeling wordt meestal geografisch genomen, maar het hoeft natuurlijk niet.

Een antiferromagnetische naald genegeert niet zo'n sterk magneetveld, maar levert wel spin-gepolariseerde elektronen om mee te scannen.



Figuur 8



Figuur 9 - Bij het scannen van magnetische oppervlakten scan je eigenlijk de spinrichtingen van je sample ten opzichte van de spinrichting van de uitstekende atoom in de naald.

Paul Friedel

Misbruik van bètawetenschappen

Er blijkt een duidelijke asymmetrie te zijn in de kennis van bèta's en niet-bèta's. Dit artikel behandelt een aantal voorbeelden over de miscommunicatie tussen bèta's en gewone stervelingen.

Op Kerstavond 2001 besloot ik dat het de juiste tijd was om weer eens een Mis bij te wonen in een echte kerk, met een heuse dominee en een echt koor. Aldus toog ik naar de Engelse Kerk, waar ik hoopte een politiek bevlogen preek te horen (11 september was nog niet zo lang geleden, de dominee zou vast beginnen over de strijd tegen het Kwaad en de zo belangrijke rol van Amerika in het wereldsysteem). De preek begon voortvarend. Juist toen het echt interessant begon te worden (de predikant was inmiddels aangeland bij de Midden-Oostenperikelen) ging het mis. De predikant waagde zich aan het gebruik van een natuurkundig begrip. "[...] chaos en onzekerheid zijn een integraal onderdeel van deze wereld, zelfs in de natuurkunde is de onzekerheidsrelatie één van de belangrijkste resultaten." De rest van de preek heb ik niet goed meer verstaan. De nog resterende tijd heb ik doorgebracht met nadenken over hoe het kan dat 'gewone' mensen meestal geen flauw idee hebben waar het in de natuurwetenschappen over gaat. Maar toch verwijzen zij graag naar resultaten uit die exacte wetenschappen. Er is

er is een duidelijke asymmetrie in de kennis van bèta's en niet-bèta's

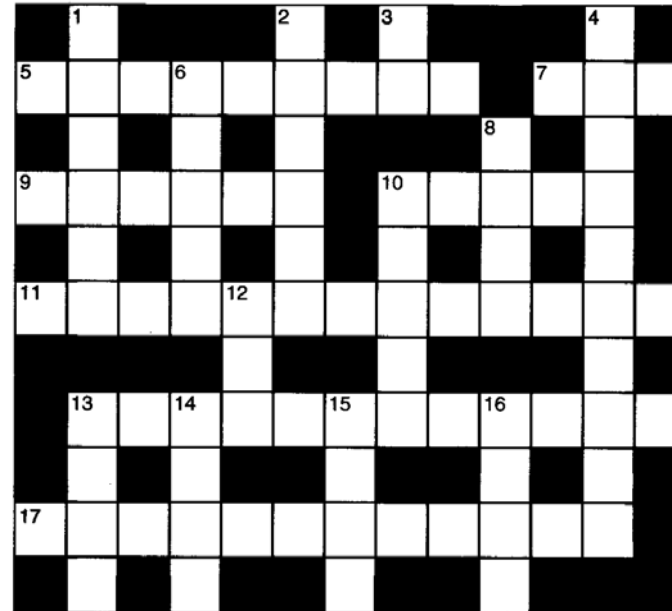
sprake van een duidelijke asymmetrie in de kennis van bèta's en niet-bèta's. Vraag een willekeurige academicus of hij/zij weet wat de tweede hoofdwet van de thermodynamica is: tien tegen één dat je 'nee' als antwoord krijgt. Ik ken daarentegen een groot aantal bèta's dat zeer goed op de hoogte is van de werken van Shakespeare. Blijkbaar is het eenvoudiger om

als bèta de gewone wereld te begrijpen dan andersom. In dit artikel wil ik een aantal voorbeelden bespreken van miscommunicatie tussen bèta's en gewone stervelingen.

De onbepaaldheidsrelatie

Allereerst de onzekerheidsrelatie waar ik zojuist al aan refereerde. Het gebruik dat de predikant van het begrip maakte is typerend. Zoals veel mensen dacht hij dat de onzekerheidsrelatie¹ een uiting is van een fundamentele tekortkoming van de natuurkunde. Dat is echter niet waar. Het woord onzekerheid speelt Heisenberg parten. Een veel betere benaming zou zijn 'onbepaaldheids-

Samen lossen we het op!



URGENT

HORIZONTAAL 5. Dit hoofd is door het blokken opgezet (9) 7. KlopPEND vervoermiddel (3) 9. Pakte een vaartuig uit de kunst (6) 10. Voor studenten en speculanten (5) 11. (Leernwerk)plaats (13) 13. Werkbeurs? (12) 17. Studentoverblijven? (12)
VERTICAAL 1. Het water is weg (6) 2. Boeken die het doen (6) 3. Op die manier kan het nooit lang duren (2) 4. Moppen in gezinsverband zijn alledaags (10) 6. De samenhang van een schroef (5) 8. Dat dier kan zich heel stil houden (4) 10. Een tweeslachtig meisje ligt dwars (5) 12. Voor wie het toekomst (3) 13. Oude Griek in de Arena (4) 14. Europeaan die een vuist maakt (4) 15. Dagen voor de bank (4) 16. Hij is niet welkom in de betere kringen (4)

Duurzaam ondernemen: het is een abstract verzamelbegrip voor een reeks concrete activiteiten. Het doel is een goede balans te vinden tussen economische groei, zorg voor natuur en milieu en maatschappelijk welzijn. Shell is op veel fronten tegelijk met duurzaam ondernemen bezig. Bij alles wat we doen, ontwikkelen, produceren en verkopen, is duurzaamheid onze leidraad. En we doen meer. Bijvoorbeeld met het Social Investment programma van Shell: een van de uitingsvormen van het duurzaam ondernemen. Het programma voorziet in allerlei vormen van concrete onder-

steuning en initiatieven buiten Shell op het gebied van minderheden, educatie, ondernemerschap en kennisoverdracht. Met al deze activiteiten investeren we in de toekomst. En zorgen we dat bewustzijn ontstaat over de noodzaak van duurzame oplossingen. Binnen Shell leeft dit bewustzijn. Net als het besef van onze grote verantwoordelijkheid jegens de samenleving. Toegegeven, het is stof tot nadenken; een puzzel soms. Maar ook een uitdaging, die Shell medewerkers graag aangaan. Eén ding weten we zeker: samen lossen we 't op.

Shell Nederland B.V. Afdeling Social Investment
Postbus 444, 2501 CK Den Haag
Telefoon 070 - 377 87 87
socialinvestment@shell.nl



www.shell.com/nl

NAAR EEN DUURZAME SAMENLEVING

¹ De commutator van impuls en plaats is in de quantummechanica niet nul, wat impliceert dat plaats en impuls niet tegelijkertijd met een onbegrensde precisie kunnen worden bepaald.

wetenschappers, maar ook onder exact geschoolden. De meeste bèta's konden wel lachen om de grap van Alan Sokal en voor een deel heeft hij natuurlijk het gelijk aan zijn kant. Maar begrijpen wij bèta's de buitenwereld wel echt zo goed als ik in de eerste alinea beweerde? Misschien niet.

bèta's weten zeker niet alles

Misschien denkt op dit zelfde moment een student sociologie na over de vraag waarom die arrogante bèta's toch alles beter denken te kunnen, terwijl ze werkelijk niet begrijpen wat er in het hoofd van een gamma omgaat. Enige nuancering is gepast. Bèta's weten zeker niet alles. Ik wil als laatste graag alle bèta's herinneren aan het 'klaterende succes' van de berekening

van de vacuümenergiedichtheid van het heelal. De theoretisch voorspelde waarde scheelt 120 grootte-orde met de experimenteel bepaalde waarde. Tel dat maar eens na...

Algemene relativiteitstheorie

De klassieke gravitatie-theorie van Newton heeft als belangrijk nadeel dat de invloed van een massief object zich in principe met een oneindige snelheid voortplant. De algemene relativiteitstheorie (ART) lost dit probleem op. Het zwaartekrachtsveld plant zich in de ART met de lichtsnelheid voort. De zwaartekracht wordt opgevat als een geometrisch verschijnsel, dat wil zeggen dat we de zwaartekracht niet zien als een werkelijke kracht, maar als een effect van het feit dat de ruimte gekromd is in de omgeving van een massief object. De zwaartekracht is daarmee te vergelijken met bijvoorbeeld de coriolis-kracht. Ook de coriolis-kracht is een puur geometrisch concept, in dit geval veroorzaakt door de draaiing van de aarde.

De ART doet een aantal voorspellingen die niet overeenkomen met de resultaten van de Newtoniaanse theorie, zoals afbuiging van licht door de zon, een verstoring in de baan van de binnenplaneten en *gravitationele roodverschuiving*. Deze voorspellingen zijn uitgebreid getest en Einstein heeft gelijk gekregen. Voor de beschrijving van ons zonnestelsel volstaat echter in de meeste gevallen de klassieke theorie.

relatie'. De eventuele onzekerheid in een bepaling van de positie of de impuls van, zeg een elektron, hebben niets van doen met deze relatie, maar enkel met de mogelijkheden die de meetapparaatuur biedt. De onbepaaldheidsrelatie stelt alleen een grens aan een gelijk-tijdige meting van plaats en impuls. Dit is geen onnauwkeurigheid! Sterker nog, we kunnen exact aangeven hoe groot de spreiding in impuls is als we de plaats met een bepaalde nauwkeurigheid hebben bepaald en vice versa. De onbepaaldheidsrelatie is geen probleem van de hedendaagse natuurkunde, maar een essentiële eigenschap van de natuur. Zonder onbepaaldheidsrelatie zou bijvoorbeeld een elektron vanuit een atoomschil direct op de kern klappen.

Een ander probleem dat hier erg op lijkt is het feit dat we in de quantummechanica over het algemeen überhaupt niet meer kunnen doen dan een kansverdeling van mogelijke resultaten geven. Ook hier is echter geen sprake van onzekerheid. De kansverdeling, zoals berekend uit de golf-functie van een systeem, is in principe exact. De (on)nauwkeurigheid zit hem in de metingen die gedaan worden en die nauwkeurigheid kan behoorlijk groot zijn. Zo is het magnetisch moment van het elektron bekend met een nauwkeurigheid van grofweg 1 op 108. De kansverdeling zoals die uit de golf-functie volgt is, net als de onbepaaldheidsrelatie, fundamenteel. Er is geen sprake van een hiaat in onze kennis. (De interpretatie van de quantummechanica is wel een onderwerp waarover discussie

mogelijk is, maar dit verandert niets aan de voorspellingen die gedaan kunnen worden en aan de meetresultaten.) Mensen die niet exact geschoold zijn, hebben soms moeite om te begrijpen dat kansrekening net zo goed fundamenteel kan zijn als de keiharde huis-tuin-en-keukenfeiten waar zij aan gewend zijn. Mensen horen nu eenmaal graag 'ja' of 'nee' en liever niet 'misschien'.

Het derde probleem heeft te maken met getallen en met hoe mensen getallen, met name grote getallen, ervaren. Tegenwoordig ziet men op de televisie en in de kranten een veelheid aan getallen en statistieken. Vaak worden uitspraken gedaan in de trant van "Zestig procent van de mensen is voorstander van de Betuwelijn." Dit is een duidelijk voorbeeld van een 'ongeveer-getal'. De hier genoemde 60 procent zou net zo goed 55 procent kunnen zijn als de enquêteurs wat meer mensen uit de Betuwe geïnterviewd zouden hebben, of juist 65 procent, als de mening van zakenlui gevraagd zou zijn. Statistieken van deze aard hebben een grote foutmarge. De kritische kijker/lezer heeft dat natuurlijk door. En het is dezelfde kritische, hoogopgeleide persoon die de natuurkunde met de nodige scepsis bekijkt. Laats vroeg een vriend mij: "Maar weten jullie dat nu allemaal zéker?" In alle eerlijkheid moest ik hem antwoorden dat ook een natuurkundige niet alles zeker weet, altijd moet je rekening houden met foutmarges legde ik uit. "Zie je nu wel!" was zijn reactie. Het idee dat ook de professoren niet alles weten

sprak hem duidelijk aan. Het kan heel erg moeilijk zijn om uit te leggen dat een getal als 0.75315248561(±12) iets heel anders is dan driekwart. Het voorbeeld van de bepaling van het magnetisch moment van het elektron illustreert dit mooi. Dezelfde vriend als daarnet zou direct wijzen op het feit dat het wel erg slordig is, zo'n onzekerheid in de meting. Maar op dit moment kan een bèta genadeloos terugslaan. De onzekerheid is 1 op 108. Vraag voor de grap eens of je gesprekspartner tot honderd miljoen zou willen tellen. Wellicht kun je hem enig begrip bijbrengen voor de waanzinnige grootte van dit soort getallen.

de onbepaaldheidsrelatie is geen probleem van de natuurkunde, maar een eigenschap van de natuur

Reken maar mee: 1000 schaapjes tellen voor het slapen gaan lukt nog wel, dat kost je – bij één schaap per seconde – ongeveer een kwartiertje. Mensen met heel veel uithoudingsvermogen lukt het misschien om tot een miljoen te tellen (11 dagen non-stop), maar een miljard wordt toch echt te veel: 31 jaar. Toch weten we binnen de natuurkunde een dergelijke precisie te bereiken, met recht een ongelooflijke prestatie. Deze duizelingwekkende getallen tarten domweg ieders verbeelding. Je kunt het iemand moeilijk kwalijk nemen als hij zich bij zulk soort getallen geen goede voorstelling kan maken.

Onbegrip

Dit stuk gaat over onbegrip. Nu is het

op zichzelf natuurlijk helemaal niet erg als de buitenwacht niet begrijpt waar een bèta-wetenschapper mee bezig is. Wel kwalijk is het als niet exact geschoolden allerlei begrippen lenen uit de exacte hoek en die begrippen vervolgens gebruiken om hun eigen sociaal-wetenschappelijke theorieën te ondersteunen, zonder te weten wat de betekenis van die begrippen is. Er is een grote groep wetenschapssociologen, -filosofen en -psychologen die zich bezig houdt met onderzoek naar de sociale constructen binnen de exacte wetenschappen. Er is natuurlijk niets mis met een sociaal-wetenschappelijk onderzoek naar het bedrijven van exacte wetenschap. Sociale, psychologische, filosofische, economische en politieke motieven spelen een grote rol in de moderne wetenschap. Vraag een onderzoeker maar eens uit te leggen hoe de financiering van de groep geregeld is. Wat sommige sociale wetenschappers helaas niet begrijpen is dat de uiteindelijke resultaten die geboekt worden in de exacte wetenschap niets meer te maken hebben met sociale processen. De indruk wordt soms gewekt dat theorieën naar believen kunnen worden ingewisseld voor andere theorieën op basis van puur sociale argumenten. Een voorbeeld: een Franse wetenschapssociologe heeft eens geschreven dat het belang dat binnen de natuurkunde aan de lichtsnelheid wordt gehecht, getuigt van discriminatie. Er zijn zo veel andere snelheden die van belang zijn! Tsjja, tegen zoveel onbegrip kun je niet op. Ook erg populair onder bepaalde

wetenschapsdynamici is het afschieten van theorieën met argumenten als 'De zwaartekrachttheorie van Newton is immers ook onderuit gehaald.' Dit is wederom een uiting van onbegrip. De theorie van Newton is onverminderd waar en blijft dat ook. Heden ten dage is echter ontdekt dat de theorie slechts geldig is binnen een bepaald domein, namelijk: kleine zwaartekrachtsvelden en langzaam bewegende configuraties. De theorie van Newton is door Einstein niet verworpen, maar opgenomen in een groter geheel, dat van de algemene relativiteitstheorie (zie kader). Voor de duidelijkheid: ik probeer hier niet te zeggen dat alle sociale wetenschappers dommeriken zijn, de meesten zijn natuurlijk heel goed voor rede vatbaar.

Sokal's Hoax

Toch liepen er in de negentiger jaren van de afgelopen eeuw genoeg zwetsers rond om de mathematisch fysicus Alan Sokal de handdoek in de ring te doen gooien. Sokal had zo genoeg van het gebrabbel van een bepaalde groep postmoderne filosofen dat hij wraak nam. Sokal schreef een geslaagde parodie op de artikelen die in die gemeenschap werden gepubliceerd. Deze parodie wist hij gepubliceerd te krijgen in het tijdschrift *Social Text*. Het artikel droeg de titel "Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity"¹. Geen hond die daar speculaas van kan maken, maar de bèta-gamma-studenten onder ons die dr. Loet

Leydesdorff kennen, weten uit ervaring dat zulk taalgebruik in de sociologische wereld heel normaal is. In het artikel weet Sokal de grootste mogelijke natuur- en wiskundige onzin te koppelen aan een al even onzinnige filosofie. Kort gezegd komt het erop neer dat Sokal in zijn artikel het bestaan van een absolute werkelijkheid in twijfel trekt en beargumenteert dat de natuurkundige gemeenschap zich langzaam begint te realiseren dat de huidige natuurkunde niets meer is dan een construct, zonder enige externe realiteit. Het artikel is voorzien van een groot aantal sappige citaten, waaronder ook veel uitspraken van Heisenberg, bekend als groot natuurkundige, maar als filosoof nooit erg serieus genomen. Het feit dat zijn artikel gepubliceerd werd, was voor Sokal voldoende bewijs voor de stelling dat men in sommige groepen binnen de sociale wetenschappen geen idee had waar men mee bezig was. Sokal, die zijn bedrog later in een ander artikel opbiechtte (*Social Text* wilde dit nieuwe artikel niet plaatsen), verklaarde onder meer: "My article is a mélange of truths, half-truths, quarter-truths, falsehoods, non sequiturs, and syntactically correct sentences that have no meaning whatsoever." Blijkbaar had niemand in de redactie van *SocialText* voldoende kennis van wis- en natuurkunde om de grap te doorzien. Sokal's Hoax deed veel stof opwaaien onder sociale

¹ Alan Sokal, *Social Text*, Spring/Summer 1996, pp. 217-252
Het artikel is een echte aanrader. Op de website van Alan Sokal (<http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/>) is meer informatie te vinden.