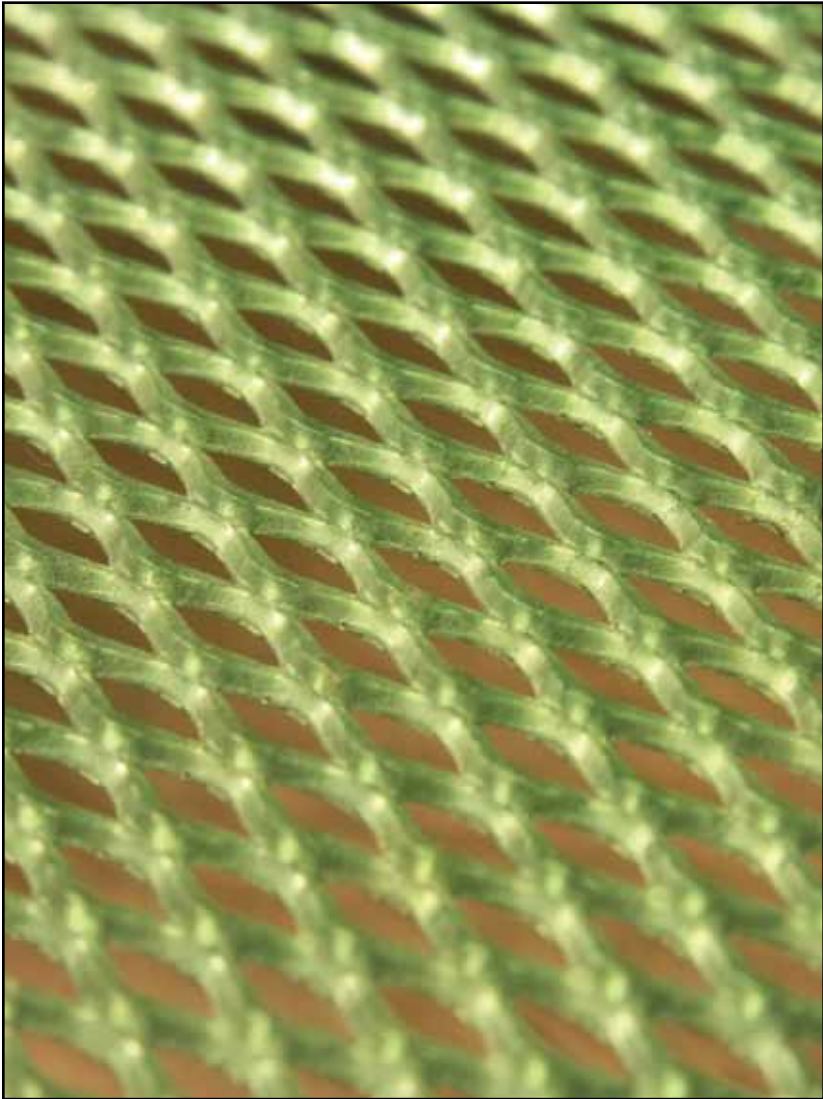


Francken Vrij



Jaargang 17, editie 3



Periodiek

Gas Consulting & Services

DNV KEMA Gas Consulting & Services is an independent, leading authority and strategic partner on gas and energy market developments.

With our gas consulting and engineering services we:

- Support gas production and transmission companies to safely operate their gas processing facilities and to transport gas in a safe and reliable manner against the best possible cost/quantity rate. By providing technical knowledge and practical experience in the form of research projects, consultancy or technical services throughout the complete life cycle of their infrastructure.
- Serve (gas) market parties with a range of sustainable and clean energy services in order to make their business greener and cleaner
- Are the premier institute in the area of measurement of gas quality and the analysis of the consequences of gas quality variations for infrastructure and end use (as a sound-technical basis for gas quality specifications), and
- Support stakeholders on the gas market with strategic and operational advice on all aspects of the gas business and energy policy

We are open to graduates and interns. To find out more about the roles currently available at DNV KEMA Gas Consulting & Services, please check our website: www.dnvkema.com/careers.

www.dnvkema.com



Inhoudsopgave



	4	Redactioneel en colofon
<i>Van de voorzitter</i>	5	For $t = 1:365$
	6	Verenigingsnieuws
	8	Het nieuwe bestuur
<i>Under the microscope</i>	11	Periodicity and the electronic chat-box
<i>An inside view</i>	15	Micromechanics
<i>De theoreet</i>	21	Periodiek
<i>Het leven na Francken</i>	24	Het onderwijs
<i>In het buitenland</i>	27	San José, Californië
	29	Themastrip
<i>Djim recenseert</i>	31	Het driedeurenprobleem
	33	Puzzel
<i>Uit de oude doos</i>	34	Toekomst

Het nieuwe bestuur

Pagina 8



Djim recenseert

Pagina 31



Colofon

De Francken Vrij is het periodiek verenigingsorgaan van de Technische Fysische Vereniging 'Professor Francken' en wordt verspreid onder haar leden, sponsors en andere geïnteresseerden.

ISSN:	2213-4840 (print) 2213-4859 (online)
Jaargang:	17, 2012/2013
Nummer:	Juli 2013
Opplage:	Duizend
Volgend thema:	Stroming
Deadline:	29 september 2013
Hoofdredacteur:	Guus Winter
Redactie:	Steven Groen Djim Kanter
Eindredacteur:	Paul Wijnbergen

Redactie-adres:

T.F.V. 'Professor Francken'
t.a.v. Francken Vrij
Nijenborgh 4
9747 AG Groningen
Telefoon: 050 363 4978
E-mail: franckenvrij@professorfrancken.nl

Met dank aan:

prof.dr. J.Th.M. de Hosson, prof.dr.ir. Van der Giessen, prof.dr.ir. P.R. Onck, S. Saane MSc, ir. J.J. van den Berg, Joran Böhmer, Tom Bosma, Guus Brouwer, Jasper Compajen, Hilbert Dijkstra, Janneke Janssens, Paul Wijnbergen en Janna de Wit

Adverteerders:

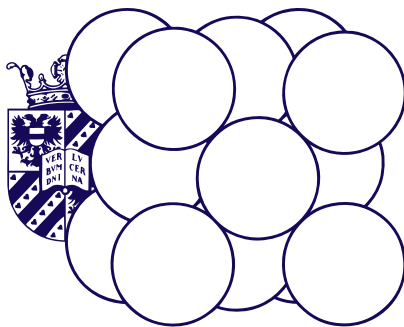
KEMA 2, Brunel 10, ASML 20, Thales 30, ZIAM 39,
Schut Meettechniek 40

Om te adverteren in de Francken Vrij kunt u contact opnemen met de bedrijvencommissaris van T.F.V. 'Professor Francken', via bedrijvencommissaris@professorfrancken.nl

Redactioneel

Geen gouden *Francken Vrij* dit keer, helaas. Ook heeft Arjan Boerma de commissie verlaten, maar wij hebben geprobeerd dit niet te laten blijken uit de kwaliteit van deze editie, hoogstens uit de kwantiteit. Hoewel het hoofdredacteursschap niet zo makkelijk in één woord uit de drukken is, heb ik toch het spreekwoordelijke stokje van Arjan mogen overnemen. Daarom is het mijn taak om mijn mede-commissieleden, in de vorm van Djim, Paul en Steven, te bedanken voor afgelopen (gouden) jaar.

De winnaar van de puzzel van de gouden *Francken Vrij* is geworden – of misschien zijn – de Lianne-Martencombinatie. Gefeliciteerd, jullie kunnen de beloofde boekenbon ter waarde van 50 euro komen ophalen bij Steven – wel eerlijk delen!



Van de voorzitter

For t=1:365

Tom Bosma



In twaalf maanden moet het allemaal gebeuren. Alles. Lente, zomer, herfst en winter komen langs. En daarna? Dan gebeurt het allemaal gewoon weer 100% op-nieuw. Een jaar is een heel simpel periodiek verschijnsel, maar gelukkig voor de meeste mensen niet iedere keer hetzelfde.

Neem nu afgelopen jaar: je neemt het besluit te solliciteren naar een plek in het bestuur en voor je het doorhebt, zit je te schrijven over hoe dat bestuursjaar is geweest. Het begint met een ALV vol moties en blabla en vervolgens moet je de desbetreffende blabla maar eens waar gaan maken.

De ledenkamer schoonhouden is daarvan een mooi voorbeeld. Mijn ervaring is heel simpel: dat is onmogelijk. Dat betekent natuurlijk niet dat je de ledenkamer niet schoon kunt maken. Als je dat maar vaak genoeg doet, zal in de limiet van vaak naar oneindig de ledenkamer schoon te houden zijn. Maar dat is zo theoretisch.

Een andere vorm van blabla is het overleg met partijen buiten de vereniging. Dit zal ongetwijfeld wel eens lijken op onwillekeurig geblaat en belangrijkdoenerij en dat is ook wel zo (neem bijvoorbeeld menig constitutieborrel), maar er worden ook behoorlijk veel nuttige zaken besproken door het jaar heen. Neem bijvoorbeeld de aankomende internationalisering binnen

onze faculteit. De mening van studieverenigingen wordt hierin zeker serieus genomen en zodoende kunnen wij ook een spreekwoordelijke duit in het zakje doen.

Op het moment van schrijven zijn onze opvolgers geïnstalleerd en ik zie het komend jaar allemaal wel goedkomen. Maar wat doen wij nu?

Zwarte gaten bezoeken? Daar zijn we natuurlijk allemaal druk mee bezig. Daarnaast ben ik zelf knetterhard aan de studie om nog even die laatste punten binnen te halen, zodat ik volgend jaar mijn bachelor kan halen. Dit lijkt zowaar te lukken.

Dit betekent natuurlijk niet dat ik de hele boel zonder meer achter me laat. Afgelopen jaar is echt een onvergetelijke ervaring geweest en ik heb veel geleerd. De samenwerking met Guus, Sjoerd en Bauke is altijd zeer kleurrijk geweest en ik heb daarvan genoten.

Heren, bedankt. Het was fantastisch!





Verenigingsnieuws

Den laatsten

Guus Winter

Zoals jullie waarschijnlijk wel weten, is het grootste verenigingsnieuws het nieuwe bestuur. Wilt u meer over de bestuursleden weten, kijk dan – nadat je dit verhaal hebt uitgelezen – snel op pagina 8.

Franckensymposium

Het thema van het Franckensymposium van dit jaar was *forecasting physics* en vond plaats in de prachtige theaterzaal van het Grand Theatre.

Na het introductiepraatje van professor De Hosson, die traditiegewijs dagvoorzitter was, mocht Rob Groenland van het KNMI het spreekwoordelijke bal openen met zijn praatje over *vortices and tornados*. Na de koffiepauze vertelde Jochen Landgraf van SRON Netherlands Institute for Space Research over metingen aan de atmosfeer vanuit satellieten. Vanuit DEEP BV spraken Michiel Künzel en Wouter Wester over de

toepassing van geofysica in hydrografische en geologische onderzoeken.

Na dit praatje gingen alle aanwezigen naar het 't Feithhuis, waar een heerlijke lunch, compleet met Groninger mosterdsoep en broodjes kroket, geserveerd werd.

Met de buik vol met gefrituurde ragout kon worden geluisterd naar Rolf Hut van de TU Delft, die vertelde over zijn project om goedkope weerstations te maken op de MacGyver-manier – het gebruik van eenvoudige materialen, zoals het membraan van een microfoon om regenval te meten. Voor de koffiepauze vertelde ons eigen Rien Herber over het betrouwbaar voorspellen van olie- en gasvoorraden. Ten slotte hield Henk van den Brink, ook van het KNMI, een praatje over de wettelijke eisen die aan dijken gesteld worden. Uiteraard werd de dag – traditiegetrouw – afgesloten met een borrel.





Buitenlandse excursie

Dit jaar was de bestemming van de buitenlandse excursie Schotland. Dankzij de commissie, bestaande uit Anne Tuijp, Carlos Bril, Edwin de Jong, Gert Eising, Hilbert van Loo en Sander Blok, kwam de gehele groep, zonder verlies van boardingpass, aan op Glasgow Airport. Na een wilde rit met Colin installeerde het hele gezelschap zich in Cowgate Tourist Hostel in Edinburgh. Na twee dagen volop cultuur mochten de deelnemers eindelijk naar een welverdiende wetenschappelijke excursie: SELEX Galileo.

Op de middelste dag van de week werd, na het bezoeken van de Glengoyne distillery¹, Edinburgh verruild voor Glasgow, ge-

lukkig dit keer in de capabele handen van buschauffeur Charles. In Glasgow werden Glasgow University, European Circuits, Thales Optronics en Strathclyde University aangedaan.

Het laatste weekend was episch². Rondreiden door de Schotse Highlands in een BMW 730 Ld en op de foto met de tien finalistes van de *Miss Scotland*-competitie; wat kan een man nog meer willen?

Wilt u meer lezen over de buitenlandse excursie? Dat kan in het naverslag, dat rond oktober uit zal komen.



1: De Glengoyne 21 years old is dus juist wat je wilt.

2: Mits je groepje 1 was.

Het nieuwe bestuur

Aantrekkingskracht

Paul, Janna, Janneke en Joran

Paul Wijnbergen

Eindelijk is het dan zover. Met trots mogen we hier onszelf presenteren. Voor de mensen die mij niet kennen: ik ben Paul, twintig jaar oud en nu nog tweedejaars wiskunde en Griekse en Latijnse taal en cultuur. Oorspronkelijk kom ik uit Utrecht, maar na achttien jaar verliet ik het voor het mooie Groningen. Velen zullen mij al wel kennen, aangezien ik vaak in de Franckenkamer te vinden ben. Komend jaar is de eer aan mij om als voorzitter deze mooie vereniging te besturen. De studies zullen dan ook even op een zijspoor komen te staan. Een beetje pauper is het wel, maar het is me het helemaal waard. Sommigen van jullie zullen nu ook wel denken: verpaupert de vereniging niet met deze voorzitter? Uiteraard zal dit niet gebeuren, want ik ga samen met de rest van het bestuur mijn best doen om er

wederom een kneits jaar van te maken. Tot in de Franckenkamer of tot op de volgende borrel!



Janna de Wit

Na twee succesvolle jaartjes natuurkunde te hebben gestudeerd, heb ik er eigenlijk wel weer genoeg van. Ik vond het tijd worden om me eens volledig te richten op belangrijkere



zaken, zoals bier, jassen en heel hard random liedjes en spreuken schreeuwen. Vandaar dat ik gesolliciteerd heb voor de beste functie die er is: secretaris. Dit is voor sommige mensen misschien een verrassing geweest, aangezien ik de afgelopen jaren niet heel vaak in de Franckenkamer te vinden was. Het is dan ook mijn bedoeling om met mijn nieuwe functie deze schandalige jaren volledig goed te maken.

Ik ben dus Janna, 21 jaar. Ik woon al mijn hele leven in Groningen, maar qua kennis van deze stad ben ik net zo gehandicapt als elke buitenstadse student. Zo heb ik van Paul Wijnbergen geleerd hoe de Groningse vlag eruit ziet (wat hij overigens zelf niet weet omdat ik natuurlijk net deed alsof ik dat al lang wist) en heb ik van Guus Winter geleerd waar het Akerkhof is. Vraag mij dus niks over Groningen!

Janneke Janssens

Ik ben Janneke Janssens. Ik voel me vereerd dat ik een stukje over mezelf mag schrijven voor de *Francken Vrij*, wat dus betekent dat ik volgend jaar bestuur ga doen. Echt? Ja, toevallig weet ik dit zeker, want ik ben al penningmeester. Mijn bekendste eigenschap is mijn goedgelovigheid (echt?). Als je ooit de behoefte hebt om een verhaal te vertellen dat niet waar is, kom dan vooral *niet* naar mij toe. Voor alle andere verhalen sta ik altijd open, want ik houd wel van een praatje maken. Gelukkig hebben cijfertjes en goedgelovigheid niks met elkaar te maken en ben ik ervan overtuigd dat komend jaar een ontzettend goed penningmeesterjaar gaat worden.

Op het moment dat ik dit schrijf ben ik nog eerstejaars wiskunde maar het lijkt me leuk om volgend jaar ook wat technische-natuurkundevakken te gaan volgen.

Ik heb mijn hele leven in het mooie Den Haag gewoond. Na 18 jaar leek het me echter een goed plan om weg te gaan uit de randstad en te vertrekken naar het Hoge Noorden. Verder houd ik iets te veel van borrels, chillen, feestjes en biertjes drinken; kortom, gezelligheid. En waar kan je dat nou beter vinden dan bij Francken? Je hoeft dus niet bang te zijn om mij mis te lopen komend jaar.



Joran Böhmer

Ik ben Joran. Ik doe graag wat ik zelf wil en het tegenovergestelde van wat anderen willen. Als je denkt dat dat lastig is in een bestuur dan heb je het fout. In mijn vrije tijd filosofer ik

over het leven, terwijl ik verdwaald en zat door de stad loop te brallen. Naast dit doe ik de mooiste studie die er is en doe ik er vanzelfsprekend alles aan deze zo lang mogelijk te rekken. Ik probeer daarbij dan wel een geweldig curriculum vitae op te bouwen, die ik op dit moment kwijt kan op één stukje wc-papier. Het leven is als een doos chocola en ik neem die met een bak zout. Voor goeie gesprekken en escalatie (tevens mijn tweede naam) kan je me na bier uur in mijn natuurlijke habitat (lees: Francken) aanspreken. Als ik hier niet ben kan je me vinden door de slakken sporen van vrouwen te volgen.

Disclaimer: de redactie staat niet achter de bedoelde grappigheid van de schrijver van bovenstaand stukje. Onderstaande grap is wel erg sterk.



PS Ik ben astronaut.

Where talent meets opportunity

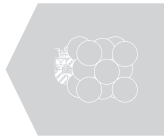
Brunel Engineering haalt het beste uit technische specialisten. We bieden startende specialisten echt uitdagende projecten. Bij interessante opdrachtgevers. In de bouw, civiele techniek en infrastructuur. Maar bijvoorbeeld ook in olie & gas, high tech en energie. Zo kun je steeds opnieuw kiezen wat het beste past bij je eigen ambitie. En blijf je jezelf en je marktwaarde ontwikkelen. Kom gerust eens langs en stippel met onze accountmanager een persoonlijk carrièrepad uit.

Vandaag nog de eerste stap zetten? **Let's meet op brunel.nl**

Under the microscope

Periodicity and the electronic chat-box

prof.dr.ir. J.Th.M de Hosson



Students being members of the electronic chat-box, cackle and chatter at an impressively high amplitude and frequency. It is hardly conceivable that it was pleasantly quiet and silent, at least about a hundred years ago: no twaddle and no rubbish in the entire universe around us. In 1901 Guglielmo Marconi broke the radio silence on this little clod, after roughly 5 billion years, with the first radio signal of the letter 'S', in Morse code: tut, tut, tut, not to be confused with toeoet, toeoet, toeoet. This humble message from Marconi traveled a distance of more than 3000 kilometers from a station in Cornwall UK across the Atlantic to Newfoundland-Labrador-USA. Although this event was the launch of the radio wave technology, it is perhaps less well known that physicists had to solve a number of interesting puzzles in order to explain the phenomenon. In fact the question could be relatively simply formulated by saying: how could a radio wave with a short periodic wavelength travel over such a great distance? After all, the curvature of the earth causes a degree of diffraction of the radio waves, whereby the waves with longer wavelengths undergo a greater deflection than those with shorter wavelengths. But Marconi used a transmitter with short radio waves and these should not have reached the other side of the Atlantic in the first place. Instead they should

just go straight ahead; at least that was the first thought of the physics community. You may say it this way: with a strong flashlight standing on the Martini tower in Groningen you will not illuminate the Statue of Liberty in New York and definitely not the Golden Gate Bridge in the San Francisco Bay Area in front of UC-Berkeley!

The first part of the puzzle was fairly quickly solved by Olivier Heaviside and Arthur Kennelly assuming that the earth possesses a reflective ionic atmosphere. The presence of this surrounding, the so-called Kennelly-Heaviside layer was much later confirmed experimentally by ionization sensors. But still an essential problem remained: what is the exact speed of these short radio waves? Total reflection between two transparent media, i.e. between air and this Kennelly-Heaviside layer, occurs only when the wave tries to penetrate from a 'slow' into a 'fast' medium. In

It is hardly conceivable that it was pleasantly quiet and silent, at least about a hundred years ago: no twaddle and no rubbish in the entire universe around us



that case the sound waves become totally reflected above a certain critical angle of incidence. Therefore, the assumption of Kennelly-Heaviside that the radio wave is totally reflected at the ionic atmosphere means that inside this ionosphere the radio wave must move even faster. Here is the fundamental puzzle: radio waves run already on their toes near the full-Einstein limit but reflection is only possible if they run in the Kennelly-Heaviside ionosphere faster than light! At that time theoretical calculations of radio waves in an ionosphere were already carried out with the aid of the well-known Maxwell equations.

Indeed, not to our surprise, Einstein was right again

For low frequency, i.e. well below the plasma frequency of the ionized gas, radio waves are completely absorbed.

The plasma turns black. Above the plasma frequency the wave velocity is infinite, but falls off rapidly with increasing frequency, and therefore at the smaller wavelength of Marconi, down to the speed of light. The Maxwell theory not only predicts that radio waves in the ionosphere go faster than the speed of light in vacuum, but in fact it is impossible to go even slower than the speed of light.

It is an irony of fate that this discovery took place in practically the same year, 1905, when Einstein called: "*Lichtgeschwindigkeit ist die Höchste Geschwindigkeit die es gibt!*"

Caterpillar

Leon Brillouin in Paris and Arnold Sommerfeld in Munich set their shoulders to



Figure 1. Moving caterpillar: group velocity and phase velocity.

this wheel and came to the conclusion that, although the phase-wave velocity of radio waves in the ionosphere is indeed greater than Einstein had predicted, the group velocity is always less than the speed of light in vacuum. The distinction between phase velocity and group velocity can be nicely illustrated with the movement of a caterpillar (Figure 1 and for a mathematical representation of the movement Figure 2 and Figure 3). The caterpillar moves with the group velocity, but the up-and-down hunchback moves with the phase velocity (Figure 2 and Figure 3). If the bump is moving in the same direction as the caterpillar, then the speed of the bump (phase velocity) is greater than the speed of the caterpillar (group velocity). In analogy with Brillouin and Sommerfeld: in the transmitting of a 'message', like the hunchback, the group velocity, i.e. the overall speed of the caterpillar, is relevant and not per se the speed of the hunchback itself. Interestingly, these scientists found an inverse relationship between phase velocity and group velocity: when the phase-velocity is an order of magnitude higher than the speed of light,

the group velocity is just 10% of the speed of light. Indeed, not to our surprise, Einstein was right again. Brillouin and Sommerfeld spent a large part of their further academic career to demonstrate that, whatever medium, the group velocity could never surpass the speed of light in vacuum.

Periodicity

We all are familiar with the Fourier analysis from second year physics class (universal law, so no real need to change our curriculum again!) and we will do a little analysis on the movement of the caterpillar. The method was devised by Joseph Fourier (Figure 4) as a by-product of his actual interest that lies in the field of heat conduction. He showed that any wave, does not matter how complex, can be deconvoluted in elementary sinusoidal waves, i.e. with an

infinite number of oscillations. On the basis of the Fourier method, each signal can be decomposed into infinite sinusoidal waves of a particular frequency, wavelength, and phase-velocity. In the plasma of the Kennelly-Heaviside ionosphere the phase velocity is greater than the speed of light, but they sum up to a group velocity which is less than the speed of light. It is important to emphasize that these basic sine wave may extend to infinity. Each tiny disturbance, i.e. a certain "message" in the elementary sine wave, already leads to a group velocity. Figure 3 is the Fourier spectrum of the movement our caterpillar. The Fourier analysis produces an interesting paradox: the infinite sine train, on which every other wave pattern can be built, would actually mean that we can look into the future. Please note: this is not in conflict, and there-

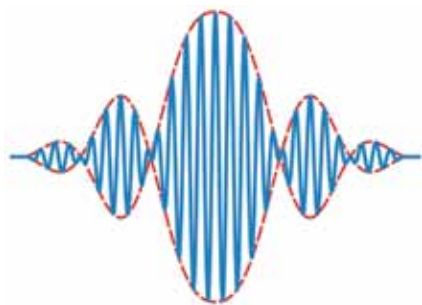


Figure 2. The caterpillar moves with the group velocity (red), but the up-and-down hunchback moves with the phase velocity (blue).

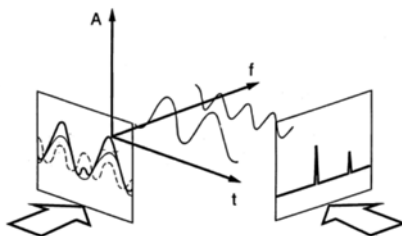


Figure 3. Fourier transformation of the caterpillar signal in the time domain (left arrow) to the frequency domain (right arrow). From *Advanced Spectral Analysis* of Pete Bechard.



Figure 4. Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830).

fore no paradox, with the Maxwell equations at all. Indeed, always two solutions for the electro-magnetic radiation exist, one for $t > 0$, 'the future' and one for $t < 0$, 'the past'¹. We can say it a bit different: if you turn on the lights, and each

complex wave pattern can be decomposed into a number of infinite waves, according to Fourier we would surely be able to perceive the light earlier, even before we'll turn on the switch!

The Fourier paradox was effectively and elegantly unmasked independently by Hendrik Kramers (Utrecht) and Ralph Kronig (Delft, but, before his period at Delft, also active in Groningen as assistant of Dirk Coster at the *Westersingelcomplex*) around 1925. They focused on the question: what condition must the material comply, so that the waves propagate inside with a 'causal' link. The latter simply means that no waves can be emitted unless they are first absorbed: *garbage in, garbage out*. Causality in electrodynamics means that the response must always follow the cause. Hendrik Kramers and Ralph Kronig showed that in all materials a causal link is present as long as there is a certain relationship between absorption and disper-

sion (change in the phase velocity due to change in frequency). The Kramers-Kronig relationship teaches us that no material exists that just absorbs. In other words, any absorbent material is also dispersive and changes the phase-velocity. The fact that all the materials satisfy this relationship blocks unfortunately the ability to use phase velocities for the transmission of information faster than the speed of light in vacuum. Finally, let's consider our caterpillar again. We have concluded that only the group velocity is the relevant physical item for the transport of information (caterpillar speed), and not the phase velocity (hunchback speed). The hunchback speed seems to have a little meaning as long as we are dealing with a tiny caterpillar. Suppose we stretch this poor little caterpillar to such an extent that the whole distance between transmitter and receiver is bridged. Couldn't we still make use of the movement of the hump (phase velocity) to send information at a higher rate than the speed of light? Unfortunately, also in this painfully stretched caterpillar the Kramers-Kronig relation prohibits this possibility. The conclusion is clear: in any medium, doesn't really matter what it is, there exists a physical plot and conspiracy between absorption and dispersion against our electronic chat-box society of chatting and cackling students. They must continue to communicate at a rate less than the speed of light. Thank heaven, for it is already hard for me to keep up with the students electronic chat-box, let's turn to Fourier space!



¹: N.Herbert, Quantum Reality and superluminal loopholes in physics, Plume, USA)

An inside view

Micromechanics

prof.dr.ir. P.R. Onck and S. Saane MSc



An important research topic in the Micromechanics group involves the multiscale modeling of materials, often supported by computational techniques. The aim of this approach is to describe the macroscopic response of materials as a function of the underlying physical mechanisms that operate on a much smaller, microscopic, length scale. In making this scale transition, usually an intermediate mesoscopic length scale is key in connecting the micro- to the macroscale. To do this efficiently, periodicity requirements can be enforced on the geometric architecture of the mesoscopic structure. We will discuss the effect of geometric periodicity by comparing the charge-induced actuation of nanoporous metals having ordered (periodic) architectures and disordered (non-periodic) architectures. This work is part of a bigger project within the Zernike Institute for Advanced Materials, carried out in collaboration with the groups Materials Science, Polymer Chemistry and Computational Physics.

Multiscale modeling of charge-induced actuation of nanoporous metals

Nanoporous metals have attracted much attention recently, because of their potential for a wide range of applications¹, such

as catalysts, sensors, supercapacitors and actuators. The use of nanoporous metals as electrochemical actuator is especially interesting since strain amplitudes can be generated that are comparable to those of piezoelectric ceramics, but at much lower voltages (1 V compared to 100 V). This, combined with their relatively high ductility (compared to ceramics), high specific yield strength and potential for enhanced strain amplitudes² makes nanoporous metallic actuators a promising new class of materials. The actuation response of nanoporous metals is triggered by the electrochemical injection of charge, basically employing their super-capacitance of the space-charge region, which is related to the high internal surface area. The injected charge alters the atomic bonding on the surface, resulting in a lateral atomic equilibrium spacing that differs from that in the bulk. Despite the limited width of this surface layer, macroscopic strains can be generated when the ligament size is on the order of tens of nanometers³. Although nanofoams fabricated by dealloying feature high internal surface areas, their topological disorder and imperfections will knock-down the mechanical properties, leading to a sub-optimal work output against an applied

2: E. Detsi, S. Punzhin, J. Rao, P. R. Onck, and J. T. M. De Hosson, *ACS Nano* **6**, 3734 (2012)

3: J. Weissmüller, R. Viswanath, D. Kramer, P. Zimmer, R. Wurschum, and H. Gleiter, *Science* **300**, 312 (2003)

1: A. Wittstock, J. Biener, and M. Bäumer, *Physical Chemistry Chemical Physics* **12**, 12919 (2010)



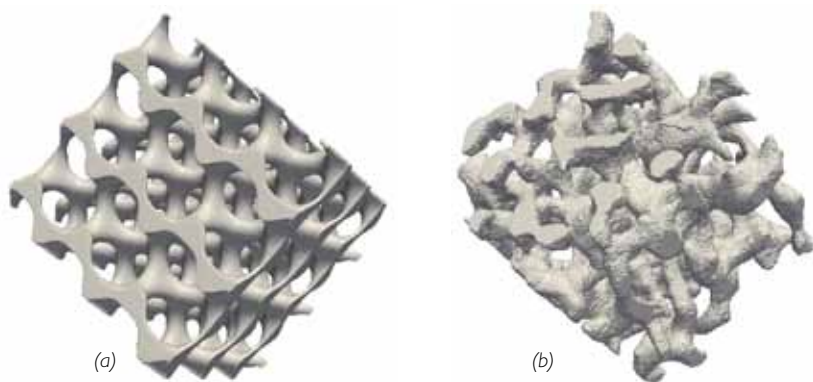


Figure 1. Different architectures of nanoporous structures studied in this work. (a) Ordered (periodic) gyroids. (b) Disordered (non-periodic) nanoporous gold.

load. However, generating order in metals at the nanoscale is not trivial. Considerable progress has been made recently by utilizing the unique self-assembly properties of block copolymers to synthesize ordered nanoporous metals featuring a gyroidal architecture⁴, see Figure 1(a). Clearly, the overall charge-induced deformation of nanoporous metals will be strongly size-dependent due to the surface-charge-driven actuation mechanism. This introduces the ligament size as a characteristic length scale in the problem, relative to the atomic spacing. Next to the relative density, a third important dimensionless parameter is the morphology of the nanoporous architecture, which dictates the overall mechanical properties. The goal of this work is to find the dependence of actuation strain on ligament size, relative density and morphology by studying ordered gyroids (that have

a periodic arrangement of ligaments) and disordered nanoporous gold structures, see Figure 1. To reach this goal, we use a multiscale modeling approach to bridge the gap between the excess-charge-modified atomic bonding at the metal surface and the overall macroscopic actuation performance and study how this is mediated by the specific morphology of the nanoporous architecture.

Since charge-induced deformation is a subatomic level phenomenon, we use density functional theory (DFT) informed atomistic calculations to study the behavior of nanoporous structures under charge injection. Atomic interactions in a metal are modeled by the embedded atom (EAM) potential, which has been modified to account for surface properties in addition to the bulk properties, and is called the surface embedded atom method (SEAM). We further modified SEAM to account for the excess charge on the metal surface.

4: I. Vukovic, S. Punzlin, Z. Vukovic, P.R. Onck, J. T.M. De Hosson, G. ten Brinke, and K. Loos, ACS nano **5**, 6339 (2011)

Experiments on nanoporous gold (npg) and DFT calculations on gold surfaces have shown that metal contracts when a negative charge is injected on its surface and expands with positive charge. In order to take this trend into account we modify the SEAM by adding an extra term (which has an excess charge parameter) to the embedding function of SEAM. We tuned our potential to the surface-stress-charge coefficient ζ of a Au(100) surface (-0.9 V) obtained from DFT calculations⁵. We call the modified embedded atom method (MSEAM). As a test for the accuracy of the modified potential we found that the ζ of a Au(111) surface obtained from MSEAM (-1.96) is close to the value obtained from DFT calculations (-1.86).

5: S. S. R. Saane, J. T. M. De Hosson, and P. R. Onck, *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* **21**, 055024 (2013)

Using MSEAM we studied the charge-induced deformation behavior of ordered gyroidal structures. To generate an atomistic model of a gyroid, we start with a cubic block of FCC gold and subsequently remove atoms according to the equations for a gyroidal isosurface⁶. Gyroids with a relative density $\rho^* = 0.3$ and different ligament diameters are generated with their principal axes (X,Y,Z) along the [100], [010] and [001] crystal directions, respectively. The gyroids are relaxed to the minimum energy configuration using the conjugate gradient method at $T = 0$ K. An area specific charge q_a (1-10 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$), a typical range for gold nanoporous actuators) is injected onto the surface of the relaxed gyroids through the modified embedding function. Since

6: K. Michielsen and J. S. Krole, *Physical Review B* **68**, 115107 (2003)

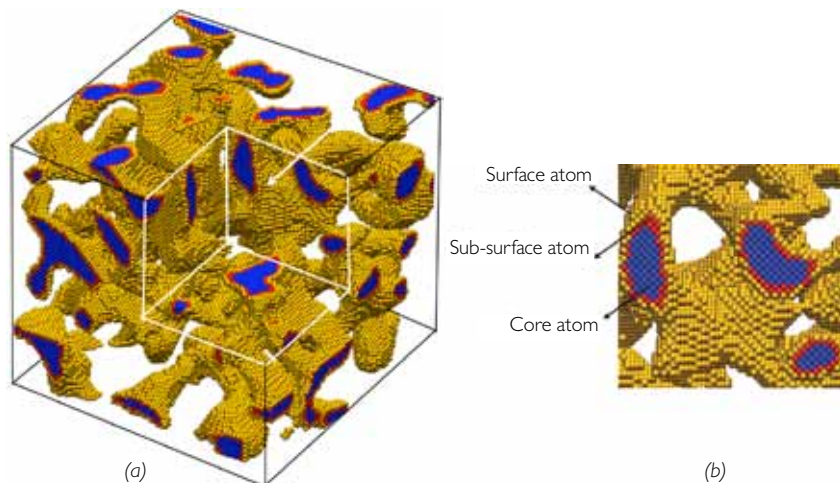


Figure 2. (a) Atomistic model of nanoporous gold (npg) showing charged surface (gold) and subsurface (red) atoms, and uncharged core atoms (blue). (b) Zoomed view of a section of the atomistic model indicated by the white arrow in (a).

charge is localized on the surface we assigned charge to the layers which are fully or partially exposed. We assign 80% of the total charge to the surface layer which is fully exposed and 20% charge to the partially exposed sub-surface layer, see Figure 2. We performed atomistic calculations on gyroid samples having different V_s/A_s values, where V_s is the volume of the solid material and A_s is the surface area. The ligaments are assumed to be cylindrical in shape with diameter $d = 4V_s/A_s$. The magnitude of the charge-induced strain increases with decreasing ligament size due to the dominant surface effects at smaller cross-sectional sizes. Since the representative volume of the ordered (periodic) gyroid structure is small, atomistic simulations are feasible. However, disordered nanoporous structures have a large representative volume consisting of millions of atoms. Carrying out atomistic simulations on such large structures is computationally very expensive. In order to overcome this problem we developed a continuum model.

When a negative charge is injected onto the metal surface, the electron density increases in a surface layer, resulting in a smaller equilibrium spacing of the surface atoms. Since contraction of these surface atoms is constrained by the uncharged core region of the metal (see the atomic model of npg in Figure 2), a tensile surface stress develops in the charged surface region which balances the compressive stresses in the core. We now approximate this process in a continuum setting by dividing the metal into an uncharged core region and a charged surface layer. We account for the

charge-induced reduction of the equilibrium spacing by specifying an eigenstrain ε^* in the surface layer that is proportional to the surface charge, i.e. negative charge results in a negative eigenstrain and positive charge in a positive eigenstrain. Similar to the development of thermal stress in bonded materials with dissimilar thermal expansion coefficients, the strain mismatch between the surface layer and core region results in tensile surface stress and compressive straining when a negative charge-induced eigenstrain is prescribed. We use the finite element method to discretize the surface layer by means of plate elements and the core region by tetrahedral elements.

First, we validate the continuum model by studying gyroids. We calibrate the eigen strain ε^* of the continuum model to the overall actuation strain of the atomic model with $V_s/A_s = 3.2$ and relative density $\rho^* = 0.3$. We use this eigen strain to calculate the charge-induced strains of other V_s/A_s values and relative densities ($\rho^* = 0.2, 0.3$ and 0.35), see Figure 3(a). We found a good agreement between the atomistic and the continuum results, and see no effect of the relative density on the actuation strain. Also, the computational time decreases by a factor of 1000 with the continuum model.

The discretized model of npg (with plate and tetrahedral elements) is obtained by processing electron tomographic images. To study the size-dependent actuation strain, samples of varying sizes are generated from the original (cubic) sample of length 1000 nm by scaling down with different scaling factors. The crystal orientation

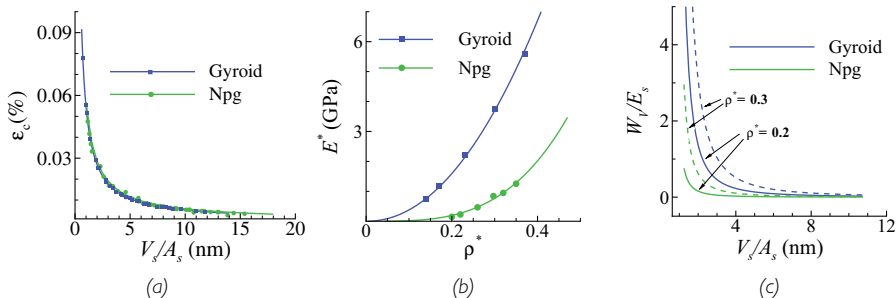
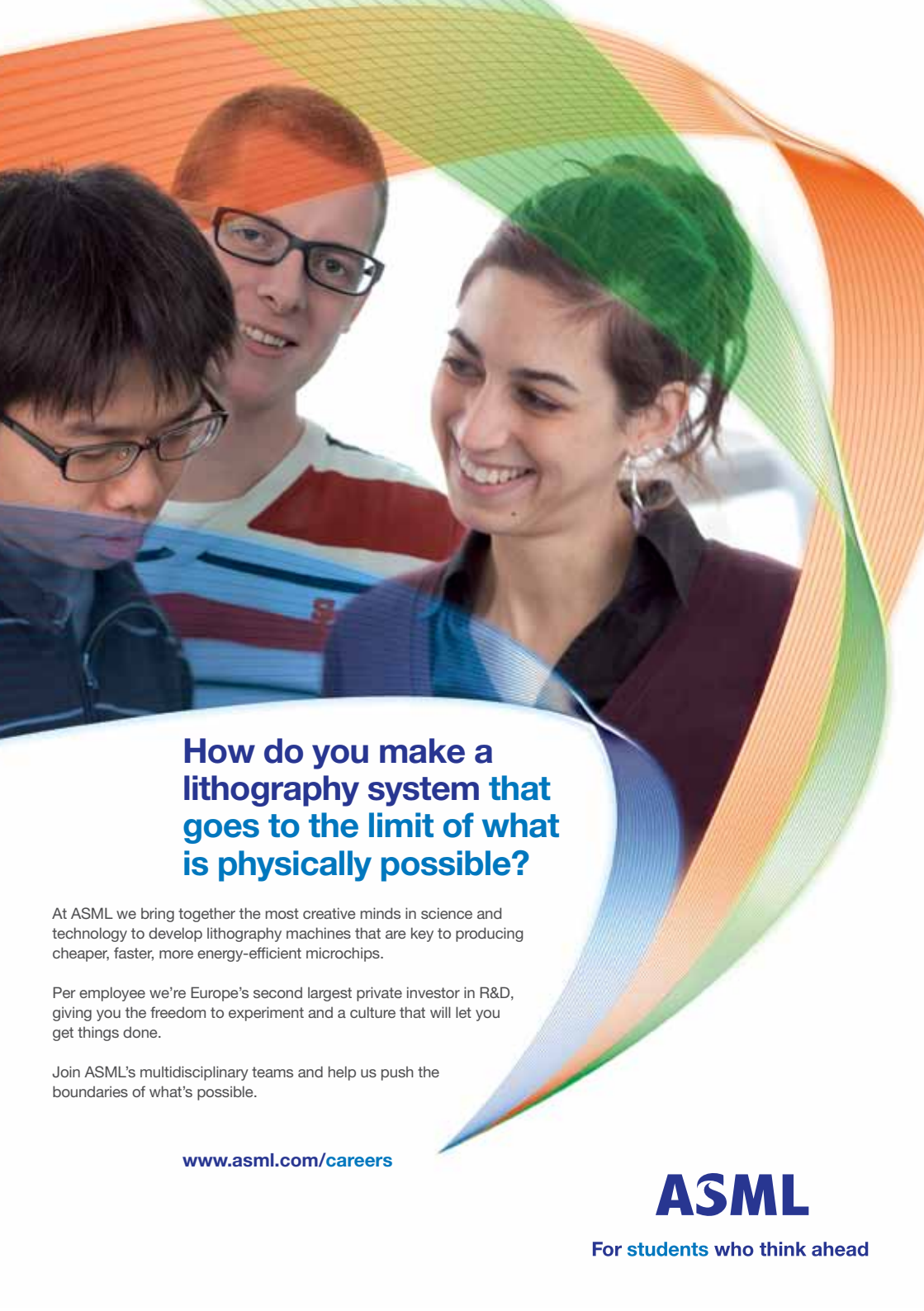


Figure 3. (a) Actuation strains of gyroids with different relative densities $\rho^* = 0.2, 0.3$ and 0.35 and npg with $\rho^* = 0.2, 0.26, 0.32$ and 0.35 . (b) Young's modulus of gyroid and npg as a function of ρ^* . (c) Work density of gyroid and npg, normalized with the Young's modulus of solid gold $E_s = 42.3$ GPa along the $[100]$ crystal direction, for different relative densities.

of npg samples is the same as that of the gyroids. The charge on the surface is simulated by applying a similar eigen strain to the surface elements. The actuation strains of npg with different relative densities ($\rho^* = 0.2, 0.26, 0.32$ and 0.35) is shown in Figure 3(b). The actuation strain was found to be exactly the same as that for the gyroids, with no effect of the relative density. Now, we compare the performance characteristics of the gyroid and npg. The measure of the performance of an actuator is the work density W_v , which is proportional to the Young's modulus E^* and the square of the charge-induced strain ϵ_c . The dependence of ϵ_c on V_s/A_s for gyroid and npg is shown in Figure 3(a), and it scales inversely with V_s/A_s values. The magnitude of the strain is found to be independent of the morphology of the actuator. The Young's modulus E^* does not depend on V_s/A_s but depends on the relative density ρ^* , see Figure 3(b). With the scaling relations for ϵ_c and E^* we calculate the work density of the

gyroid and npg. The work densities of the two architectures are shown in Figure 3(c) for different relative densities, indicating that ordered (periodic) structures have a higher work density compared to disordered ones. In ordered structures the ligaments have full connectivity unlike npg where the number of partially connected ligaments increases with decreasing relative density.

In conclusion, we studied the charge-induced strains of ordered (periodic) nanoporous gyroids using a DFT-informed atomistic model. To overcome the intensive computational time involved in studying the large atomic structures we developed an atomistically-informed continuum model, which is validated for gyroids. The work density is found to be higher for the periodic structures than for the disordered ones. The calculations with the proposed continuum model are (at least) 1000 times faster than the atomistic calculations. 



How do you make a lithography system that goes to the limit of what is physically possible?

At ASML we bring together the most creative minds in science and technology to develop lithography machines that are key to producing cheaper, faster, more energy-efficient microchips.

Per employee we're Europe's second largest private investor in R&D, giving you the freedom to experiment and a culture that will let you get things done.

Join ASML's multidisciplinary teams and help us push the boundaries of what's possible.

www.asml.com/careers

ASML

For students who think ahead

De theoreet

Periodiek

Jasper Compaijen



Toen was het alweer zover, er moest weer een *De theoreet* geschreven worden. Als ik heel eerlijk ben, had ik het eigenlijk niet helemaal zien aankomen. Het kan er natuurlijk mee te maken hebben dat ik nog niet genoeg stukjes geschreven heb om de periode van het geheel te kunnen ontdekken, maar het is aannemelijker om ervan uit te gaan dat de redactie niet per se zo heel periodiek wil overkomen. Terecht ook trouwens, periodiek is toch meestal wat saai en simpel. Daarbij komt dat veel dingen die periodiek genoemd worden, in de praktijk vaak helemaal niet zo periodiek zijn. Nogal pretentius om een blaadje zo maar periodiek te noemen.

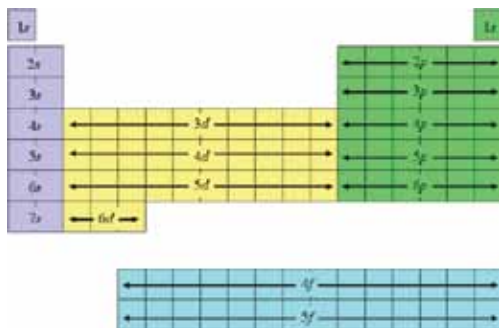
Dhr. Van Dale schrijft het volgende bij *periodiek*: 1. op regelde tijden (terugkerend, verschijnend) *periodiek systeem van de elementen ordeningssysteem van de scheikundige elementen* 2. *periodiek geschrift*, tijdschrift 3. een automatische, al of niet jaarlijkse, salarisverhoging. Van deze drie spreekt de laatste definitie mij persoonlijk het meeste aan. Interessant is wel dat ze ook naar het periodiek systeem der elementen refereren. Laten we daar eens wat nauwkeuriger naar kijken, want hoe periodiek is dat ding eigenlijk?

Het systeem zoals wij dat nu kennen is gebaseerd op een tabel die in 1869 door Dmitri Mendelejev is gepubliceerd. Hij heeft een

systeem bedacht om aan de hand van de massa en chemische eigenschappen de elementen te kunnen ordenen. Hij kon met dit systeem zelfs al elementen voorspellen die nog niet ontdekt waren. Tegenwoordig weten we dat veel chemische eigenschappen bepaald worden door de elektronenconfiguratie van de atomen en in het systeem, zoals dat nu gebruikt wordt, zijn de elementen dan ook aan de hand van deze configuratie geordend. Het periodiek systeem is op te delen in vier verschillende blokken, het s-, p-, d- en f-blok, waarbij s, p, d en f de verschillende atomaire orbitalen weergeven. De volgorde waarmee de orbitalen met elektronen worden gevuld, wordt bepaald door drie degelijke Duitse regels: *das Paulisches Ausschlussprinzip*, *das Aufbauprinzip* und *die Hundeschen Regeln*. Voor meer informatie wordt de lezer vriendelijk doorverwezen naar een degelijk kwantumfysicaboek, bijvoorbeeld Liboff of, beter nog, Landau en Lifshitz. De kolommen in het periodiek systeem worden groepen genoemd en de rijen periodes. Het feit dat elementen vaker geclassificeerd worden aan de hand van hun groep dan van hun rij, pleit wat

De volgorde (...) wordt bepaald door drie degelijke Duitse regels





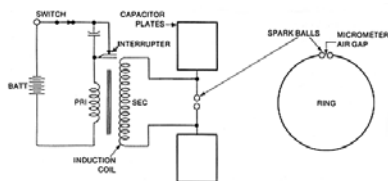
Figuur 1. Periodiek systeem met elektronenconfiguraties.

mij betreft niet echt voor de naam van het hele systeem. Noem het dan 'gegroepeerd systeem der elementen'. Daarnaast denk ik, maar misschien is dat een theoretenkwaaltje, bij periodieke dingen: fouriertransformeren die hap! Bij het periodiek systeem weet ik eigenlijk niet zo goed hoe ik dat zou moeten doen. Het hele idee om de zeldzame aarde-elementen er maar uit te halen om de boel er wat mooier uit te laten zien, helpt naar mijn idee niet echt mee. Goed, laten we het eens over echt periodieke dingen hebben. Bij periodiciteit

Figuur 2. Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894).



denken we natuurlijk meteen aan wat de bijbehorende frequentie is. De SI-eenheid voor frequentie is de Hertz, genoemd naar Henrich Rudolf Hertz. Hij heeft deze eer te danken aan de experimenten die hij gedaan heeft aan radiogolven. Hertz wordt om deze reden op wikipedia de ontdekker van de radiogolven genoemd, maar hier kan ik het natuurlijk niet helemaal mee eens zijn. Het bestaan van die dingen was al keurig een aantal jaren eerder afgeleid door Maxwell; net alsof je dingen per se moet kunnen meten om ze te ontdekken, nou, daar moet je bij mij niet mee aankomen. Het maakt het werk van Hertz echter niet minder belangrijk. Vanuit Maxwells vergelijkingen wist hij dat een oscillerende lading elektromagnetische straling produceert. Deze straling wist hij te detecteren door middel van een ring met een kleine opening. Door deze kleine inkeping zal een vonkje gaan overspringen op het moment dat er een stroompje in de ring geïnduceerd wordt. Met dit ingenieuze trucje wist hij zelfs de golflengte van de geproduceerde golven te bepalen, bijna 61 meter! Zoals het bij degelijke wetenschap hoort, werd dit gepubliceerd in het Duitse *Annalen der Physik* (H. Hertz, 1887. Über sehr schnelle elektrische Schwingungen. *Annalen der Physik* **31**: 421-448). Wat de beste man extra sympathiek maakt, is dat hij zijn ontdekking zelf volledige nutteloos verklaarde en dat het alleen maar liet zien dat Maxwell gelijk had. Alsof dat nog niet voldoende is! Gelukkig heeft Hertz, pure wetenschapper als hij was, niet meer mee hoeven maken hoe de Italiaan Marconi er mee aan de haal ging en liet zien dat er wel degelijk een hoop

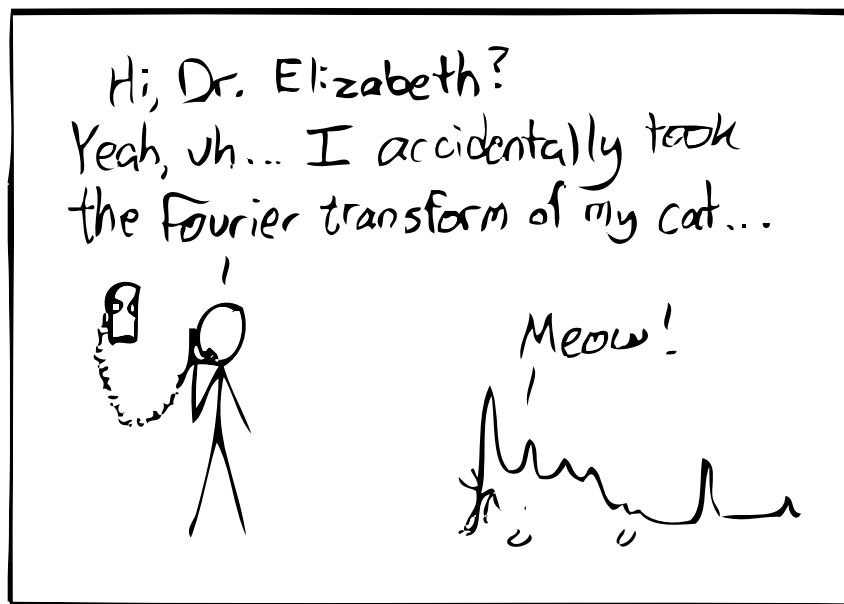


Figuur 3. Een bijna onleesbare schematische weergave van de opstelling die Hertz gebruikte, voor de ingenieurs onder ons.

toepassingen van deze golven waren voor draadloze communicatie.

Het feit dat elektromagnetische golven inderdaad zo mooi periodiek zijn, er een heel spectrum van bestaat en ze ook nog eens

heel erg snel gaan, heeft ons technologisch inderdaad heel veel verder gebracht. Het is nu bijvoorbeeld een koud kunstje om allereerste apparatuur van draadloos internet te voorzien, maar het moge mogelijk duidelijk zijn dat hier toch nog wel wat behoorlijk ingewikkelde signaalanalyses achter zitten. Het lijkt me vanzelfsprekend dat dit echter wetenschappelijk niet zo interessant is en dat ik mezelf, theoreet als ik ben, de moeite bespaar om me hier verder in te verdiepen. Voordat ik mijn koffer rust, wil ik alleen nog even melden dat fouriertransformaties ontzettend gaaf zijn.



Het leven na Francken

Het onderwijs

Guus Brouwer

Mijn naam is Guus Brouwer, ik ben een van de oprichters van jullie vereniging. Tijdens mijn afstuderen hadden wij een erg leuke groep studenten-vrienden die een vrijdagmiddagborrel wel zagen zitten

Wie is Guus?

Guus Brouwer is mede-oprichter van T.F.V. 'Professor Francken' en hij was tevens secretaris van 1984 tot 1986. Na zijn studie is hij gaan werken bij Philips, waarna hij leraar is geworden.

op het Technisch-Fysisch Lab, en een toen nog zeer jonge professor (Jeff de Hosson) die af en toe geld meegaf om een krat bier en chips te kopen, zelfs zijn sleutels van zijn

Mercedes gaf om deze boodschappen op te halen, en dan ook nog piano speelde tijdens de borrel! Alle voorwaarden om een leuke vereniging op te richten en met lezingen uit te bouwen waren aanwezig; en zo geschiedde. Nu begrijp ik dat dit stukje moet gaan over het leven ná Francken, dus ik begin:

Ik ben natuurkunde gaan studeren omdat ik graag leraar wilde worden, en natuurkunde leek me dan het leukste vak om in les te geven. Ik heb vier zussen en twee broers en behalve één broer die ondernemer is, is elk gezinslid leraar of lerares geworden. Echter, toen ik afstudeerde dacht ik: "leraar kan ik altijd nog worden" en ik begon in een technisch-commerciële baan bij Philips Eindhoven. Samen met vier nieuwe medewerkers,

allen zonder commerciële opleiding, waren we verantwoordelijk voor de verkoop van hard- en softwaremodulen ten behoeve van technische automatisering. Ik vond het een spannende baan: je moest zomaar vreemde mensen opbellen of ze belang hadden bij onze producten. Ik was veel met de auto op de weg naar klanten en die vrijheid vond ik heerlijk. De informatie die je voor je klanten nodig had, maakte dat ik ook veel aanwezig was op de fabriek; de afdeling productie en ontwikkeling (research) leerde ik goed kennen. Dat gaf meer inzicht in hoe een fabriek en de markt werken. De opwinding als na een jaar van voorbereidingsgesprekken met technuten van de klant, die klant je de opdracht geeft! Erg spannend. Er was binnen Philips ook een afdeling projecten technische automatisering, en al snel werd ik, naast het hierboven beschreven werk, ook projectleider van een automatiseringsproject. De manier van werken, volgens een functioneel ontwerp gevolgd door een technisch ontwerp, mijlpalen en fasen, was volledig nieuw voor mij en intrigerend: eerst is er niets, en na twee jaar staat er een volledig geautomatiseerd systeem! De structuur van projectmatig werken vind ik nog steeds boeiend en is in aangepaste vorm ook toe te passen op scholen en het leven.

Eindhoven vond ik echter maar niets en eens in de twee weken was ik weer een

weekend terug in Groningen, toch één van de beste steden in Nederland. Er stond een vacature in de krant om docent te worden op Curaçao, na drie jaren Eindhoven, leek me dat een mooi avontuur! Ik vond *Curaçao* altijd al een mysterieus woord, ons koloniaal verleden in de tropen, maar ik had nooit een foto gezien. Met Philips had ik geregeld dat ik na een jaar weer terug mocht komen in dezelfde baan; het beviel echter zo goed daar, dat ik pas na vier jaren weer terug was in Nederland. Op deze Curaçaose school voelde ik me als een vis in het water; het docentschap zat toch zeker in me. Het was echter veel zwaarder dan ik had gedacht. Om per dag zeven uren les te geven, moet je die zeven lessen de avond van tevoren ook voorbereiden. Het is me vaak overkomen dat ik de natuurkunde pas snapte bij de voorbereiding om het uit te leggen, en ik heb toch echt mijn doctoraal! Zelf iets begrijpen is ook heel anders dan uitzoeken hoe je iets het beste uitlegt. Een school geeft naast het lesgeven ook de mogelijkheid om vele andere dingen te doen: organiseren van excursies naar Puerto Rico, Costa Rica, de Dominicaanse Republiek, etc. Commissies voor nieuwe overgangsnormen, analyseren waarom het 'rendement' van de school niet beter is, decanaat, muziekavonden voor jong talent zoals nu op de tv, het organiseren van al dit soort activiteiten heeft me zeer veel plezier en voldoening gegeven. Bovendien had ik toen nog het naïeve idee dat dit werk op school tenminste een nuttig gebeuren was, in plaats van het verkopen van computerboards. Nu zie ik in dat opzicht geen verschillen meer tussen scholen

en bedrijfsleven. Curaçao gaf zoveel: ik heb daar leren zeilen op prachtige jachten; de rijke eigenaren hebben bemanning nodig en hebben als cadeautje na het zeilen overvloedig rum-cola en de heerlijkste maaltijden. Ik heb salsa leren dansen en erg veel plezier gehad met mijn zeer vrolijke Antilliaanse collega-docenten en met de leerlingen, en ontzettend veel gereisd naar Zuid-, Midden- en Noord-Amerika. Na vier jaren wist ik niets nieuws meer te doen en ging ik terug naar Nederland. Daar werd ik leraar op een school in Groningen. Een flink aantal leerlingen van mij is later natuurkunde gaan studeren in Groningen, de bekendste voor jullie is wel de heer Rudy Schuitema, een waarlijk wonderbaarlijk exemplaar op ons Augustinuscollege. Op deze school heb ik me veel beziggehouden met internationalisering, vanwege het organiseren, maar ook om weer eens naar het buitenland te kunnen gaan. Op dit moment werk ik al weer drie jaren in Varese, Noord-Italië op een Europese school. Europa heeft verschillende instituten (research zowel als administratief) waar Europeanen werken van verschillende nationaliteit. In Brussel bijvoorbeeld staan vier van deze scholen. Hun kinderen krijgen voor de moeilijke vakken (wiskunde, natuurkunde) een leraar van hun eigen nationaliteit. Er zijn ook gemengde klassen voor de wat eenvoudigere vakken, waar in het Engels wordt gedoceerd. Een fantastische mengeling van nationaliteiten, zowel

*Zelf iets
begrijpen is
heel anders
dan uitzoeken
hoe je iets het
beste uitlegt*

leerlingen als collegae. Je merkt de verschillen in manieren van onderwijs.

De natuur hier is overweldigend. Ik woon in een klein dorpje aan het Lago Maggiore, in een huis met uitzicht op het meer en de Alpen, prachtig! Het is tien minuten lopen naar het strand van het dorp, waar twee gezellige restaurants zijn. Op de foto zie je achter mij het Lago Maggiore, de ski- en bergwandelgebieden bevinden zich op twee uren rijden vanaf mijn huis. Aan de rechterkant van het meer bevindt zich mijn huis, dichtbij de hoge rots. Eens in de zeven weken ben ik weer een week in Groningen, dit dubbelleven bevalt uitstekend.

Wil je docent worden? Geef dan antwoord op de volgende vragen: ben je zo enthousiast voor natuurkunde dat leerlingen jouw enthousiasme kunnen voelen? Vind je het leuk om uit te zoeken hoe je iets het beste uitlegt? En vind je het contact met leerlingen (jarenlang) boeiend? Voor mij geldt dat ik nog steeds fluitend naar school ga, en trouwens ook weer fluitend naar huis. Door ook in het bedrijfsleven gewerkt te hebben, heb ik een onderbouwde keuze kunnen maken voor mijn leven als leraar. Ik wil graag afsluiten met te zeggen dat ik het toch verbazingwekkend vind tot welke mooie vereniging ons eenvoudige initiatief is uitgegroeid. Jullie hebben met z'n allen in al die jaren er iets waarlijks inhoudelijks van gemaakt. Ik ga binnenkort toch eens langskomen bij jullie in Groningen.



In het buitenland

San José, Californië, Verenigde Staten

Hilbert Dijkstra



Na 5 jaar te hebben gestudeerd in Groningen vond ik het in de zomer van 2012 tijd voor een nieuwe omgeving. Ik had mijn bachelor natuurkunde in de pocket, mijn bestuursjaar bij Francken achter de rug en ik was bijna klaar met mijn afstudeeronderzoek bij de onderzoeksgroep Physics of Nanodevices. Daarnaast vond ik het tijd voor een nieuwe omgeving. Ik ben op zoek gegaan naar een toffe stage en kwam via een oud-postdoccer uit de onderzoeksgroep in contact met Samsung in de Bay Area (ook wel Silicon Valley). Na veel heen-en-weergemail en geskype kreeg ik eind mei 2012 eindelijk te horen dat Korea er ook wel akkoord mee was dat een Nederlandse student het kunstje kwam afkijken en twee weken later zat ik in het vliegtuig naar Amerika.

Silicon Valley is ongeveer het walhalla voor een technische student. In mijn beleving is Silicon Valley het enige gebied waar de grootste nerds de mooiste vrouwen scoren en in de mooiste auto's rijden. Mensen kijken je niet raar aan, als je vertelt dat je *applied physics* studeert maar vragen je direct in welk onderwerp je afstudeert en bij welke professor, om dan vervolgens doodleuk te vermelden dat ze die professor nog wel kennen van één of andere bruiloft. Als je in de kroeg staat, ben je pas echt tof als je jouw eerste start-up voor minstens 10

miljoen hebt verkocht en als je bij Apple of Facebook werkt ben je niet zo heel bijzonder. En daar moest ik me dan vijf maanden gaan vermaken, wat best wel gelukt is.

Naast alle pracht en praal in de Bay is er ook nog heel veel te doen en te bekijken in de buurt. San Francisco ligt op een half uur, het strand op een uurtje, Yosemite Park (het mooiste natuurgebied in de wereld) op drie uurtjes en Los Angeles is een halve dag rijden. Genoeg reden voor veel vette tripjes met allemaal open-minded mensen van over de hele wereld. We noemen Nederland multicultureel, maar daar zijn ze het pas echt!

Silicon Valley is ongeveer het walhalla voor een technische student





*Super hip en
tof, maar pas
over twintig jaar
commercieel
beschikbaar*

Vijf maanden stage bij Samsung, een Koreaans bedrijf in Amerika met allemaal Russen in dienst en super veel verschillende culturele invloeden door elkaar wa-

ren super bijzonder om mee te maken. De Koreanen werken super hiërarchisch en nemen het liefst geen initiatief. De Russen praten het liefst Russisch met elkaar waardoor het altijd lijkt of ze allemaal top secret dingen voor de KGB

aan het uitvinden zijn. Amerikanen zijn wel relaxt maar wel een beetje crazy. En dan gooi je dat samen en krijg je een bijzonder

cultuurtje. Samsung is natuurlijk een super breed en groot bedrijf en de tak waar ik stage voor heb gelopen doet onderzoek naar toekomstige generatie geheugen-cellen, de zogenoemde *STT-MRAM*: het switchen van de oriëntatie van een magnetische laag door het sturen van een spin-gepolariseerde stroom. Super hip en tof, maar pas over twintig jaar commercieel beschikbaar. Tot twee jaar geleden was deze tak van Samsung een separaat bedrijf, maar Samsung besloot dat ze hier wel brood in zagen en hebben Grandis (zo heette het tot dan toe) overgenomen. Dit had als resultaat dat een aantal collega's goed hadden gecash't en in een Corvette naar het werk komen.

Ik heb voor Samsung een *polar MOKE* ge-

maakt. Zoals de meeste van jullie weten, is licht een elektromagnetische golf bestaande uit een s-gepolariseerde component en een p-gepolariseerde component. Als je een lineair gepolariseerde laserbundel door een magnetisch veld stuurt dan verandert de oriëntatie van het polarisatievlak, het zogenaamde Kerr-effect. Dit effect treed ook op als je ditzelfde laserlicht schijnt op een magnetisch oppervlakte. Door de rotatie van het polarisatievlak van het weerkaatste licht te meten kan je dus wat zeggen over de magnetische oriëntatie van een magnetische laag. Dit noemen

ze MOKE (*magneto optic Kerr effect*). Voor Samsung heb ik een MOKE-opstelling gemaakt waarmee zij de magnetisatie van het magnetische oppervlakte van hun samples kunnen bepalen. Al met al een super toffe en gevarieerde opdracht.

Het is nu alweer een jaar geleden dat ik naar Amerika ben gegaan en ben alweer ruim een half jaar terug. Ik kan eenieder aanraden om een half jaar in het buitenland door te brengen want dat is een fantastische ervaring. Hoe langer ik terug ben hoe meer ik besef hoe bijzonder het is om een tijd in het buitenland door te brengen. 🌍





Innovative Solutions START WITH THALES

Op het gebied van veiligheid is Thales één van de meest innovatieve bedrijven ter wereld. We bieden alle krijgsmachtonderdelen en civiele hulpdiensten de middelen om hun taken optimaal te kunnen uitvoeren. Onze producten kunnen overal ter wereld worden ingezet op vrijwel ieder type platform: te land, ter zee en in de lucht.

www.thalesgroup.com/nl

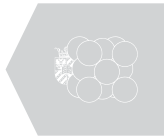
THALES

Smarter. Safer.

Djim recenseert

Het driedeurenprobleem

Djim Kanters



Bij u allen waarschijnlijk wel bekend is het driedeurenprobleem van Martin Gardner, in Engeland ook wel *the Monty Hall problem* genoemd naar de beroemde Britse presentator Monty Hall. In zijn show kon je in de finale uit één van drie prijswinnende deuren kiezen; achter twee deuren stond een geit, maar achter de derde deur een prachtige auto. Had je een deur gekozen, opende hij één van de twee andere deuren waarachter sowieso een geit stond. Voor de meeste mensen had de auto de voorkeur, waar slechts enkelen, al jubelend, hun pas gewonnen geit knuffelden en omhelsden. Na al dit spektakel vraagt Monty je of je, mits je nog niet voor de geit gekozen hebt, van deur wilt wisselen. Elke bèta kan met het knippen van het oog uitrekenen dat dit je kansen vergroot. Elke deur heeft $\frac{1}{3}$ kans om de auto te verhullen. Opent Monty vervolgens een deur, dan zou je zeggen dat de kans om de auto te bevatten tussen de overgebleven deuren gelijk verdeeld is.

Dit is echter niet het geval. Het feit dat Monty weet waar geen auto achter zit, verandert de kansen van het spel. Hij heeft namelijk in $\frac{2}{3}$ van de gevallen (jij kiest een geitdeur $P = \frac{2}{3}$) slechts de mogelijkheid om 1 deur te openen; de ander is de auto. Hieruit volgt direct je voordeel bij wisselen, $\frac{2}{3}$ kans op geit geeft $\frac{2}{3}$ kans op auto, kneits.

Op het Zernike kennen we een ander driedeurenprobleem. Naast de Franckenbestuurskamer bevindt zich namelijk het meest gebruikte toilet van gebouw X. Wanneer je hier binnenwandelt waan je jezelf in een andere wereld. Een zacht briesje van urine gemengd met de frisse aroma's van oude toiletblokken en ingedroogde feces komt je tegemoet als de geur van pas gemaaid moeras. Komt u binnen voor een *number one*, dan is het snel rechts afslaan en hopen dat er niet al iemand staat, want dan moet je daar ongemakkelijk naast gaan staan terwijl u zachtjes "Hoi" mompelt en gefixeerd vooruit staart. Helaas zijn er van die dagen dat u niet anders kan en wel linksaf móét slaan. Ben je in die onfortuinlijke situatie beland, dan sta je voor één van de lastigste problemen van je dag. Het driedeurenprobleem. Laten we de deuren nummeren van deur 1 tot 3, met deur 2 in het midden.

Alle deuren zijn gesloten, maar geen enkele bezet. Het is 3 uur 's middags dus al vele harige mannenbillen gingen u voor. Het is cruciaal dat je de schoonste wc kiest, hierin

*Een zacht briesje
van urine (...)
komt je tegemoet als de
geur van versgemaaid moeras*



telt uiteraard de *appearance* van desbetreffend toilet mee. Ziet het er niet al te vuig uit? Staat de bril omhoog (omhoog is negatief vanwege het verplicht aanraken van de bril)? Hoeveel wc-papier is er (bij weinig is de wc duidelijk (te) veel gebruikt)? Het probleem is echter dat je eerst een deur dient te openen, voordat er ook maar enige informatie over deze uiterlijke kenmerken beschikbaar is. Voorafgaand aan de visuele keuring, is het dus noodzaak een psychologische keuring te doen

Wat kozen anderen voor jou? Gedachten kunnen zijn:

- Deur 3 is een veilige gok, deze wc is het verst weg, mensen die nodig moeten kiezen waarschijnlijk voor deur 1 of 2.
- Deur 2 is uit symmetrieoverwegingen zonder enige twijfel de beste keuze.
- Ik kies deur 1, deze is namelijk voor niemand aantrekkelijk, de hoek ernaar toe is te scherp en hij zit te dicht bij de urinoirs.

Er zijn mogelijkheden te over. Dit maakt de keuze lastig; listig ook. Met een simpel gedachte-experiment komen we er vandaag niet. Er dienen harde cijfers op tafel te komen.

Cijfers waar we iets mee kunnen. Cijfers waar we conclusies uit kunnen trekken.

Aardig als ik ben heb ik een *Mauriceje* gedaan (lees: geen Mauritsje!) en daadwerkelijk een zogenoemde *poll* opgezet. Dit is een soort mini-enquête

bestaande uit één vraag die met *multiple choice* beantwoord kan worden. Zo zou De Hond je vragen: "Wat ga je stemmen?" Dan klik jij de partij aan waar jij op gaat stemmen en kan Maurice weer heel blij op tv allemaal grafiekjes laten zien. Wat kan hij toch veel, hè?

Een week lang hebben mensen hun voorkeur uit kunnen spreken en dit heeft een totaal aantal van 89 (eerlijke) stemmen opgeleverd.

Deze stemmen waren als volgt verdeeld:

25 van de stemmen kwamen uit op wc 1, 30 van de stemmen waren voor wc 2 en met trots de meest gebruikte wc in ons gezelschap is wc 3 met 34 stemmen (zie Figuur 1).

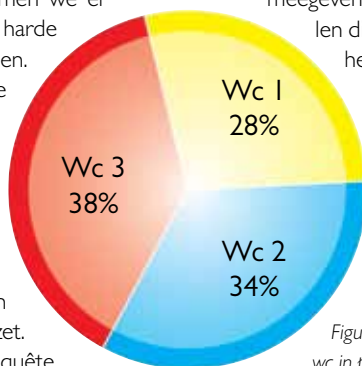
Sta je binnenkort voor het driedeuren-probleem aarzel dan niet, vertrouw op de statistiek en kies *linea recta* voor deurtje 1. Bedenk je dan echter wel dat de massale bewustwording van deze percentages de oorzaak kunnen zijn van een gigantisch overdreven paradigma shift, waardoor de cijfers in de toekomst compleet kunnen wijzigen. Hierom wil ik je een wijs advies

meegeven, van iemand die ons allen dierbaar is, en wel verstand heeft van vuige wc-hokjes:

"Life is full of risks anyway; why not take them?"¹

Ah, en voor ik het vergeet: qua recensie kom ik uit op een ronde zeven en een half. 

1: Lindsay Lohan



Figuur 1: Taartdiagram, keuze van wc in percentage van het totaal.

Puzzel

Periodiek

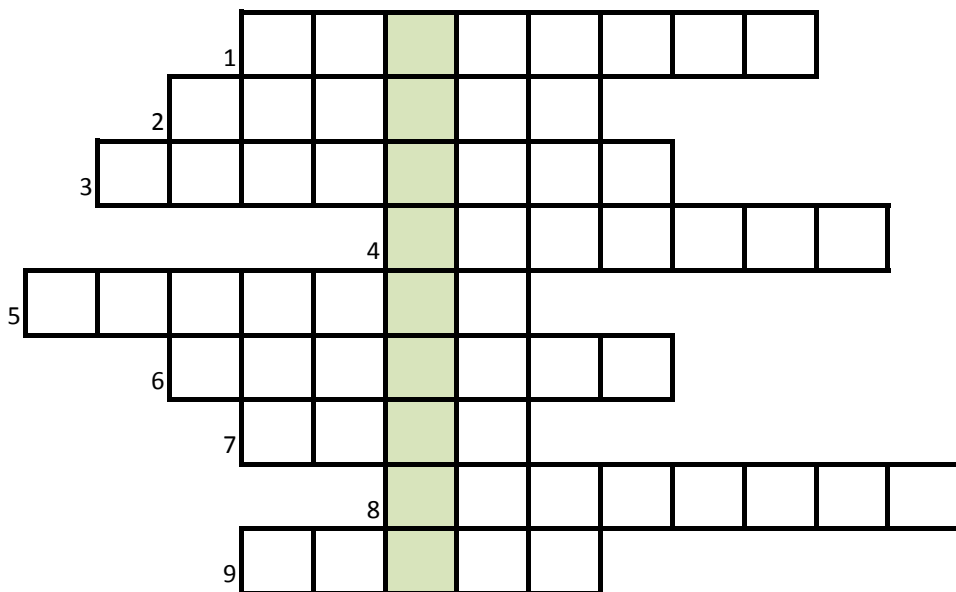
Steven Groen



Bij het woord *periodiek* moet u ongetwijfeld gelijk denken aan het periodiek systeem. Maar hoe goed kent u het periodiek systeem eigenlijk? Laat zien dat het u aan die elementaire kennis niet ontbreekt door achter elk van deze omschrijvingen het bedoelde element uit het periodiek systeem te vinden. En voor degenen die dit doen met het periodiek systeem voor zich of een bachelor scheikunde op zak: dat is natuurlijk niet de bedoeling. Oplossingen – vooral juiste – kunnen worden gestuurd naar de redactie. Onder de inzendingen zal een skippybal worden verloot.



1. Op één staat natuurlijk ons eigen element
2. De kop van een lucifer
3. Leeftijdstest
4. Element met de zwaarste hamer
5. Afkomst van een grote held
6. Negentiende Francken Vrij na deze
7. In het Engels een lid van een bij Francken alom zeer geliefde band
8. Wellicht vernoemd naar een Amelands drankje
9. I'm looking for chemistry puns, but all the good ones...



Uit de oude doos

Toekomst

prof. dr. ir. E. van der Giessen

Het idee 'toekomst' nodigt velen uit om zich af te vragen hoe die eruit ziet. Daar zijn twee problemen mee.

Uit de oude doos

In dit goudenjubileumjaar blikken we terug op een aantal hoogtepunten uit de vorige bijna vijftig edities van de Francken Vrij. Dit artikel verscheen oorspronkelijk in jaargang 5, nummer 3, precies 12 jaar geleden.

In de eerste plaats heeft Groucho Marx eens zoiets gezegd als: "Voorspellen is altijd moeilijk – vooral de toekomst, want die is onbekend" (Groucho is niet beroemd geworden als filosoof, maar hier overtreft hij zichzelf; klik hier <http://www.therightside.demon.co.uk/quotes/groucho/> voor andere citaten of huur in de toekomst nog eens een video² van hem).

1: Helaas bestaat deze link niet meer. Je moet het maar geloven.

2: Voor-oorlogs medium waarop bewegende beelden kunnen worden opgeslagen. Ook bekend als viraal hemorrhagisch syndroom (VHS).

Het tweede probleem is dat voorspellingen zelden uitkomen. Rond de eeuwwisseling heeft men nagegaan hoe men aan het begin van die eeuw dacht over wat die eeuw zou gaan brengen. Het is niet verwonderlijk dat in de tijdgeest van toen de voorspellingen vele Jules Verne-achtige ideeën bevatte. Deze zijn bij lange na niet verwezenlijkt maar aan de andere kant had niemand toen bijvoorbeeld digitale computers voorspeld. Het meest frappant is echter dat de voor de mensheid wellicht belangrijkste ontwikkeling in de twintigste eeuw absoluut niet voorspeld is: emancipatie!

Toekomst en techniek

Ondanks – of juist dankzij? – de onvoorspelbaarheid van de toekomst is deze voor technische natuurkunde van groot belang. Dat zit naar mijn mening in het bijvoeglijke naamwoord *technische*. Techniek zelf is het omvormen van natuurwetenschappelijke

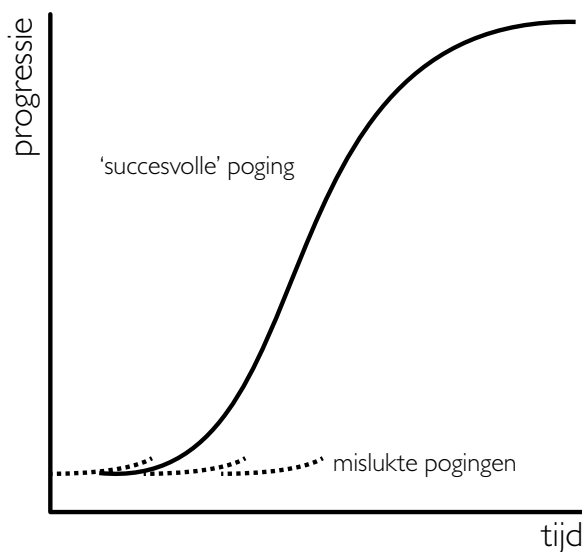


Figuur 1. Groucho Marx (filmster): "Voorspellen is altijd moeilijk – vooral de toekomst, want die is onbekend".

mogelijkheden in concrete dingen, die het leven van de mens vergemakkelijken. De uitdaging is het creëren van die dingen die nu nog niet kunnen; het gaat dus over de toekomst. Technische natuurkunde houdt zich bezig met de natuurkunde van allerlei zaken die gerelateerd zijn deze technische toepassingen (voor lezers die dit een te krappe beschrijving vinden, biedt NWO de politiek correcte uitdrukking *strategisch technologisch*). Soms is die relatie direct, soms is de toepassing nauwelijks meer dan de motivering, maar daarmee is technische natuurkunde altijd verbonden met de toekomst.

Dit gezegd hebbende is het toch wel verleidelijk om na te denken over de toekomst voor technische natuurkunde: wat zal ons in de toekomst bezighouden? Maar tegelijkertijd weten we dat we de toekomst

niet kunnen voorspellen. Degene die het vak beoefenen hebben met meestal geen tijd of zin om zich met dit dilemma bezig te houden, maar voor de beleidsmakers (bijvoorbeeld NWO) is dit vermoedelijk een nachtmerrie. Beleidsmakers zijn echter meestal ook mensen die voor iets hebben doorgeleerd – willen dat laten zien ook – en ontwikkelen dan tools. Eén daarvan is het concept S-curve (zie Figuur 2). Dit is een grafiek waarin de progressie van een product of methode of zelfs kennis is uitgezet tegen de tijd. Uit ervaring blijkt dat deze zaken zich in het begin vaak langzaam ontwikkelen: het kost veel tijd om het basisidee te vormen, alternatieven af te wegen e.d. Als dit eenmaal is gebeurd, komt de ontwikkeling in een versnelling. Maar naarmate 'het' vorm krijgt, komen de puntjes op de i, de verfijning, het gebruikersvriendelijk ma-



Figuur 2. De karakteristieke S-curve voor de ontwikkeling van een product, methode of kennis in de tijd. De meeste ideeën komen niet verder dan het eerste stadium. In het tweede stadium groeit het idee snel uit, maar de verdere detaillering daarna heeft vaak veel tijd nodig.



Figuur 3. Artist impression van de mechanische vlieg: een zeer klein vliegtuigje dat als langetermijndoelstelling geldt voor een Amerikaans onderzoeksinitiatief ten aanzien van MEMS.

ken, noem maar op: de feitelijke progressie is weer traag. Dit laatste stuk van de S is overigens vaak het langst: de meeste tijd gaat zitten aan het perfectioneren van bestaande zaken. Het spreekt eigenlijk voor zich dat er in de praktijk slechts twee soorten S-curves voorkomen: volledige S'en (ideeën die echt tot iets geleid hebben) en streepjes die nooit een S zijn geworden. Vele ideeën blijven in het eerste stadium hangen; als het tweede stadium bereikt is dan komt het derde stadium eigenlijk altijd wel.

Wat kunnen beleidsmakers hier nu mee? Wel, als je weet in welk stadium van de S-curve een bepaalde ontwikkeling zit, heb je ook een zeker idee van wat er komen gaat. Of misschien komen gaat! Als je in het laatste stadium zit, dan zitten de eerste twee er al op; grote ontwikkelingen zijn dan niet meer te verwachten. Maar succes is dan wel verzekerd! In een samenleving als de Nederlandse waarin men verstandig (?) met het beschikbare middelen wil omgaan, zal de beleidsmaker minder moeite hebben om middelen in te zetten voor zaken die al in het derde deel van de S-curve liggen. Een niet onbelangrijk element daarbij

is dat het belang voor de maatschappij al zo goed is aan te geven. De constatering dat in het laatste decennium het keursmerk *maatschappelijk relevant* zo dominant is geworden bij onderzoekfinanciering lijkt dus geheel consistent met het doorbreken van managementtools als de S-curve bij lands onderzoeksbeleidsmakers.

Beginnende toekomst

De eerlijkheid gebiedt te zeggen dat de technische natuurkunde van de op deze wijze geboden fondsen gulzig heeft genomen. Toch vraag ik me wel eens af of het voor de toekomst zo geweldig is. Is het niet uitdagender om aan het begin van de S-curve te werken? Zouden de scholieren van nu in het grote onbekende daarvan niet meer geïnteresseerd zijn dan in het verfijnen van wat al is? Ons Nederlands calvinisme leidt ons tot typische uitspraken als "we moeten niet met iedere hype meelopen". Maar waarom eigenlijk niet? Er is een aantal landen op deze wereld waar men wel met veel hypes meedoet, bijvoorbeeld de Verenigde Staten, maar die er toch niet veel slechter mee af zijn. Dat land, maar ook Zwitserland, investeert bijvoorbeeld enor-

me bedragen in onderzoek aan *MicroElectric Mechanical Systems* (MEMS). Dat is een klasse van heel kleine machientjes, waarvan men er al heel wat bij elkaar gedroomd heeft, maar waarvan eigenlijk sensoren en actuatoren op dit moment slechts de concrete producten. Op zich knappe staaltjes techniek, maar waar men van droomt is bijvoorbeeld de microvlieg (Figuur 3): een minuscuul (kleiner dan een millimeter misschien) vlieg(tuig)je dat zichzelf voortbeweegt, een zeer kleine camera bij zich heeft en met GPS geleid wordt. Dit soort MEMS-eisen stellen fenomenale, nieuwe technisch natuurkundige problemen. Eén daarvan betreft de aandrijving. Men overweegt fladderende vleugeltjes in plaats van jet-aandrijving e.d. Maar hoe laat je vleugels fladderen zodanig dat er voldoende energie geleverd kan worden om in de lucht te blijven. Eén van de zeer serieuze mogelijkheden is het gebruik van geheugenmaterialen die van vorm veranderen door een martensitische fase-overgang die geïnduceerd wordt door een wisselend elektrisch veld. Het lijkt erop dat dit een veel efficiënter omzettingsmethode is dan je met bijvoorbeeld piezo-elektrische materialen kunt bereiken. Het zal duidelijk zijn dat zeer veel materiaalkundig onderzoek nodig is om dit soort efficiënte geheugenmaterialen te ontwikkelen (begin van de S-curve!). Daarnaast ontstaan er bij het ontwerp van dit soort machientjes fundamentele vragen over het gedrag van vloeistoffen en vaste stoffen op deze kleine schaal: de materialen gedragen zich dan niet alleen anders dan op macroscopische schaal, maar ze blijken dan vaak nog eens schaalafhankelijkheid te vertonen. Dat

laatste wil zeggen dat het materiaalgedrag afhangt van de grootte van de component; dat is iets wat op onze macroscopische schaal niet gebeurt, zodat ontwerpers niet weten hoe ze hiermee moeten omgaan. Compleet nieuwe theorieën zijn nodig (begin van de S-curve!). De microvlieg is uiteraard slechts een voorbeeld. Van vergelijkbaar soort zijn ideeën over micro-onderzeeërs die zich in de bloedbaan van de mens op eigen kracht kunnen voortbewegen en onderweg medisch hulp kunnen bieden.

Misschien een hype, misschien een flop, maar misschien ook niet. De tijd zal het leren. In ieder geval prachtige en zeer vernieuwende natuurkunde!

Terugblik

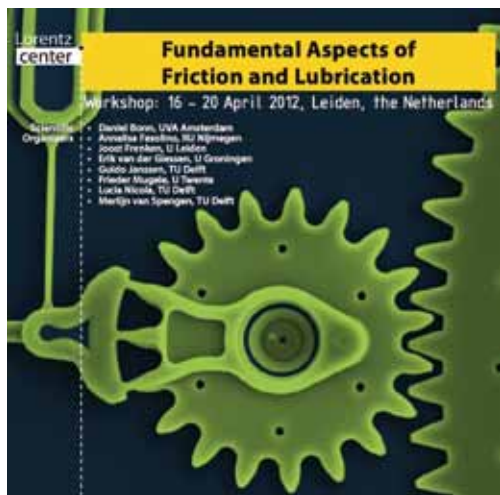
Professor Van der Giessen blikt kort terug wat er de afgelopen 12 jaar is gebeurd op het gebied van MEMS.

Terugkijken naar de toekomst

Ook in de afgelopen 12 jaar zijn niet alle voorspellingen uitgekomen. Vanuit historisch perspectief was dit te verwachten (ik verwijs nog even naar de beperkte toekomst van de toekomstvoorspellingen aan het begin van de 20^{ste} eeuw), maar qua fysica hebben weer veel geleerd.

Aan het begin van de huidige eeuw waren er grote verwachtingen van MEMS, die slechts ten dele zijn gerealiseerd. Eén van de lessen die daar geleerd is, is dat wrijving een veel grotere rol speelt dan in de macroscopische wereld. Om die reden lukt het niet of nauwelijks om een tandwiel-





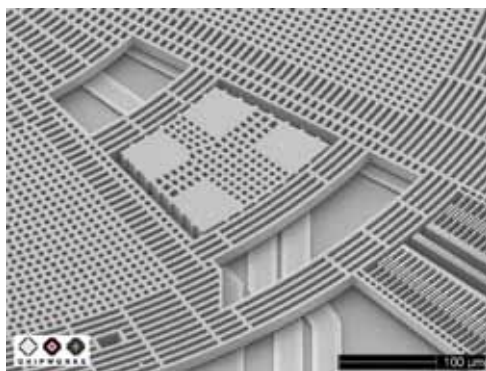
Figuur 4. Fragment van de aankondiging van een workshop over wrijving op kleine schaal. In achtergrond een submillimeter tandwielstelsel waarvan het nog steeds niet is gelukt om het in beweging te zetten.

systeem met afmetingen van micrometers, zoals in Figuur 4, te laten draaien! De oorzaak is eenvoudig: wrijving op kleine schaal is veel belangrijker omdat de verhouding tussen oppervlak en volume relatief groot is voor een klein object ($\propto \text{afmeting}^{-1}$). Om draaiende bewegingen in MEMS te voorkomen worden andere, hele slimme

ideeën gebruikt. Als voorbeeld hiervan noem ik de gyroscoop in smartphones of iPad. Een standaard gyroscoop heeft een schijf of wiel dat met hoge snelheid om een as draait, zie Figuur 5(a); de neiging om z'n draairichting te behouden wordt gebruikt voor de navigatie van vliegtuigen. De gyroscoop van een iPad of iPhone heeft geen draaiende onderdelen, maar bestaat uit kleine balkjes die met hoge frequentie in trilling worden gehouden, zie Figuur 5(b). Ook dit systeem wil liever niet van richting veranderen en dat is de sleutel tot games als *Flight Simulator* en *Smart Bowling 3D* ... maar vergeet bij de laatste niet om je phone vast te houden.



(a)



(b)

Figuur 5. (a) Standaard gyroscoop (b) MEMS-gyroscoop uit iPhone 4. De eerste heeft minimaal twee rotatieassen, de MEMS-gyro bevat geen draaiende onderdelen om wrijvingsproblemen te vermijden.



Top Master Programme in Nanoscience

In addition to the 'regular' MSc-programmes in physics, applied physics, chemistry, and chemical engineering, our Faculty offers a selective master programme: the Top Master Programme in Nanoscience. This Programme distinguishes itself from the other programmes through the following characteristics:

- International orientation: all courses are taught in English and some 2/3 of the students come from abroad;
- Taught by leading scientists of the Zernike Institute for Advanced Materials;
- Aimed at a career in top-level research;
- Multi-disciplinary, uniting aspects of chemistry and physics, and aimed at understanding phenomena at the atomic/molecular scale;
- Selective: possession of a BSc-degree does not provide automatic entrance to the Programme;
- Challenging: about 20% heavier than regular MSc-programmes.

The Top Master Programme in Nanoscience aims to train the leading-edge scientists of the future. This is achieved by offering a challenging interdisciplinary programme and by admitting very talented and motivated students only. The educational programme is strongly intertwined with the research at the Zernike Institute: the courses are taught by international top-level scientists, and a large part of the programme consists of actually doing research alongside world-class scientists, using the state-of-the-art facilities of the Zernike Institute. Participants come from all over the world.

Quality assessment

Recently, the programme was evaluated by QANU (Quality Assurance Netherlands Universities). It was judged on all aspects to be "excellent", the highest possible qualification.

Application

To apply for the Top Master Programme in Nanoscience, send a motivation letter, explaining why you think this programme is suitable for you, and why you are a good candidate for this programme to dr. Koos Mars (n.j.i.mars@rug.nl), before 1 April 2014. If this letter and your grades are sufficiently promising, you will be invited for an interview with members of the Admissions Board in May 2014. The next cohort of students will start 1 September 2014.

More information

For further information, see www.rug.nl/zernike, or visit prof. Caspar van der Wal (Chair of the Course Committee), dr. Koos Mars (coordinator of the programme) or any of the currently participating students.



Schut Geometrische Meettechniek is een internationale organisatie met vijf vestigingen in Europa en de hoofdvestiging in Groningen. Het bedrijf is ISO 9001 gecertificeerd en gespecialiseerd in de ontwikkeling, productie en verkoop van precisie meetinstrumenten en -systemen.

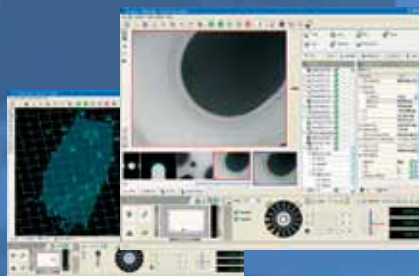
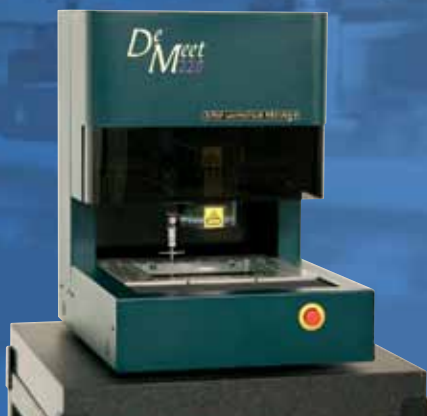
Aangezien we onze activiteiten uitbreiden, zijn we continu op zoek naar enthousiaste medewerkers om ons team te versterken. Als jij wilt werken in een bedrijf dat mensen met ideeën en initiatief waardeert, dan is Schut Geometrische Meettechniek de plaats. De bedrijfsstructuur is overzichtelijk en de sfeer is informeel met een "no nonsense" karakter.

Op onze afdelingen voor de technische verkoop, software support en ontwikkeling van onze 3D meetmachines werken mensen met een academische achtergrond. Hierbij gaat het om functies zoals **Sales Engineer**, **Software Support Engineer**, **Software Developer (C++)**, **Electronics Developer** en **Mechanical Engineer**.

Er zijn bij ons ook mogelijkheden voor een technisch interessant **stage-** of **afstudeerproject**. Dit kan in overleg met de docent worden afgestemd.

Open sollicitaties zijn ook zeer welkom. Voor echt talent is altijd ruimte.

Voor meer informatie kijk op www.Schut.com en Vacatures.Schut.com, of stuur een e-mail naar Sollicitatie@Schut.com.



APPROVE
for *De Meet*

