

Tentamen 2: Geschiedenis van de Moderne Natuurkunde NS-361B. Datum: 29-06-2012  
Vergeet niet je naam en studentnummer op je tentamen te vermelden.

Let op: het tentamen bestaat uit 7 vragen. Schrijf je antwoorden uit in volle zinnen, niet in telegramstijl. Motiveer je antwoord.

**Vraag 1:** “Volgens een hardnekkige mythe”, aldus het dictaat, “zag de fysicus anno 1900 zijn vakgebied als op een haar na voltooid.” In werkelijkheid was het een periode waarop de grondslagen van de natuurkunde volop ter discussie stonden. Ook was het een tijd waarin nieuwe verschijnselen werden ontdekt en theorieën continu in ontwikkeling waren.

a) Leg uit aan de hand van twee concrete voorbeelden waarom het dictaat terecht spreekt van een “mythe”.

**Vraag 2:** De contractiehypothese van Lorentz en FitzGerald wordt meestal uitgelegd als een typische *ad hoc* hypothese.

- Welke verassende experimentele resultaten moest de hypothese verklaren?
- Met de opkomst van de elektromagnetische theorie van de materie (of het elektromagnetische wereldbeeld) werd de contractiehypothese een stuk aannemelijker. Leg uit waarom.
- Einsteins speciale relativiteitstheorie wordt wel gezien als een radicale breuk met de natuurkunde van de zeventiende tot en met de negentiende eeuw. Licht toe waarom men spreekt van een breuk en ga daarbij in op het idee van lokale tijd en de betekenis van de ether.
- Einstein zelf, echter, zag zijn theorie juist als een voor de hand liggende continuering van de ideeën van Lorentz. Leg uit waarom hij die mening was toegedaan.

**Vraag 3:** Max Planck geldt als de vader van het energiequantum – en daarmee als de grondlegger van de quantummechanica. Volgens historicus Thomas Kuhn is dit beeld misleidend.

- Wat is Kuhns argumentatie voor het geval Planck?
- Dat Plancks stralingswet energiequantisatie vereist, kwam begin twintigste eeuw mede door toedoen van Einstein aan het licht. Dit inzicht hing samen met een door Einstein in 1905 voorgestelde hypothese. Welke hypothese wordt bedoeld? Van welk verschijnsel wist Einstein met deze hypothese rekenschap te geven?
- Niels Bohr benadrukte al in zijn proefschrift van 1911 de noodzaak van radicale, niet-mechanische hypothesen. Toch moest hij om zijn Bohr-atoom uit te werken en te redden, herhaaldelijk een beroep doen op regels uit de klassieke natuurkunde. Noem hiervan een voorbeeld. Geef ook een voorbeeld van hoe Bohrs atoommodel de klassieke fysica schond.

**Vraag 4:** De geschiedenis van de quantummechanica kent meerdere paden, hindernissen en hoofdrolspelers. De eenheid en samenhang van de uiteindelijke theorie staat in contrast met de diversiteit van benaderingen en opvattingen in de jaren 1915-1927.

- Wat waren de drie voornaamste centra van quantummechanisch onderzoek in 1920 en met welke namen kunnen wij deze centra associëren?
- Het onderzoek van Bohr en Sommerfeld richtte zich met name op de bepaling van de eigenschappen (grootte, excentriciteit, oriëntatie) van de elektronenbanen rond de atoomkern. Op deze wijze hoopten zij rekenschap te geven van stralingsverschijnselen zoals het Zeeman-effect. Max Born had een wetenschapsfilosofisch bezwaar tegen de Bohr-Sommerfeldtheorie. Wat was dat bezwaar?

**Vraag 5:** De periode 1922-1924 geldt als een crisisperiode van de 'oude quantumtheorie'. Een van de vele problemen had te maken met de wisselwerking tussen elektromagnetische golven en materie. Het continue karakter van de klassieke golftheorie was moeilijk te rijmen met de discrete eigenschappen van het Bohr-atoom. Het probleem spitste zich toe op impuls- en energiebehoud. Een voor de hand liggende oplossing hiervoor was om de straling zelf te quantiseren. Bohr, Kramers en Slater bedachten een alternatieve theorie. Zij verwierpen het lichtquantum omdat deze in strijd was met een van de peilers van de Kopenhaagse benadering, namelijk het correspondentieprincipe.

- a) Waarom was het lichtquantum problematisch bij het toepassen van het correspondentieprincipe?
- b) Wat was er radicaal aan de theorie van Bohr, Kramers en Slater?
- c) Uiteindelijk forceerde Werner Heisenberg met zijn matrixmechanica een doorbraak. Noem een van zijn centrale uitgangspunten.
- d) Een andere weg naar de quantummechanica verliep via het golf-deeltje dualisme. Noem twee hoofdrolspelers van deze ontwikkeling.

**Vraag 6:** Wetenschappers leven niet in een ivoren toren, afgezonderd van de samenleving. In de jaren van de Duitse Weimar republiek was natuurkunde even omstreken als die republiek zelf. In een brief uit 1920 schreef Einstein: "De wereld is een vreemd gekkenhuis geworden. Op het moment debatteert iedere taxichauffeur en ober of de relativiteitstheorie wel juist is. Het oordeel hangt af van politieke voorkeur."

- a) Beschrijf waarom Einstein tot deze opvallende opmerking gekomen was.
- b) Het collegedictaat (p. 45) schrijft over deze periode: "vrijwel alle professoren zagen zich ... als apolitiek. Wetenschap en politiek achtten zij als onvereenigbaar." Dit *lijkt* in strijd met de geciteerde brief van Einstein. Toch was de 'apolitieke' houding niet politiek neutraal; wat impliceerde deze houding namelijk?

**Vraag 7:** In 1933 correspondeerden Max von Laue en Albert Einstein over de vraag in hoeverre wetenschappers een politiek standpunt moesten innemen. Von Laue schreef aan Einstein een verzoek om zich te matigen: "Hier [in Duitsland] houden ze zowat de gehele Duitse natuurkundige gemeenschap verantwoordelijk als jij je politiek uitspreekt." Einstein antwoordde: "Ik ben het niet met je eens dat wetenschappers hun mond moeten houden in politieke kwesties. ... Betekent een dergelijke terughoudendheid niet juist een gebrek aan verantwoordelijkheidsgevoel?"

- a) Welke historische gebeurtenissen vormden de aanleiding van deze briefwisseling?
- b) In de loop van de jaren dertig werd Heisenbergs reputatie voortdurend geschaad door tijdgenoten die hem en zijn fysica zwart probeerden te maken. Wat werd hem verweten? Hoewel natuurkundigen als Max Planck en Werner Heisenberg niet sympatiek stonden tegenover het heersende regime bleven zij toch werkzaam in Duitsland. Wat waren hun motivaties? Waarom is het moeilijk hun positie achteraf te beoordelen?