

08.04.2007

## **Studieretningsprojekt i matematik og fysik (evt. også filosofi)**

”Kvantemekanikken og dens konsekvenser”

Udarbejdet af Flóvin Tór Nygaard Næs

### **Introduktion**

I dette studieretningsprojekt får eleven lov til at fordybe sig i baggrunden for de tilsyneladende paradoksale konsekvenser, som kvantemekanikken kan føre til. Kvantemekanikkens forsøg på at give en forklaring af, hvad der sker på atomart niveau problematiserer nemlig overraskende begreber som lokalitet og kausalitet, der ellers har slået godt rod i os mennesker.

Specielt følges debatten mellem Bohr og Einstein i første halvdel af det 20. århundrede om kvantemekanikkens status og dens filosofiske konsekvenser.

### **Faglige forudsætninger (matematik A):**

- Differential- og integralregning.
- Differentialligninger.
- Sandsynlighedsregning.
- Vektorregning.

### **Faglige forudsætninger (fysik A)**

- Kendskab til klassisk mekanik.

### **Faglige mål (matematik)**

Matematik bliver i dette projekt, som i mange andre fysikprojekter, en slags redskabsfag, men når det er sagt, så ligger meget af matematikken, som kvantemekanikken bygger på, udenfor det sædvanlige pensum i Matematik A. Af matematiske emner, som med fordel kunne dyrkes i dette projekt, kan nævnes:

- Funktioner af flere variable.
- Egenverdier og egenfunktioner.
- Komplekse tal.

### **Faglige mål (fysik)**

Eleven skal sætte sig ind i nogle af kvantemekanikkens grundtanker- og teorier. Desuden skal eleven opnå en forståelse af, hvilke konsekvenser der kan drages af kvantemekanikken. Dette skal så helst resultere i, at elevens forhåndsviden om klassisk mekanik ses i et nyt lys efter projektets udarbejdelse.

## Nærmere beskrivelse af projektemnet

I den klassiske fysik er vi vant til en bestemt form for determinisme. Hvis vi har givet en ting med en bestemt placering, en bestemt masse og en bestemt hastighed i en retning, samtidig med at vi ved hvilke kræfter der virker på denne ting, så kan vi ud fra disse oplysninger slutte, hvor denne ting vil befinde sig til et givet tidspunkt og med hvilken hastighed, den da vil bevæge sig.

Sådan forholder det sig ikke i kvantemekanikken, og det er en af årsagerne til, at den kan være svær at forholde sig til. I kvantemekanikken arbejder man i stedet for med sandsynligheden for, at små partikler, som f.eks. elektroner, befinder sig på visse steder til givne tidspunkter. Denne fremgangsmåde viser sig at være meget passende i teorier om vores verden på mikroplan, men de strider altså mod visse dele af vores menneskelige intuition.

Et eksempel på dette er det såkaldte dobbeltspalteeksperimentet (Jakobsen, s. 34-43), som er en god illustration af, hvilke mærkværdige konklusioner kvantemekanikken kan nå frem til. Her er det ikke muligt at sige præcis, hvor elektronerne ender, efter at de har bevæget sig gennem et folie med to huller, men man kan sige noget om, hvilke er de mest sandsynlige steder.

Et af de centrale begreber i kvantemekanikken er Heisenbergs ubestemthedsrelation, hvor Plancks (endelige) konstant  $h$  indgår og dermed sætter vis en grænse for måleunøjagtighederne. Jo nøjagtigere man måler en partikels stedkoordinater, desto unøjagtigere bliver målingen af partiklens impuls (Hansen, s. 59-63).

Heisenbergs ubestemthedsrelation er en af hjørnestenene i Bohrs fortolkning af kvantemekanikken, den såkaldte Københavnerfortolkning. Bohr lagde nemlig stor vægt på begrebet komplementaritet (Staffanson, s. 43), og med dette menes, at målinger af fænomener kan være med til at udelukke nogle aspekter af det målte fænomen.

Einstein var Bohrs kritiker, idet han påstod, at kvantemekanikken ikke var en fuldstændig teori, og at der i princippet burde være muligt at formulere en teori, hvor man kunne bestemme egenskaber ved partikler definitivt og ikke blot med en vis sandsynlighed. Som modargument formulerede Einstein sammen med nogle af sine kolleger det såkaldte EPR-paradoks (Jakobsen 57-63), hvor de påviste muligheden af at en måling af en partikel i visse tilfælde kan bringe os information om en anden partikel. Bohr svarede igen, at man ikke kan forestille sig, hvad der sker mellem målingerne og at den virkelighed, vi ønsker at få viden om, ikke er uafhængig af vores målinger.

Af andre emner, som kunne være spændende at inkludere i projektet, er Bohms tanke eksperiment (Jakobsen 64-70), samt Bells ulighed, som gjorde det muligt at måle, hvorvidt det nu var Einstein eller Bohr, der havde ret. Dette var netop essensen i Aspects forsøg i 1982, og her blev der konkluderet, at Bohrs fortolkning af kvanteteorien var den rigtige.

Af konkrete aspekter af kvantemekanikken, som det er oplagt at beskæftige sig med, kan nævnes Schrödingers bølgeligning (Hansen, s. 56; Staffanson s. 45), som er grundlaget under den såkaldte "bølgemekanik", hvormed man kan redegøre for flere fænomener end den klassiske mekanik.

Eksempelvis kan man se Schrödingerligningen anvendt i forbindelse med analysen af brintatomet (Hansen, s. 83). Man kan også vælge at give en mere grundlæggende forklaring på Bohrs atommodel og hans forståelse af brintatomets stabilitet (Staffanson, s. 25).

For at ruste eleven så godt som muligt til den fysiske del er det oplagt, hvis eleven f.eks. skal arbejde med Schrödingers ligning, at eleven introduceres for komplekse tal, funktioner af flere variable, samt egenværdier og egenfunktioner. Det vil så være elevens opgave at inkorporere disse matematiske aspekter og vise sin forståelse for dem på en passende måde i opgaven.

Det kan synes at være lidt begrænsede muligheder for at inddrage fysiske eksperimenter i udarbejdelsen af projektet, som godt kan blive lidt teoretisk. Nogle forsøg, som kan være relevante er forsøg, der illustrerer den fotoelektriske effekt, forsøg der udregner Plancks konstant eller bølgemekaniske forsøg (se også link til databaser med fysikforsøg).

### **Variationsmuligheder:**

Det burde være en oplagt mulighed at inddrage filosofi som et tredje fag i projektet. Debatten mellem Einstein og Bohr er af meget filosofisk karakter, idet den menneskelige erkendelsesevne er til debat. Er det principielt muligt for os at formulere en teori, som kan udtale sig med absolut sikkerhed om målinger på atomart niveau (Einsteins holdning), eller må vi ”nøjes” med en statistisk funderet kvantemekanik (Bohrs position)?

Bohrs holdning om, at fysikere ikke kan beskrive verden som den er, men blot kan udtale sig om, hvad vi kan sige om verden (Jakobsen, s. 45), kan relateres til Immanuel Kants holdning til menneskets erkendelsesevne. Ligeledes kan der drages paralleller til Platons hulelignelse (Jakobsen, s. 55).

Angående variationsmuligheder indenfor fysik og matematik, så kan der altid stilles forskellige konkrete (regne- eller måske bevis) opgaver (Hansen, Staffanson og Jakobsen har alle masser af opgavestof). Desuden kan man lægges fokus på andre aspekter, som er relaterede til kvantemekanikken eller gå mere i dybden med emner som:

- Brownske bevægelser (Jakobsen, kap. 1)
- Max Plancks bidrag, idet han somme tider nævnes som kvanteteoriens grundlægger med offentliggørelsen af sin strålingslov og Plancks konstant  $h$  (Hansen, s. 4).
- Hamiltonoperatorers rolle (Hansen, s.70).

### **Litteraturhenvisninger (links tjekket pr. 8. april 2007)**

#### Kvantemekanik

Hansen, William W. og Parbo, Henrik: ”Elementær kvantemekanik”, Systime 1981 (En passende kilde at anvende til at opnå teoretisk viden om de grundlæggende begreber i kvantemekanikken)

Scharff, Morten: ”Elementær kvantemekanik”, Akademisk forlag 1963 (En engelsk udgave foreligger på nettet: <http://mmf.ruc.dk/~boson/ScharffCh1part.PDF>.)

Jakobsen, Kurt: ”Fysik og Virkelighed” (Også en udmærket indføring i emnet, men har en mere filosofisk anlagt vinkel)

Staffansson, Eve; Andersson, Bengt og Johansson, Karl-Erik: ”Fysik i grundtræk”, Munksgaard 1974 (Specielt kap. 3 og kap. 4 er relevante)

Nørretranders Tor: ”Det udelelige”, Gyldendal 1985 (En læseværdig populærvidenskabelig af mange aspekter i kvantemekanikken. Eksempelvis omtales EPR-paradokset på s. 120 og Aspects Forsøg på s. 155. Har desuden en særdeles udførlig litteraturliste)

Nathan, Ove: ”Stakkels Einstein og andre fortællinger om fysik”, Gyldendal 2000 (Specielt kap. 1 om kvanterevolutionen er relevant).

Penrose, Roger: ”The Large, the Small and the Human Mind”, Cambridge University Press 1997 (Kap. 2: ”The Mysteries of Quantum Physics”)

<http://www.gamma.nbi.dk/Galleri/gamma138/kvantemekanik.pdf> (Underholdende artikel om kvantemekanikkens status)

<http://www.gamma.nbi.dk/Galleri/gamma131/hebor.pdf> (Artikel hvori der argumenteres for det er muligt at opfatte kvantemekanikken realistisk)

[http://www.gamma.nbi.dk/Galleri/gamma75\\_95/g76\\_hbohr.ps.gz](http://www.gamma.nbi.dk/Galleri/gamma75_95/g76_hbohr.ps.gz) (Et forsvar for Københavnerfortolkningen. I ps-format.)

<http://www.kvant.dk/kvant05-2.pdf> (Flere interessante artikler. Specielt kan Benny Lautrup's artikel fremhæves som relevant.)

<http://universer.dk/kbh.htm> (Om Københavnerfortolkningen)

[http://bohm.fy.chalmers.se/~ostlund/kvant2005/mermin\\_moon.pdf](http://bohm.fy.chalmers.se/~ostlund/kvant2005/mermin_moon.pdf) (Fremragende populærvidenskabelig artikel)

<http://www.norreg.dk/fysikforhvem/para05.htm> (Skitse over et foredrag i gymnasiet om kvantemekanikkens paradoksale konsekvenser)

<http://www.quantum-physics.polytechnique.fr/> (Interaktiv simulering af forskellige kvantefysiske forsøg. Bl.a. illustrerer 1.1 dobbeltspalteforsøget)

<http://www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc> (Tegnefilm, som på fem minutter illustrerer dobbeltspalteforsøgets paradoksale konsekvenser)

<http://www.upscale.utoronto.ca/GeneralInterest/QM.html> (Kort introduktion til forskellige fænomener indenfor kvantemekanikken.)

### Matematik

<http://www.cobalt.chem.ucalgary.ca/ziegler/educmat/chm386/rudiment/mathbas/mathbas.htm> (En kort oversigt over den matematik, som udgør grundlaget for kvantemekanikken. På engelsk)

<http://www.math.ku.dk/noter/matintro-04.pdf> (Noter om funktioner af flere variable. På norsk)

<http://www.math.ku.dk/noter/1gb-03.pdf> (Kap. 4 om differentiaalligninger)

<http://www.mat1.dk/WYDifLig.htm> (Forskelligt materiale om differentiaalligninger)

Uwe Timm og Michael Agermose Jensen: "Komplekse tal", Forlag Malling Beck 2007 (Rettet mod gymnasieelever.)

### Databaser med fysikforsøg

<http://groups.physics.umn.edu/demo/quantum.html>

<http://faraday.physics.uiowa.edu/modern.html>

<http://www.fysikbasen.dk/>

### Filosofi

Husted, Jørgen og Lübcke, Poul: "Filosofihåndbog", Politikens Forlag 2001 (Afsnittet om Platons hulelignelse på s. 8, samt kapitlet om Naturen status på s. 70 synes relevante)

Lübcke, Poul (red.): "Politikens filosofileksikon", Politikens Forlag 1983.

<http://mmf.ruc.dk/~boson/PP.PDF> (Nogle filosofiske overvejelser)

<http://www.nbi.dk/~zink/Fysikfilosofi2.doc> (Kort introduktion til de grundlæggende filosofiske problemstillinger indenfor kvantemekanikken)

<http://www.jernesalt.dk/komplbohr.asp#indled> ("Niels Bohrs filosofi og dens konsekvenser")

<http://www.filosofi.net/Afhandlinger/BA2003.pdf> (Bachelor-projekt i filosofi om kvantemekanikken).