Deze tekst vervangt de tekst tot en met pag 2 :Maar wacht even …

**Inleiding**

Voor je ligt de NLT module Kansen met Quantum. De module behandelt de ontwikkeling van de quantumcomputer, een ontwikkeling die voortvloeit uit de quantumtheorie. Deze theorie is inmiddels meer dan 100 jaar oud, en bleek de sleutel tot het begrip van de materie op de kleinste schaal. Op die schaal zit de wereld werkelijk anders in elkaar dan onze vertrouwde, klassieke, Newtoniaanse ervaringswereld. Om twee verschijnselen te noemen: vanaf de atomaire schaal hebben de dingen zowel deeltjes- als golfeigenschappen, en energie blijkt alleen in precies afgemeten hoeveelheden te kunnen voorkomen (vandaar quanta). De theorie werd uitgebreid en bracht nog vreemdere implicaties aan het licht. Zo kun je maar tot op zekere nauwkeurigheid tegelijk de plaats en impuls van een deeltje bepalen en deeltjes kunnen over grote afstand met elkaar verbonden (verstrengeld) zijn. Voor Einstein, nota bene een quantumonderzoeker van het eerste uur, was dit gebrek aan ‘local realism’ [marginnote: quantum breekt met local realism: de eigenschappen van deeltjes zijn niet alleen lokaal en je kunt een deeltje alleen iets zeggen over een deeltje als je het meet (realism) ] een brug te ver [ref EPR]. Hij durfde de conclusie niet aan dat quantum zou breken met local realism. De quantumtheorie zou niet compleet zijn, er zouden verborgen variabelen in het spel zijn. Einstein’s twijfel onderstreept eens te meer dat quantumtheorie tegenintu\”ititve gevolgen heeft. De EPR paradox werd in 1964 scherp gesteld in de ongelijkheid die door John Bell is opgesteld. In 1982 heeft Alain Aspect een acceptabel bewijs geleverd van het falen van local realism. Deeltjes kunnen over grote afstand gekoppeld zijn en je kunt geen uitspraak doen over de toestand van een deeltje als je het niet meet. We zullen de Bell ongelijkheid in de basismodule niet behandelen.

In 1982 Liet Richard Feynman zien dat je met een klassieke computer geen quantumsysteem kan simuleren, maar met een quantumcomputer mogelijk wel. Deze gedachte werd snel opgepakt, en er werden enkele algoritmen gepubliceerd die de specifieke kracht van quantumcomputers aantoonden. Quantumcomputers bleken in staat te zijn enkele specifieke problemen effici\”ent aan te kunnen pakken waar klassieke computers problemen mee hebben. Een toepassing ligt in het simuleren van andere quantumsystemen. Dat quantumcomputers daar goed in zijn kun je misschien aanvoelen. Ze blijken ook goed in het kraken van codes en het zoeken in een ongesorteerde lijst. De toepassingen zijn er al.

De ontwikkeling van de hardware staat nog in de kinderschoenen. Het is een opkomende technologie, en voorspellen van de toekomst is moeilijk. ~~Je zou de voorspellingen uit de vorige eeuw over de ontwikkeling van klassieke computers er eens bij kunnen halen. Een quote: De topman van IBM, toentertijd een bedrijf dat kantoormachines maakte, voorspelde dat de wereld behoefte had aan hooguit vijf computers. Dat heeft hij bij moeten stellen. IBM heeft een draai gemaakt heeft haar kantoormachines door computers vervangen. We moeten deze blunder niet te hard beoordelen.~~ De toepassingen van vandaag, zoals de komst van het internet, sociale media en sterkte van de tech-giganten als Google, Amazon en IBM waren niet te voorspellen.

Een computer kan niets zonder programmering (software). Dit is een geordende set van instructies waarmee je een computer een taak kan laten uitvoeren, bijvoorbeeld het besturen van je muis, Het sturen van een mailtje etc. Op je telefoon zitten zomaar een miljoen regels code om jou reclamefilmpjes voor te schotelen. Voor klassieke computers bestaan er gigantische hoeveelheden software. Voor quantum computers bestaan maar een handjevol algoritmen [ref]. We noemden twee toepassingsgebieden.

- Simulaties. Hier zitten veel toepassingsgebieden op het vinkentouw [ref]. De meest voor de hand liggende toepassingen liggen het simuleren van grote moleculen zoals in de farmacie. Niemand weet precies hoe een paracetamolletje werkt. Planten kunnen geen stikstof uit de lucht (in de vorm van $N\_2$) gebruiken als bouwstof. Bacteri\”en van het geslacht \textit{Rhizobium} leven in symbiose met vlinderbloemigen. Zij kunnen stikstof ($N\_2$) omzetten in $NH\_3$ De plant kan dat als bouwstof gebruiken. De omzetting van $N\_2$ naar $NH\_3$ kan via een chemisch proces, het Haber-Bosch proces. Dit proces kost echter enorm veel energie en het is daarom niet echt rendabel. \textit{Rhizobium} maakt gebruikt van een enzym met de cofactor FeMoCo.

-Shor: Op een klassieke computer neemt de tijd die nodig is om een getal te ontbinden in priemfactoren exponentieel toe met de grootte van het te ontbinden getal. Het Shor mechanisme kan dat terugbrengen tot kwadratisch. Voor kleine getallen is dat niet belangrijk, maar bij grote getallen betaalt de winst zich onherroepelijk uit. Waarom is dit belangrijk? Bijna al onze versleuteling is op RSA-encryptie gebaseerd. Dit systeem maakt er gebruik van dat het heel lastig is om de priemfactoren van een groot getal te vinden, terwijl, als er een priemfactor van dat getal bekend is (de private sleutel) het makkelijk is om het andere getal te vinden. In de module Cryptografie wordt de RSA –encryptie in detail behandeld.

~~-Grover: Versnelt het zoeken in een ongesorteerde lijst met $\sqrt{N}$. Ook hier treedt het voordeel alleen op bij lange lijsten (grote N). Genoeg te doen voor onze klassieke computers.~~

Als (wanneer) de technologie doorbreekt heeft dit een ontwrichtende werking op de maatschappij. Grote bedrijven en overheden willen de boot niet missen. Als gevolg worden er nu miljarden ge\”investeerd in de ontwikkeling van quantumcomputers en de bijbehorende software.

Deze module brengt ook het maatschappelijk deel aan het licht.

**Opbouw en leerdoelen**

[De tekst hierna is overgenomen en enigszins aangepast uit de module in een oogoplag]

De module bestaat uit twee delen. In het eerste deel bouwen we ons begrippenapparaat

op, in het tweede deel passen we onze kennis toe in praktische opdrachten. Het eerste deel bestaat uit drie hoofdstukken. Alle hoofdstukken hebben een aantal werkbladen. In hoofdstuk 1

beginnen we met een korte inleiding op het onderwerp en maken we kennis met enkele belangrijke begrippen en fenomenen door zelf te experimenteren met licht. Om het vergelijk te maken met een

quantum computer begint hoofdstuk 2 met een korte uitleg over hoe een klassieke computer werkt. We onderbouwen ons wiskundig begrippenapparaat met een model. Het hoofdstuk eindigt met een eisenlijst waaraan een quantum computer moet voldoen. In 3 behandelen we de bouwblokken (poorten) van quantum computers. We zien dat die echt anders zijn. We combineren de poorten in een algoritme adt je echt niet op een klassieke computer kunt uitvoeren: teleportatie. We sluiten het hoofdstuk af met een blik op de toekomst. Na dit hoofdstuk volgt een toets.

Het tweede deel (hoofdstuk 4) is een verzameling praktische keuzeopdrachten.

In dit deel onderzoek je in samenwerkingsverband een aspect van quantum computing; je onderzoekt een algoritme, je verdiept je in wiskunde D, onderzoekt een technisch aspect of je denkt na over de maatschappelijke consequenties. Er is ook de mogelijkheid om dit deel in te vullen met een activiteit aangeboden door een van de universiteiten. Als je deze module afsluit hopen we dat je je realiseert wat deze technologie in de toekomt voor jou kan betekenen.

**kladdtekst**

Bell met venndiagrammen <https://xseek-qm.net/Bells_inequality_e.html>

@article{PhysRev.47.777,

title = {Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?},

author = {Einstein, A. and Podolsky, B. and Rosen, N.},

journal = {Phys. Rev.},

volume = {47},

issue = {10},

pages = {777--780},

numpages = {0},

year = {1935},

month = {May},

publisher = {American Physical Society},

doi = {10.1103/PhysRev.47.777},

url = {https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRev.47.777}

}

Uit onduidelijke bron van het internet. Uitleg over EPR voor in de docentenhandleiding:

Er zijn twee manieren om de eigenschappen van een elementair deeltje te beschrijven. Als voorbeeld neem ik een elektron, dat twee kanten op kan draaien. Die twee kanten noem ik, naar analogie van Engels woordgebruik, Up en Down. Tussenliggende mogelijkheden, zoals bij een gewone bal, bestaan niet in de quantummechanische wereld. Als je nu een elektron hebt, en je hebt nog niet gemeten welke kant het op draait - welke kant draait het dan op? Up, Down, of iets anders?

Hier komen de twee verschillende visies tot uiting. Einstein, Podolsky en Rosen waren aanhangers van de klassieke visie (zoek op "EPR-paradox").

Die klassieke visie zegt: --  "Het elektron draait ofwel Up ofwel Down, maar wij weten (nog) niet welke van de twee het is."

De quantummechanica zegt iets anders: --  "Het elektron draait niet Up en ook niet Down. Dat komt niet doordat wij nog niet hebben gekeken, het draait ECHT niet Up en niet Down. Het enige dat we kunnen zeggen is dat het elektron tegelijk zowel Up als Down draait, en dat we bij een meting 50% kans hebben dat we Up zien, en 50% kans dat we Down zien. Het is alsof het elektron pas beslist of het Up of Down zal draaien op het moment dat wij de meting uitvoeren."

De klassieke versie wordt ook wel de versie van de 'verborgen variabelen' ('hidden variables') genoemd: het elektron doet iets specifieks, namelijk één van beide en niet de andere, alleen weten wij (nog) niet welke van de twee het wel doet, en welke niet. Het theorema van Bell, en alle afgeleide varianten daarvan die gezamenlijk de Bell-ongelijkheden worden genoemd, zegt dat de quantummechanische versie de juiste is. Zelfs als dat tegen onze intuïtie ingaat. De Bell-ongelijkheden doen voorspellingen over hoe meetresultaten eruit zouden zien wanneer de klassieke visie (van de verborgen variabelen) de juiste zou zijn, en hoe meetresultaten eruit zouden zien wanneer de quantummechanische versie de juiste zou zijn. Op die manier hebben we een \*testbare\*, en daarmee \*falsificeerbare\*, uitspraak. Inmiddels zijn de door Bell voorgestelde experimenten uitgevoerd, in vele varianten. Telkens bleek dat de quantummechanische versie de juiste is. Einstein had dus ongelijk. Einstein zei eens: "God dobbelt niet". In werkelijkheid blijkt God wel te dobbelen.

https://hicraigchen.medium.com/digital-image-processing-using-fourier-transform-in-python-bcb49424fd82