

Även kvantmekaniken måste tolkas!

I "Förnuft och kvantfysik. Tankar om verklighet och medvetande" i SP 4 tar Tord Bergmark upp stora och svåra frågor om kvantmekanik, strängteori och M-teori. Han visar förtjänstfullt hur krångligt det kan bli. Jag håller med Tord om att teoretiska spekulationer måste göras med försiktighet. Strängteorin och M-teorin är än så länge bara lovande teorier utan någon experimentell bekräftelse¹.

Jag ska därför bara beröra frågan om tolkningar av den "vanliga" etablerade kvantmekaniken KM och i en kommande artikel dess möjliga relation till biologi och medvetandet. För bägge dessa frågor finns flera svar.

Vad visar egentligen kvantmekaniken?

Som matematisk teori är KM exakt och alla förutsägelser av mätningar stämmer, vilket bl.a. visar sig i den moderna IT teknologin. Men vad säger kvantmekaniken om vår verklighet? Det har varit och är fortfarande diskutabelt. Av grundarna var många, t.ex. Einstein, Schrödinger och de Broglie, kritiska till hur KM vanligtvis tolkas. Kvantfysikern John S Bell skrev 1989 att kvantfysiken "works FAPP - FOR ALL PRACTICAL PURPOSES"². Men Bell varnar oss för "FAPP-TRAPP"³, dvs. att inte fundera på verkligheten bakom teorin. Det finns flera olika tolkningar av kvantmekaniken. Den tolkning som utgår från de Broglie och David Bohm är inte så känd fast den stämmer lika bra med alla experiment. Men den ger en helt annan bild av vad KM säger om vår verklighet. För att något belysa detta är det nödvändigt att kort beskriva ur vilka olösta problem kvantmekaniken uppstod.

Tillkortakommanden i den klassiska fysiken.

A. Atomens kollaps

Den klassiska fysiken, dvs. Newtons mekanik och Maxwells elektrodynamik kunde inte ens förklara hur materiens beståndsdelar atomerna kunde vara stabila och inte kollapsade.

Det var lättare för grekerna som antog att atomerna var odelbara men efter att Thomson 1897 upptäckte elektronen blev det svårare. Då man kan framkalla statisk elektricitet med gnidning finns dessa negativt laddade elektroner i all materia och därmed i alla atomer. Men då materien för det mesta är neutral måste det i atomerna finnas lika mycket plusladdning.

Thomsons första "plum-pudding" modell löste detta elegant. De negativa elektronerna var som russin i en kaka av positiv laddning. Men då Rutherford besköt guldatomer med en positivt laddad partikel visade experimentet helt klart att all positiv laddning måste finnas i ett litet centrum, atomkärnan, som var 10000 ggr mindre än atomen⁴. Men då skulle de negativa elektronerna attraheras till den positiva kärnan och atomen kollapsa.

I vårt solsystem har vi också attraktion mellan solen och planeterna men det som gör att planeterna inte dras in till solen är att de går i en krökt bana som enligt Newtons mekanik ger en utåtriktad centrifugalkraft som balanserar solens dragningskraft. Så då uppstod "solsystemmodellen för atomen", dvs. de negativa elektronerna snurrar likt planeter runt den positiva kärnan, och kärnans elektriska dragningskraft balanseras av en utåtriktad centrifugalkraft.

Men tyvärr fungerade inte det heller. Ty Maxwells elektrodynamik visar att en elektron i en krökt (och enligt Newton då accelererad) bana sänder ut energi. Så elektronen skulle i en spiralrörelse nå kärnan och atomen åter kollapsa. Detta grundläggande för vår förståelse av materien, atomens stabilitet, kunde inte förklaras i den klassiska fysiken!

B Ljusets natur, Ultraviolettkatastrofen och början till kvanta

Newton menade att ljuset var partiklar, olika partiklar för olika färger, även om han också ansåg att dessa partiklar kunde ge upphov till vågor i "etern". Huygens ansåg att ljuset var en

våg. Man hade två helt olika modeller som förklarade alla kända fakta. Först 1802 avgick vågteorin med segern då Young⁵ visade att ljus som passerade två tunna spalter skapade ett s.k. interferensmönster som är utmärkande för vågor. Jämför hur vackra mönster bildas då två stenar släpps i vatten. Med Maxwells ekvationer fann man på 1860-talet lösningar med elektromagnetiska vågor som hade exakt samma hastighet som ljuset! Så ljuset är en elektromagnetisk våg. Olika frekvenser för olika ”färger”.

Man studerade energin hos ljusstrålning från en s.k. svart kropp (inte ett astronomiskt svart hål utan enklare - en ihålig kropp med ett litet hål) Den klassiska fysiken visade att energin skulle öka mot oändlighet vid högre frekvenser, den s.k. ultraviolettkatastrofen, vilket dels är orimligt, dels inte stämde med vad man sett i experiment.

Max Planck löste detta 1900 genom att hitta en matematisk formel som stämde med experimenten. I den formeln förekommer $h\nu$, Plancks konstant h gånger frekvensen ν . Planck hade trots att ljuset var en kontinuerlig våg ändå räknat med att ljuset i växelverkan med materia gjorde det i form av diskreta ”energi-paket”, kvanta⁶. Einstein bygger 1905 vidare på den idén och i sin förklaring till den fotoelektriska effekten⁷ räknar han med att ljuset inte bara växelverkar utan också rör sig som en ström av partiklar, fotoner, som var och en har energin $E=h\nu$. Det var detta Einstein fick Nobelpris för. Han är den enda där det i prismotiveringen uttryckligen också står vad han inte fick Nobelpris för, nämligen Relativitetsteorin.

Bohrs atommodell - fortsättning till kvantmekaniken

Bohr funderade över problemet med atomens stabilitet. Den stora mängd data från atomspektra visade att varje atom bara sände ut ljus med vissa våglängder eller vissa frekvenser, vilket talade för att energiutbytet mellan atomer och ljus inte kunde anta vilka värden som helst. Bohr lyckades med sin matematiska modell för väteatomen förklara de experimentellt kända värdena för de olika ljusspektra, spektralserier, som väteatomer kunde sända ut. Teorin var ett stort framsteg och kunde även ge ett korrekt värde på en tidigare bara experimentellt uppmätt konstant. Men Bohr använde till synes just den ”solsystems” modell som inte stämde med Maxwells elektrodynamik. Detta löste Bohr genom att proklamera att för just vissa speciella elektronbanor gällde inte att de sände ut energi kontinuerligt utan dessa var stabila. Ljus utsändes eller absorberades bara när elektroner ”bytte banor”. Bohrs krav på giltiga banor var att en storhet, impulsmoment L , som i den klassiska fysiken kunde ha vilket värde som helst, i väteatomen bara kunde ha vissa värden proportionella mot heltal, $L=nh/2\pi$ $n=1,2,3$ osv. L var kvantifierad⁸. Så lyckades Bohr knyta ihop atomens stabilitet, atomspektra, ljuskvanta eller fotoner och elektronernas kvantiserade banor.

Louis de Broglie och guidevågen

Louis de Broglie hade tänkt bli historiker men blev som signalist under första världskriget intresserad av elektromagnetiska signaler och fysik. Redan i sin doktorsavhandling 1924 gav han en annan tolkning av Bohrs atommodell som pekade på en djupgående symmetri när det gäller ljusets och materians uttryck. Han var också lyhörd specialist på kammarmusik vilket guidade till idén att se atomen som ett sorts musikinstrument som kunde avge en grundton och en serie övertoner som skulle motsvara de olika ljusfrekvenserna.

Hans egna ord är klart lysande:

“When I began to consider these difficulties I was chiefly struck by two facts. On the one hand the Quantum Theory of Light cannot be considered satisfactory, since it defines the energy of a light-corpuscule by the equation $W=h\nu$, containing the frequency ν . Now a purely corpuscular theory contains nothing that enables us to define a frequency: for this reason

alone therefore we are compelled in the case of Light to introduce the idea of a corpuscle and that of periodicity simultaneously. On the other hand determination of a stable motion of electrons in the atom introduces integers; and up to this point the only phenomena involving integers in Physics were those of interference and of normal modes of vibration. This fact suggested to me the idea that electrons too could not be regarded merely as corpuscles but that periodicity must be assigned to them also. In this way, then, I obtained the following general idea, in accordance with which I pursued my investigations: that it is necessary in the case of Matter, as well as of radiation generally and Light in particular, to introduce the idea of the corpuscle and of the wave simultaneously; or in other words, in the one case as well as in the other, we must assume the existence of corpuscles accompanied by waves. But corpuscles and waves cannot be independent of each other⁹.”

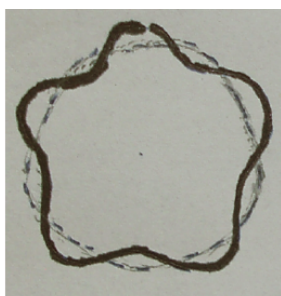


Fig 1. Banan = 5 våglängder

de Broglie tänkte att den våg som ”guidade” elektronen avgjorde vilka banor som kunde vara stabila. Bara de banor som passade med ett helt antal våglängder och där vågorna gav konstruktiv interferens kunde existera medan alla andra banor utsläcktes genom destruktiv interferens. de Broglie kunde så utifrån Einsteins relativitetsteori och $E=h\nu$ också ge en formel för elektronens våglängd⁹. I ett experiment 1927 bekräftades både att elektroner kunde ge upp till det för vågor utmärkande interferens och med den våglängd som de Broglie förutsagt¹⁰!

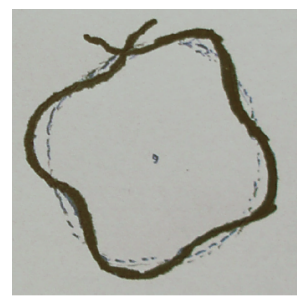


Fig2 Outilåten Bana: ej helt antal våglängder

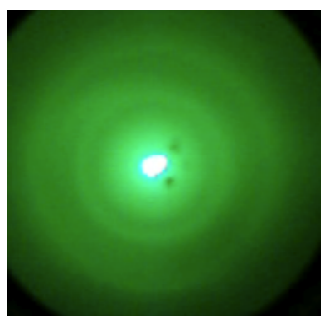


Fig 3 Elektron diffraction. Ljusa och mörkare ringar kan ses.

Schrödingers vågmekanik

Schrödinger utvecklade de Broglies ide’ om materians vågnatur i sin vågmekanik och den berömda vågekvationen som mer allmänt visade hur fysikaliska storheter i atomvärlden inte kan ha vilka värden som helst utan bara bestämda heltalsvärden i analogi med de Broglies stående vågor i atomerna. Ett problem som uppstod var att teorin inte kunde säga vilket värde en storhet fick utan att den angav flera olika möjliga värden t.ex. för en elektrons läge. Detta till skillnad från Newtons mekanik som alltid gav bara ett värde, varför den teorin var deterministisk. Så hur var denna vågfunktion Ψ relaterad till verkligheten?

och olika tolkningar

Vid ett möte i Solvay 1927 blev de Broglies ursprungliga ide om verkliga partiklar guidade av vågor hårt men inte rättmätigt kritiserad.¹¹ Istället vann Max Born’s ide’ att tolka vågen som en sannolikhetsvåg, genom att man med vågfunktionen kunde beräkna sannolikheten för olika möjliga mätvärden. Men problemet är ändå vad som bestämmer vilken möjlighet som blev verklig och eftersom det inte kunde bestämmas genom en deterministisk teori sades att slumpen härskar i mikrovärlden. Einstein gillade inte det och lär ha sagt ”Der liebe Gott würfelt nicht”. Men problemet är djupare än så. Både Schrödinger och Einstein ansåg att kvantmekaniken inte kunde vara en fullständig teori. Det var det som Schrödinger ville belysa med sin berömda katt, genom att stänga in en katt i en låda med en radioaktiv atom och en giftampull arrangerat så att när atomen föll sönder utlöstes giftet och katten dör. Sönderfallet av en radioaktiv atom beskrivs av kvantmekaniken så dess vågfunktion är en summa, superposition, av en våg för en hel atom och en våg för en sönderfallen atom. Köpenhamnstolkningen¹² menar att atomerna är i ett blandtillstånd av hel och sönderfallen atom tills någon tittar efter, gör en mätning, vilket då gör att en av möjligheterna blir verklig. Låter

lite märkligt men kanske möjligt i mikrovärlden. Men om kvantmekaniken var en fullständig beskrivning som även var giltig för vardagliga objekt skulle även katten beskrivas i ett blandtillstånd mellan en levande och en död katt till någon observatör tittade efter och så gör att en möjlighet blir verklig. Så i denna tolkning tycks verkligheten inte finnas innan observationer, mätningar görs. De flesta fysikerna tycks inte bry sig (FAPP-TRAPP) eller accepterar detta.

Andra tycker detta är så märkligt att de istället tänker att så fort det finns olika möjligheter blir alla möjligheter verkliga fast i totalt separerade och olika världar, den så kallade mångvärldstolkningen¹³. Så relationen mellan möjligheter och verklighet är märklig.

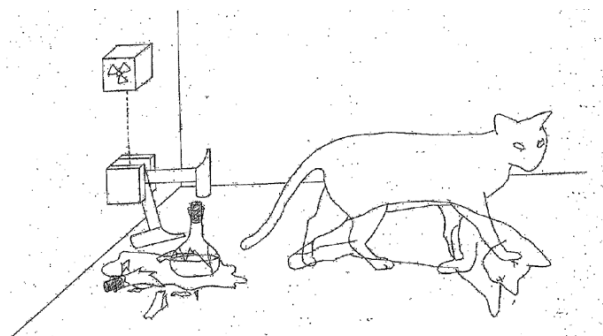


Fig. 4 Schrödingers katt

Artist Petra E.E.

Dubbelspaltexperimentet

Ett verkligt experiment som enligt Richard Feynman ”contains all the mystery of quantum mechanics”¹⁴ är dubbelspalt experimentet.

När vågor passerar en dubbelspalt fås ett interferensmönster med många band (inte bara två). Nu kan man sända en partikel, en foton eller en elektron, i taget¹⁵. Partiklarna träffar alltid skärmen bakom dubbelspalten som just punkter, partiklar. Ändå uppstår efter en tid då många partiklar passerat ett interferensmönster med många band. Detta beskrivs som en paradox och ett grundläggande mysterium i KM: Å ena sidan har vi partiklar som bara passera en av spalterna å andra sidan har vi ett interferensmönster med flera band som indikerar att vågor passerar båda spalterna. Fysikerna frågar sig: Hur kan någonting passera bara en spalt och båda samtidigt? Det stämmer inte med vår vardagliga erfarenhet. Många fysiker säger att detta är obegripligt hur enstaka partiklar kan ge ett interferensmönster, men försöker ge en förklaring som ”partiklen passera på något sätt båda spalterna, en delad partikel som är på två ställen samtidigt och kan interferera med sig själv”. Låter märkligt men som vi sett måste vi vara open-minded för nya upptäckter.

Men det som också är märkligt är att många fysiker inte tar upp att det finns en enkel teori som förklarar detta på ett begripligt sätt. John S Bell skriver om detta:

“While the founding fathers agonized over the question ‘particle’ or ‘wave’ de Broglie 1925 proposed the obvious answer ‘particle, and ‘wave’. Is it not clear from the smallness of the scintillation on the screen that we have to do with a particle? And is it not clear, from diffraction and interference patterns, that the motion of the particle is directed by a wave? de Broglie showed in detail how the motion of the particle, passing through just one of the two holes in screen, could be influenced by waves propagating through both holes. And so influenced that the particle does not go where the waves cancel out, but is attracted to where they cooperate. This idea seems to me so natural and simple, to resolve the wave-particle dilemma in such a clear and ordinary way, that it is a great mystery to me that it was so generally ignored. Of the founding fathers only Einstein thought that de Broglie was on the right lines...it was rediscovered and more systematically presented in 1952 by David Bohm”¹⁶.

Detta stöds till synes också av verkliga experiment. Om enstaka partiklar skulle interferera med sig själva borde vi få ett fullständigt interferensmönster som blir starkare och starkare. Men som syns på fotot från ett verkligt experiment¹⁷ är det inte så utan det är bilden av enstaka partiklar som sedan successivt bygger upp ett interferensmönster vilket snarare stödjer idén om guidevågen.

De Broglies insikt var att se den fundamentala symmetrin att all materia också har en vågaspekt, en guidevåg. Partiklar existerar hela tiden och har en bestämd bana. Vilken av de många möjliga banorna som blir verklig bestämdes av andra variabler än de som finns i den vanliga kvantmekaniken, så kallade dolda variabler. Det ansågs länge att von Neumann matematiskt bevisat att det inte kunde existera teorier med dolda variabler. Men det var precis det Bohm 1952 visade att det gick¹⁸.

Genom Bells olikhet och experimentell bekräftelse av den visas att teorier med dolda variabler, som Bohms, är möjliga om de är icke-lokala. Men icke lokalitet tycks vara en väsentlig del i kvantmekaniken. För enligt Weisman:

”To conclude, the results of the Bell-experiments leave only two possibilities:

- (i) the world is non-local—events happen which violate the principles of relativity¹⁹;
- (ii) objective reality does not exist—there is no matter of fact about distant events.”²⁰

Det finns flera som anser att icke-lokalitet då är det rimligaste valet. Och flera anser att denna icke-lokalitet kan ha betydelse för biologi och även för medvetandet. Och för att ändå avsluta med en spekulat: Kan det också vara så att partiklar med guidevåg är en ”parallell” till kropp- själ och ett stöd för Bertrand Russels monism som antog att det måste finnas förstadier till medvetandet i all materia, för att kunna förstå medvetandets uppkomst?

Jan Pilotti
Fil kand matematik, teoretisk fysik
Pensionerad ungdomspsykiater

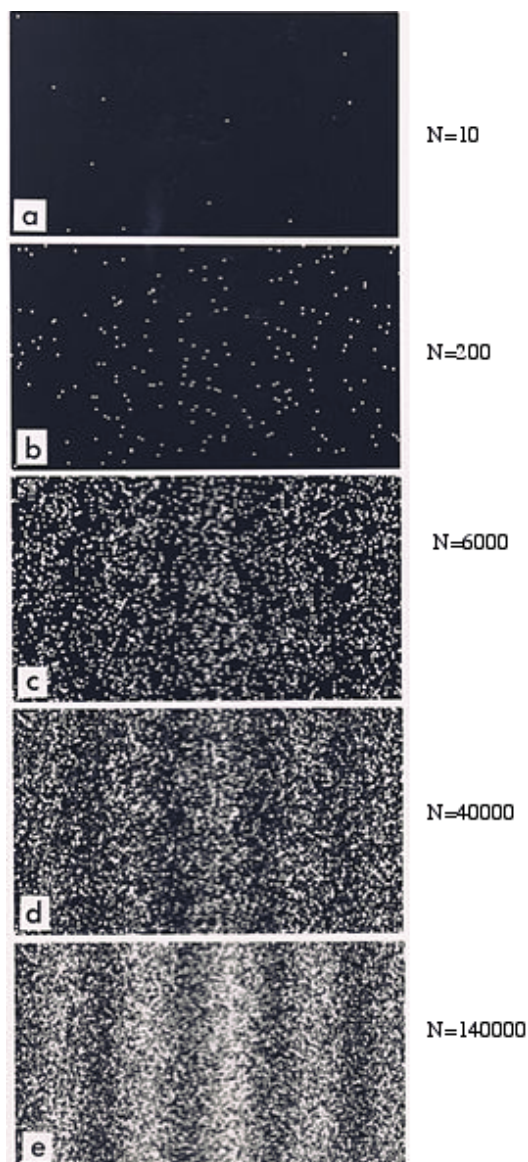


Fig. 5. Dubbelspalt experiment med
Elektroner vars antal ökar =N

¹ Greene Brian. The Hidden reality. p. 101 Penguin Press 2012

² Bell J.S. Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics. p. 214

Cambridge University Press.2004

³ Bell J.S. 1989 cit. i Rosenblum, B., Kuttner, F. Quantum Enigma. Physics Encounters Consciousness.p. 140 Oxford University Press. 2006

⁴ <http://www.youtube.com/watch?v=bSEOOMs5VNU>

⁵ <http://www.youtube.com/watch?v=9UkkKM1IkKg>

⁶ <http://www.youtube.com/watch?v=bwCGUj1Xztc>

⁷ <http://www.youtube.com/watch?v=0qKrOF-gJZ4&feature=related>

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Bohr_model

⁹ De Broglie L. Matter and Light. The New Physics. 168-69 New York W.W.Norton&CO Inc. 1939 <http://archive.org/details/matterandlightth000924mbp>

¹⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Electron_diffraction

¹¹ Cushing, J. Quantum Mechanics. Historical contingency and the Copenhagen hegemony.

p. 118 University of Chicago Press 1994

Wiseman, H. M. From Einstein's theorem to Bell's theorem: a history

of quantum non-locality Contemporary Physics, Vol. 47, No. 2, March–April 2006, p.81

<http://arxiv.org/abs/quant-ph/0509061>

¹² Faye, J. (2008). Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics

<http://plato.stanford.edu/entries/qm-copenhagen/>

¹³ Vaidman, L. Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics

<http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/qm-manyworlds>

¹⁴ Hawking, S Mlodinow, L, The grand design p.85. Bantam Books 2011

¹⁵ <http://www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc>

¹⁶ Not 2 p. 191

¹⁷ Tonomura et al (1989) (Med tillstånd av Dr. Tonomura. från

http://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment men utan att han tar ställning till min tolkning.

¹⁸ Wiseman, H. not 11 p. 83

¹⁹ Här i betydelsen att ljushastigheten är en övre gräns

²⁰ Wiseman H. not 11 p. 86