

Maar het gaat nu juist om het type dat ik net noemde. Glasbergens type 4, de kranen van wijdestrekte dubbel-posten. Het verrassende is dat dit type dat zoveel op Stonehenge lijkt, tot nu toe alleen op 51° 15' NB is aangetroffen!

Maar het gaat nu juist om het type dat ik net noemde. Glasbergens type 4, de kranen van wijdestrekte dubbel-posten. Het verrassende is dat dit type dat zoveel op Stonehenge lijkt, tot nu toe alleen op 51° 15' NB is aangetroffen!

Maar het gaat nu juist om het type dat ik net noemde. Glasbergens type 4, de kranen van wijdestrekte dubbel-posten. Het verrassende is dat dit type dat zoveel op Stonehenge lijkt, tot nu toe alleen op 51° 15' NB is aangetroffen!

Maar het gaat nu juist om het type dat ik net noemde. Glasbergens type 4, de kranen van wijdestrekte dubbel-posten. Het verrassende is dat dit type dat zoveel op Stonehenge lijkt, tot nu toe alleen op 51° 15' NB is aangetroffen!

Maar het gaat nu juist om het type dat ik net noemde. Glasbergens type 4, de kranen van wijdestrekte dubbel-posten. Het verrassende is dat dit type dat zoveel op Stonehenge lijkt, tot nu toe alleen op 51° 15' NB is aangetroffen!

# Algebra, knopen en DNA

onopgelost probleem. Een bekende goocheltruc is het publiek een koord met een aantal ingewikkelde knopen erin voor te houden, dat echter met enkele kunstgrepen blijkt over te gaan in één lus, zonder dat de magiër het breekt. Met een gestrikte schoenveter, waarvan de uiteinden aan elkaar zijn vastgemaakt, is dat niet mogelijk zonder de veter te breken. De gestrikte veter en het magiërkoord zijn topologisch verschillend.

Vroeger maakte men alleen onderscheid tussen knopen door er verschillende namen aan te geven, zoals de mastworp, het Turks Hoofd, de Bimini Twist, etc. De Amerikaan Ashley classificeerde in de jaren veertig 4000 verschillende knopen, twee in elkaar grijpende ringen), vlechtten, etc. De eerste pogingen om knopen wiskundig te classificeren dateren uit het eind van de negentiende eeuw. Het probleem was

toen in de belangstelling komen te staan door de — foutieve — hypothesen van de Engelse natuurkundige Lord Kelvin dat atomen geknoopte wervels in de ether waren. Hij hoopte via de classificatie van knopen het periodiek systeem der elementen te kunnen afleiden.

De wiskundige aanpak is systematisch dan de aan de praktijk ontleende indelingen zoals die van Ashley. De wiskundige definitie van een knoop is: een gesloten kromme die zichzelf niet snijdt. Men probeert dan aan elke knoop een label te hangen in de vorm van een formule, een 'polynoom' (bijvoorbeeld  $1-3x+3x^2-3x^3+x^4$ ). Tot voor kort was het beste label het uit de jaren twintig stammende *Alexander-polynoom*. Het probleem was echter dat die hetzelfde bleek te zijn voor diverse knopen, waarvan een kind kon zien dat ze verschillend waren. Het zoeken was dus naar een label die voor verschillende knopen ook

steeds anders was. De oplossing kwam — zoals in de wiskunde nogal eens voorkomt — uit een geheel onverwachte hoek.

**Algebra**

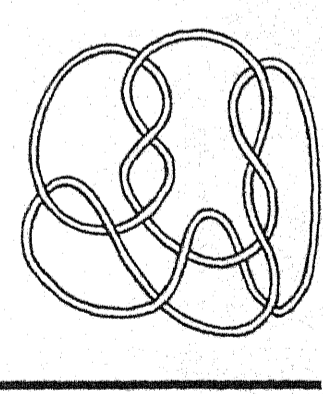
Jones (39) is geboren in Nieuw-Zeeland, studeerde aanvankelijk natuurkunde en promoveerde in de wiskunde aan de Universiteit van Genève. In 1980 ging hij naar de Verenigde Staten. Jones bestudeerde constructies en eigenschappen van bepaalde soorten zogeheten Von Neumann algebra's (genoemd naar de beroemde wiskundige en computerpionier). Een van die constructies — in de vorm van een polynoom — deed enkele vroegere Zwitserse collega's denken aan de 'vlechtgroep', een concept uit de knopentheorie. Na een toevallige ontmoeting in Berkeley met Joan Birman, een expert op dit gebied, werd duidelijk dat dit 'Jones-polynoom' geschikt was om knopen te onderscheiden die

## Michiel Hazewinkel Henk Nieland

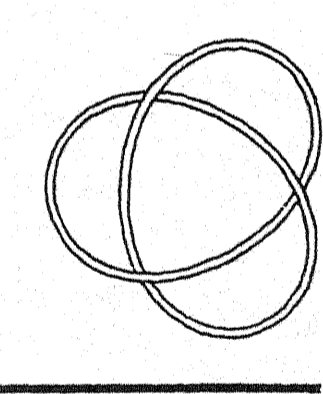
Zes jaar geleden deed hij de ontdekking van zijn leven. Het betrefte wiskunde van de meest abstracte buitenwereld doordringen. Maar het duurde niet lang of biologen en natuurkundigen kenden de naam van de Amerikaanse wiskundige Vaughan Jones heel goed. Zijn werk bleek nieuw licht te werpen op de knopentheorie van DNA-moleculen en van belang te zijn voor de wiskundige onderbouwing van de nieuwste theorieën over elementaire deeltjes. Deze zomer ontving hij de hoogste internationale onderscheiding in de wiskunde, de Fields medaille.

Het werk van Jones had praktische toepassingen voor het ontwarren van knopen. Hoe kom je erachter of twee willekeurige, ingewikkelde knopen eigenlijk hetzelfde zijn of niet? Dat is een oud en tot nu toe

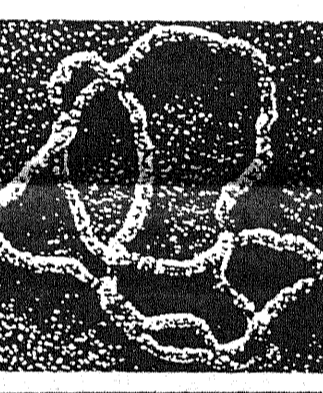
Deze warboel is geen knoop. Door uit elkaar draaien ontstaat een cirkelvormig touwtje.



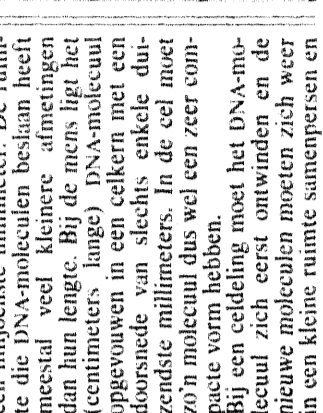
Linkshandig klaverblad. Het rechtshandige heeft een verschillend Jones-polynoom.



Stukje DNA met knopen. Foto gemaakt met elektronenmicroscop.



De knoop van Stevedore lijkt sterk op het stukje DNA.



verschillend zijn, maar waarvoor het Alexander-polynoom hetzelfde is. Dat is bijvoorbeeld al het geval bij het 'klaverblad' ofwel de overhandse knoop, de eenvoudigste knoop die je met een touw kunt leggen en die vaak wordt gebruikt bij schoenveters, pakjes en dergelijke. Er zijn twee varianten, het linkshandige en het rechtshandige klaverblad. Het Jones-polynoom is voor deze twee knopen verschillend.

Jammer genoeg zijn er toch nog knopen met hetzelfde Jones-polynoom die van elkaar verschillen. Het lemaal perfect is de formule dus niet. Na de ontdekking van Jones hebben verschillende wiskundigen een nog algemenere formule gevonden om knopen van elkaar te onderscheiden, maar ook die is nog steeds niet perfect. Het is overigens de vraag of er zo'n relatief eenvoudige classificatie kan bestaan. Toch kan men spreken van een grote vooruitgang, niet eens zozeer wegens de fijnere classificatie dan wel omdat deze direct verband houdt met biologische begrippen.

opwinden. Als dat niet goed gebeurt, als er bijvoorbeeld een 'kink in de kabel' komt, of als het DNA breekt, dan sterft de cel. Daarom willen biologen graag weten hoe dat op- en ontwinden in zijn werk gaat. Verder is het van belang om te kunnen zeggen of DNA-moleculen onderling bepaalde interacties kunnen aangaan (recombinatie). Bij recombinatie kunnen moleculen ontstaan die in de knoop zijn geraakt. Of een bepaald molecuul kan worden gevormd hangt dan onder meer af van zijn knopentopologie (topologie). Soms blijkt zo'n overgang topologisch onmogelijk te zijn. Ingewikkelde knopen zoals die bij DNA-moleculen voorkomen, kunnen op miljarde verschillende manieren worden gemaakt. Het is dus van belang

vervolg op pagina 2

### INHOUD

2 Steen van Rosetta / Saris over geloof en fysica / Vlucht naar Pluto

3 Milieu-econoom Haefling: "Ik ben meer econoom dan zij allemaal bij elkaar".

4 Uitstervende talen / Voor de klas / Tijdschrift: History of Sexuality

5 Democratische universaliteit / Lang met de trein / Knoppert over cohorten

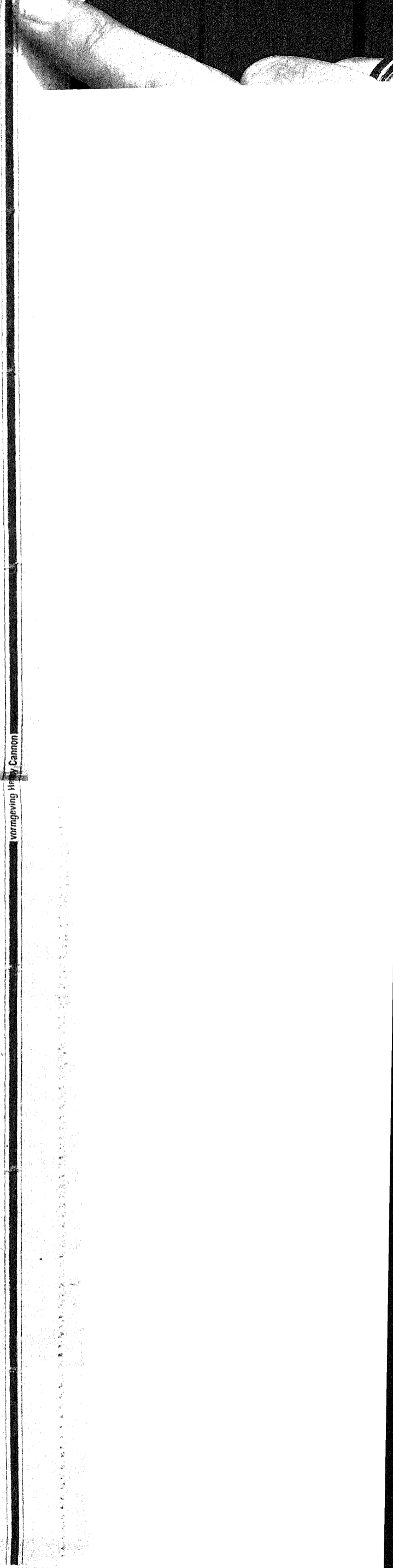
6 Gekoeld aardgas per schip / Autobedraging / Deel 1 van HANGENDE WAGENS

Stonehenge zoals wij dat kennen is de ruïne van de laatste bouwfasie die in de Vroege Bronstijd begon en in de Midden-Bronstijd omstreeks 1500 v. Chr. werd gestaakt. Het is meer precies de ruïne van Stonehenge IIIc. Stonehenge I werd in het Laat Neolithicum, ergens tussen 3100 en 2100 v. Chr. gebouwd door de zogenaamde Secondary Neolithic People. Het bestond uit een cirkelvormige greppel en wal, de Heelstone, de vier Stationstones, de A 1/m H stenen (nu gaten) en de Aubreyholes. De latere bouwfasen II en IIIa,b,c lasten dit basispatroon niet aan.

Stonehenge IIIc met Sarsen en Bluestone circie en horseshoe, de

Een DNA-molecuul heeft een lang-gerekte vorm. De lengte varieert, afhankelijk van het organisme, van drieduizendste centimeter tot enkele centimeters, de doorsnee is ongeveer een miljoenste millimeter. De ruimte die DNA-moleculen beslaan heeft meestal veel kleinere afmetingen dan hun lengte. Bij de mens ligt het (centimeters lange) DNA-molecuul opgevouwen in een celkern met een doorsnede van slechts enkele duizendste millimeters. In de cel moet zo'n molecuul dus wel een zeer compacte vorm hebben.

Bij een celdeling moet het DNA-molecuul zich eerst ontwinden en de nieuwe moleculen moeten zich weer in een kleine ruimte samenvoegen en



vergeving Henry Cannon