

4.2 Domeinspecifieke leerstofopbouw

4.2.11 Quantumwereld

Achtergrondinformatie

‘Spin First’ benadering

Kirsten Stadermann

Inleiding

Voor het onderwijs in de quantummechanica zijn twee fundamenteel verschillende benaderingen te onderscheiden: de *Position First* benadering en de *Spin First* benadering. De eerste benadering start met “position probability wave functions”, de tweede benadering start met “discrete bases of spin-half before being introduced to Schrödinger’s equation” (Sadaghiani & Munteanu, 2015; Sadaghiani, 2016). De tweede benadering lijkt een positief effect op de begripsoontwikkeling van leerlingen te hebben.

Cursusopbouw

De tabel van figuur 1 geeft een (zeer globale) indruk van een mogelijke cursusopbouw bij de twee genoemde benaderingen.

Week	Position First	Spin First
1	Birth of modern physics, blackbody radiation	Birth of modern physics, blackbody radiation
2	Planck quantization, photoelectric effect	Planck quantization, photoelectric effect
3	Structure of atom, Thomson & Rutherford models	Structure of atom, Thomson & Rutherford models
4	Bohr model, X-ray spectra	Bohr model, X-ray spectra
5	De-Broglie waves, wave particle duality	De-Broglie waves, wave particle duality
6	Double slits & electron scattering	Polarization, spin magnetic moment
7	Wave Function, properties, normalization	Dirac notation, postulate, Stern-Gerlach experiments
8	Schrödinger equation, probability, expectation values	Matrix notation, quantum state vectors
9	Infinite & finite potential well	Schrödinger equation, particle in a box, expectation values
10	Barriers & quantum tunneling	Finite potential well, barriers & quantum tunneling

Figuur 1 – Globale cursusopbouw bij de *Position First* en de *Spin First* benaderingen van het onderwijs in de quantummechanica. (Bron: Sadaghiani, 2016)

De *Position First* benadering is ruwweg de standaardbenadering in alle Nederlandse leerboeken, met de door Born geïntroduceerde interpretatie van (het kwadraat van) de golffunctie als statistische waarschijnlijkheid voor de plaats van een quantumdeeltje (en dat is wat bijna iedereen op de universiteit bij quantummechanica geleerd heeft). Leerboeken en leraren moeten zich dan in bochten wringen en vermelden iets als: “Zo lang je niet meet waar het elektron is, moet je het als golf beschouwen. Pas als je het meet, manifesteert het zich als deeltje.” Hiermee komt wel duidelijk over dat de quantumwereld vreemd is, maar voor leerlingen is het niet zo duidelijk welke consequenties dat heeft (ze gaan toch nooit echt oplossingen voor de Schrödingervergelijking berekenen) of waarom ze het zo zouden moeten bekijken.

De *Spin First* benadering (of algemener: de *two-state-systems* benadering) slaat dat allemaal over en komt meteen met voorbeelden waarbij het verschil tussen klassiek en quantum overduidelijk is: met Stern-Gerlach opstellingen (voor spin)

of de Mach-Zehnder interferometer (fotonenpolarisatie). Hieronder staan in figuur 2 de samenvattingen van drie artikelen die achtereenvolgens een beeld geven van hoe de lessen er met een dergelijke benadering uitzien (met een fraaie simulatiewebsite van QuVis) (Kohnle et al, 2015), de mogelijke opbouw van een lessenserie (Marshman & Singh, 2017) en een argumentatie waarom deze methode sneller tot het doel leidt (Pospiech, 2000).

Kohnle, A., Baily, C., Campbell, A., Korolkova, N. & Paetkau, M.J. (2015)
Enhancing student learning of two-level quantum systems with interactive simulations

The QuVis Quantum Mechanics Visualization project aims to address challenges of quantum mechanics instruction through the development of interactive simulations for the learning and teaching of quantum mechanics. In this article, we describe evaluation of simulations focusing on two-level systems developed as part of the Institute of Physics Quantum Physics resources. Simulations are research-based and have been iteratively refined using student feedback in individual observation sessions and in-class trials. We give evidence that these simulations are helping students learn quantum mechanics concepts at both the introductory and advanced undergraduate level, and that students perceive simulations to be beneficial to their learning.

Marshman, E. & Singh, C. (2017)
Investigating and improving student understanding of quantum mechanics in the context of single photon interference

Single photon experiments involving a Mach-Zehnder interferometer can illustrate the fundamental principles of quantum mechanics, e.g., the wave-particle duality of a single photon, single photon interference, and the probabilistic nature of quantum measurement involving single photons. These experiments explicitly make the connection between the abstract quantum theory and concrete laboratory settings and have the potential to help students develop a solid grasp of the foundational issues in quantum mechanics. Here we describe students' conceptual difficulties with these topics in the context of Mach-Zehnder interferometer experiments with single photons and how the difficulties found in written surveys and individual interviews were used as a guide in the development of a Quantum Interactive Learning Tutorial (QuILT). The QuILT uses an inquiry-based approach to learning and takes into account the conceptual difficulties found via research to help upper-level undergraduate and graduate students learn about foundational quantum mechanics concepts using the concrete quantum optics context. It strives to help students learn the basics of quantum mechanics in the context of single photon experiment, develop the ability to apply fundamental quantum principles to experimental situations in quantum optics, and explore the differences between classical and quantum ideas in a concrete context. We discuss the findings from in-class evaluations suggesting that the QuILT was effective in helping students learn these abstract concepts.

Pospiech, G. (2000)
Uncertainty and complementarity: The heart of quantum physics

The discussion of particle-wave dualism still plays an important part in teaching quantum theory. This surely is for historical reasons, since it was important in grasping the concept of uncertainty. Recent EPR-like experiments, however, indicate new ways of teaching the notions of uncertainty and complementarity. These allow us to achieve a clear understanding without difficult mathematical obstacles and promote also a well-founded discussion of philosophical aspects. The core of the considerations presented here are systems consisting of two-state objects, for example the spin states of photons or electrons.

Figuur 2 – Samenvattingen van een drietal artikelen over de *Spin First* benadering.

Examenprogramma

Met de *Spin First* benadering kun je duidelijk laten zien dat elke klassieke beschrijving tekort schiet. Je bent ook binnen één les toe aan verstrengeling en quantumcryptografie, maar dat past op dit moment niet in het Nederlandse curriculum. In het examenprogramma staat namelijk niets over verstrengeling. Bovendien is met een twee-niveau-benadering bijvoorbeeld het tunneleffect niet uit te leggen, en is het (voor eindexamenopgaven zo geliefde) 'deeltje-in-eendoos' niet direct af te leiden. De *Spin First* benadering is dus fundamenteel

anders dan de traditionele benadering en er zit veel potentie in, maar is op dit moment (helaas) niet toepasbaar in de Nederlandse situatie.

Literatuur

- Kohnle, A., Baily, C., Campbell, A., Korolkova, N. & Paetkau, M.J. (2015). [Enhancing student learning of two-level quantum systems with interactive simulations](#). *American Journal of Physics* 83(6), 560-566.
- Marshman, E. & Singh, C. (2017). [Investigating and improving student understanding of quantum mechanics in the context of single photon interference](#). *Physical Review Physics Education Research* 13(1), 010117.
- Pospiech, G. (2000). Uncertainty and complementarity: the heart of quantum physics. *Physics Education* 35(6), 393-399.
- Sadaghiani, H.R. & Munteanu, J. (2015). [Spin First instructional approach to teaching quantum mechanics in sophomore level modern physics courses](#). AAPT: 2015 PERC Proceedings, 287-290.
- Sadaghiani, H.R. (2016). [Spin First vs. Position First instructional approaches to teaching introductory quantum mechanics](#). AAPT: 2016 PERC Proceedings, 292-295.