

Æstetik, fysik og motivation

Af Henrik Zinkernagel, Afdeling for Filosofi, Granada Universitet, Spanien

Fysikere har ofte påpeget æstetiske aspekter af deres fag. Det kan fx være når symmetrien, enkelheden eller elegancen i en teori fremhæves. Sådanne æstetiske begreber kan alle ses som udtryk for en slags intellektuel skønhed der virker tiltrækkende. Men hvilken rolle har æstetikken mere præcist spillet i fysikkens udvikling? Og kunne denne rolle have en positiv indflydelse på hvordan man underviser i fysik? I denne artikel vil jeg til start sige lidt om det første spørgsmål, og derefter argumentere for et bekræftende svar til det andet. Som vi skal se, handler æstetik i fysik om andet og mere end skønne teorier – herunder forundring, glæden ved indsigt og fascination af det vi knapt nok (eller måske slet ikke) begriber. I en sådan bred forstand kan æstetik kædes sammen med motivation hos både fysikere og fysikelever.

Indledning

Forbindelsen mellem æstetik og fysik rækker i hvert fald tilbage til Pythagoras' tid. For mere end 2500 år siden fandt han en sammenhæng mellem en strengs længde og harmonier i musikken – de toneforhold der lyder godt når de klinger sammen. Når en streng fx deles i forholdene, henholdsvis, 1:2, 2:3 og 3:4 fås, respektivt, oktaven, kvinten og kvarten. Denne opdagelse inspirerede Pythagoras til at mene, at hemmeligheden ved universet måtte findes i de hele tal (og forholdet mellem disse) – en tanke der viser et tidligt eksempel på æstetikken og matematikkens centrale plads i fysikken. I øvrigt havde Pythagoræerne, ligesom senere Platon og Aristoteles, ideen om, at Jorden, himmellegemerne og universet som helhed alle er kugleformede, da kuglen ansås som den mest perfekte (skønne) figur. At fx Aristoteles også havde empiriske argumenter for disse ideer, herunder at Jorden kaster en cirkelformet skygge på Månen under en måneformørkelse, gjorde naturligvis ikke værdien af den æstetiske tilgang til naturforståelsen mindre. Når vi nu er i rummet, så er det værd at nævne at det heller ikke er noget tilfælde at ordene "kosmologi" og "kosmetik" starter ens. For kosmos på græsk kan netop betyde forskønnet, ordnet eller ordnet verden. Når kosmos kombineres med *logos* (læren om, eller rationel tænkning) får vi begrebet kosmologi. Denne græske idé, der i ét ord afspejler tanken om at universet er ordnet og forståeligt for intellektet, anses ofte som selve grundlaget for naturvidenskaben. Og lige siden de gamle grækere, har ideen om skønhed i både det fysiske univers og de teorier der beskriver dette været blandt ledetrådene i udviklingen af nye teorier.

En sådan ledetråd har fx været ideen om enhed eller sammenhæng mellem forskellige naturfænomener, og mellem teorierne der beskriver disse. Her kan man bl.a. nævne Newtons forening af jordiske og himmelske fænomener, hvor den universelle tyngdelov beskriver både æblets fald og Månens bane, samt Ørsted, Faraday og Maxwells forening af elektriske og magnetiske kræfter. Og som den skotske filosof Francis Hutcheson påpegede i starten af 1700-tallet, så kan intellektuel skønhed i videnskaben netop forstås som en sådan enhed i mangfoldigheden af naturfænomener. I forbindelse med ledetråde kan man også tænke på ophavsmanden til det heliocentriske system, om hvilken astronom og astronomihistoriker Owen Gingerich skrev [1]:

“Copernicus’ radical cosmology came forth not from new observations but from insight. It was, like Einstein’s revolution four centuries later, motivated by the passionate search for symmetries and an aesthetic structure of the universe.”



Figur 1. Kopernikus' model for Solsystemet (som ses ved siden af astronomen i dette billede af Jan Matejko fra 1872) var ikke i bedre overensstemmelse med data end Ptolemeus'. Til gengæld mente Kopernikus at hans model bedre levede op til æstetiske krav om fx planeternes uniforme cirkelbevægelser, se [1].

Selvom æstetik i betydningen skønhed kan findes i fysikhistorien siden dennes begyndelse, så er der naturligvis ingen garanti for at skønhedsbetragtninger – fx udmøntet i krav om enkelhed og symmetri – leder til korrekte teorier. Interessant nok, så findes der dog gode eksempler på, at selv hvor sådanne betragtninger har fejlet, har disse alligevel kunnet føre til ny indsigt. Fx insisterede både Pythagoras, Platon og Aristoteles af æstetiske grunde på perfekte uniforme cirkelbevægelser i himlen. Og det var bl.a. i forsøget på at forfølge og presse denne idé til det yderste, at både Kopernikus' heliocentriske teori og siden Keplers teori om elliptiske planetbevægelser blev udviklet. Et mere moderne eksempel kan findes hos den tyske matematiker og fysiker Hermann Weyl som er citeret for følgende:

“My work always tried to unite the true with the beautiful; but when I had to choose one or the other, I usually chose the beautiful” (citeret af F. Dyson 1956).

Ligesom Einstein, forfulgte Weyl tanken om en forenet teori for elektromagnetisme og gravitation. Selvom den viste sig ikke at holde stik, var hans arbejde en del af grundlaget for udviklingen af gaugeteori, der er en central del af moderne partikelfysik.

Skønheden i de fysiske teorier er også blevet behandlet med videnskabshistoriske og filosofiske briller. Hovedværket indenfor genren er nok James McAllisters bog "Beauty and Revolutions in Science" [2], mens der på dansk findes en god oversigtsartikel af Helge Kragh [3]. Det centrale tema hos McAllister, Kragh og i det meste af den efterfølgende litteratur, er forholdet mellem skønhed og (empirisk) sandhed – herunder i særdeleshed spørgsmålet om hvorvidt æstetiske faktorer med rimelighed kan spille en rolle i fysikernes valg af teorier. Interessen i dette forhold er naturlig, for selvom man måske nok kan medgive, at skønhed kan inspirere forskeren, så er det jo langt fra oplagt, hvordan noget så tilsyneladende rationelt og objektivt som videnskabelig sandhed kunne være forbundet med noget så tilsyneladende følelsesladet og subjektivt som skønhed.

McAllister retfærdiggør værdien af æstetiske betragtninger indenfor rammerne af en rationalistisk videnskabsforståelse, idet han mener, at æstetiske kriterier (som fx forkærlighed for cirkelbevægelser) blot afspejler træk ved tidligere accepterede teorier. På den måde fungerer de æstetiske aspekter af en teori konservativt, som en slags pejlemærker for træk ved teorien der har været empirisk succesfulde. Til gengæld mener McAllister, at de æstetiske kriterier er fleksible og at de udskiftes eller omfortolkes i forbindelse med videnskabelige revolutioner, når en ny teori (med andre æstetiske idealer) erstatter den gamle. Selvom jeg mener McAllister har mange gode betragtninger, og selvom æstetiske begreber kan være fleksible og flertydige, så er de i mine øjne ikke nær så omskiftelige som McAllister vil gøre dem til. Specielt mener jeg, at de mere generelle æstetiske kriterier som fx enhed, enkelhed og elegance i teoretiske forklaringer – uanset at disse kriterier er åbne for diverse fortolkninger – har spillet en ret konstant rolle op gennem fysikhistorien. Under alle omstændigheder så er det bemærkelsesværdigt, som også Kragh er inde på i sin artikel ([3], s. 222), at troen på naturens orden og harmoni jo er et nødvendigt, og i hvert fald delvist æstetisk, grundlag for fysikken. For hvis ikke vi kunne regne med naturens regelmæssighed, herunder at der er en vis orden og gentagelse i naturfænomenerne, så kunne vi heller ikke bedrive fysik.

Æstetik som mere end skønhed og i forhold til andet end sandhed

Ovenfor har jeg kort beskrevet fysikkens relation til skønheden. Men æstetik er mere og andet end skønhed. I forbindelse med fysik og kosmologi er en særlig vigtig æstetisk kategori det *sublime*, der bl.a. er relateret til begreber som det uendelige, ærefrygt, forundring (wonder) og det der er på grænsen – eller måske endda på den

anden side – af hvad der kan forstås videnskabeligt¹. Et eksempel på det sublime kunne være de følelser og tanker, der sættes i gang når man betragter en stjernefyldt nattehimmel. Udover at æstetik ikke kun handler om skønhed, så er den mulige forbindelse mellem skønhed og sandhed langt fra det eneste æstetiske aspekt ved fysikken der er værd at diskutere. For æstetik er også blevet kædet sammen med videnskabelig forståelse, kreativitet og motivation, (se, henholdsvis, fx [5], [6] og [7]). Af disse er det specielt forholdet mellem æstetik og motivation som jeg vil fokusere på i det følgende.

Som allerede nævnt, så har skønhed, fx i form af symmetri eller enhed i videnskabelige forklaringer, været blandt drivkræfterne i udviklingen af nye teorier. Og eftersom det sublime bl.a. kan relateres til, hvad der endnu ikke er (og måske aldrig vil blive) forstået, og dermed kan relateres til videnskabens grænser, er det heller ikke mærkeligt, at det sublime også har virket motiverende. Gode eksempler herpå er fascinationen og undersøgelsen af det meget (måske uendeligt) store og meget tidlige, samt det meget (måske uendeligt) små – emner som man kan finde i kosmologien og partikelfysikken. I forbindelse med videnskabens grænser er det relevant, at disse på mindst to måder kan virke som drivkræfter: Dels er de ikke blevet set som endestationer for forskningen, men snarere som opfordringer til at vedblive med at stille nye spørgsmål. Og dels kan sådanne grænser pege på ærefrygt og undren overfor naturen, fx med hensyn til hvad vi (i hvert fald foreløbigt) ikke er i stand til at forklare.

Forholdet mellem æstetik og motivation træder også klart frem, hvis man holder sig den oprindelige betydning af æstetik for øje. Ifølge denne, som stammer fra de gamle grækeres brug af ordet *aisthesis* (sansindtryk), kan æstetik mere bredt forstås som læren om sanselig erkendelse eller erfaring. I en videnskabelig kontekst kan en sådan erkendelse bl.a. relateres til glædesfølelsen ved opdagelse eller indsigt (aha-oplevelser), passioneret indlevelse i den videnskabelige proces (oplevelser af flow), samt det sanselige møde med, naturens fænomener. Som eksempel på det sidste kunne man måske tænke på den stimulerende og kropslige erfaring af naturens kræfter man kan få, når man læner sig op mod vinden på en stormfuld dag.

I forbindelse med den brede betydning af æstetik, er det relevant her at nævne den tyske digter og filosof Friedrich Schiller. For ham er det æstetiske en slags (skønhedens) bro mellem det følelsesmæssige/sanselige og det rationelle – en bro som han forbinder med, hvad han kalder legedriften [8]. Og netop legen (eller den legende tilgang til stoffet), i hvilken en aktivitet udføres for aktivitetens egen skyld, er også blevet antydnet som et motiv for videnskabsfolk. Fx opsummerede Abraham Pais engang vennen og kollegaen Paul Diracs måde at lege med ligninger på således [9]: "...first play with pretty mathematics for its own sake, then see whether this leads to new physics".

¹Når jeg her sætter skønhed overfor det sublime, så følger jeg en standardpraksis i faglitteraturen om æstetik. Men der er også forfattere der ser det sublime som en del af et bredere begreb om skønhed. Se fx Dorte Jørgensens fine bog "Skønhed – En engel gik forbi" [4] hvor skønhed, eller snarere skønhedserfaring, dækker over mange af de forhold der beskrives i denne artikel.



Figur 2. Leg kan være en vigtig motivation i fysik. Her leger Wolfgang Pauli og Niels Bohr med "tippetoppen" i Lund 1951.

Hvad angår glæden ved indsigt i fysik, så er denne fint beskrevet i Victor Weisskopfs selvbiografi [10]. Han omtaler bl.a. denne glæde i forbindelse med hans egen begyndende dybe forståelse af kvantemekanikken, som for ham var som "the opening of a new world", og mener at han bedst kan karakterisere indsigtsglæden som en "feeling of aesthetic pleasure" (s. 37). Denne karakteristik er uddybet allerede på første side af bogen:

"The joy of insight is a sense of involvement and awe, the elated state of mind that you achieve when you have grasped some essential point; it is akin to what you feel on top of a mountain after a hard climb or when you hear a great work of music."

Weisskopfs beskrivelse af denne "elated [opstemte] state of mind" harmonerer godt med, at et vigtigt træk ved den æstetiske erfaring netop er at den løfter os, flytter os og/eller får os til at se verden på en ny måde. Det kunne synes som om en lytten til et musiksk værk er mere passivt end det hårde arbejde, der ofte skal til for at bestige et bjerg, eller forstå et vanskeligt fysik-emne. Men Weisskopf nævner (s. 301) at man også i et (stort) musiksk værk kan gå på opdagelse og opnå indsigt. Som beskrevet i Weisskopfs bog, er fysikere naturligvis også motiveret af andre ting som fx ambition, anerkendelse og Nobelpriser. Men der er næppe tvivl om at glæden ved at opnå indsigt i naturens hemmeligheder har været, og stadig er, en central motivationskilde for fysikere. Fx skrev Leon Rosenfeld om Niels Bohr [11]:

"...opdagelsesfærden var et møde mellem naturen og det menneskelige intellekt, som han oplevede med dramatisk intensitet. Bohr følte undersøgelsens spænding og glæden ved dens fuldendelse så intenst, at han ønskede at alle omkring ham skulle dele dem."

Weisskopfs eksempel på indsigtsglæde i kvantemekanikken viser at denne glæde ikke nødvendigvis handler om en original indsigt, men ligeså godt kan være forståelse af et stof som allerede er blevet beskrevet af andre. Og som det fremgår af Rosenfelds beskrivelse af Bohr, så er glæden ved indsigt noget vi har lyst

til at dele med andre. Begge disse forhold er højst relevante for potentialet i at fremhæve det æstetiske i fysikundervisning.

At kunne glæde sig over æstetiske oplevelser er noget alment menneskeligt. Det er derfor ikke overraskende, hvis der måtte være en tæt analogi mellem (nysgerrigheden og) den æstetiske motivation hos fysikere og så hos dem der, frivilligt eller ej, skal lære om fysik. I den forbindelse kan man citere Niels Bohrs nære ven, kunstmaleren William Sharff, der engang skrev dette om den danske fysiker [12]:

"Du oplever naturen med samme intensitet som barnet. Intet er så småt eller dagligdags, at du ikke kan glæde dig eller undre dig over det."

Jeg vil i det følgende antage, at der findes en sådan tæt analogi mellem fysikerens æstetiske motivation og så motivation hos elever i fysikundervisning. Hvis det er rigtigt, så er æstetik en lovende vej til at berige eksisterende naturfagsdidaktik.

Æstetisk motivation i fysikundervisning

Æstetiske overvejelser gennem fysikkens historie er næppe et hyppigt emne i undervisningen. Der er selvfølgelig mange andre ting der skal nås. Men derudover er en af grundene formentlig den tendens, som filosofen John Dewey kritiserede for mere end et århundrede siden, til at præsentere videnskaben i en ren objektiv form, fx som et færdigt produkt af abstrakte lovmæssigheder [13]. I det lys overses let, at de fysiske teorier blev skabt i en bestemt historisk kontekst. Dermed er det ikke nemt for eleverne at se og spørge til, hvorfor fysikerne handlede som de gjorde, og hvilken betydning den resulterende viden havde for dem og for samtiden. Med betydning af viden tænker jeg på det man kan kalde dens egenværdi. For naturligvis bliver nytteværdien – ikke mindst den teknologiske – af viden ofte fremhævet i forbindelse med fysikundervisning (se næste afsnit for mere om forholdet mellem nytten og æstetikken). Som beskrevet af de Dewey-inspirerede uddannelsesforskere Kevin Pugh og Mark Girod, så kan en historisk dekontekstualisering bidrage til, at eleverne ikke bliver opmærksomme på, hvilken forskel den pågældende viden evt. kan have i elevens eget liv og, specifikt, hvordan denne kan forandre eller transformere vores oplevelser, af den verden vi lever i [14].

Det er velkendt at undervisning fungerer bedst når både lærer og elever er (eller bliver) motiverede. Allerede Grundtvig var inde på den idé, da han i sangen "Nu skal det åbenbares" fra 1834 bemærkede: "Og han har aldrig levet, som klog af det er blevet, han først ej havde kær". En meget udbredt teori indenfor motivationsforskningen er "selvbestemmelses-teorien" af de amerikanske psykologer Edward Deci og Richard Ryan, ifølge hvilken vi har basale psykiske behov for at føle os kompetente, for at opleve at vi bestemmer selv, og for at stå i relation til andre. Indenfor rammerne af denne teori peges der på, at den indre motivation (fx når et emne studeres fordi det er interessant for eleven) er mere givtig, og leder til mere langtidsholdbar viden,

end ydre motivation (fx når et emne studeres for at bestå en eksamen). Forfatterne af teorien giver følgende fingerpeg om, hvilke faktorer der er mest relevante for den indre motivation i undervisningen [15]: "...intrinsic motivation will occur only for activities that hold intrinsic interest for an individual – those that have the appeal of novelty, challenge, or aesthetic value for that individual".

Deci og Ryan fortæller ikke, hvad de mener med den æstetiske værdi af en aktivitet. Men man kan med fordel tænke på følgende beskrivelse, formuleret af Dewey-fortolker Philip Jackson, af hvad æstetiske oplevelser i mødet med kunst kan indebære:

"The arts do more than provide us with fleeting moments of elation and delight. They expand our horizons. They contribute meaning and value to future experience. They modify our ways of perceiving the world, thus leaving us and the world itself irrevocably changed" (fra [14], s.11).

Som vi så i sidste afsnit, kan fysik (og naturfag generelt) give anledning til lignende æstetiske oplevelser. Det giver derfor god mening at forsøge at give grobund for æstetiske oplevelser i naturfagsundervisningen². I den sammenhæng er skønheden i fysiske teorier ikke nødvendigvis den mest oplagte indgangsvinkel, bl.a. fordi det ofte kræver en del videnskabelig træning at se det skønne, fx i Einsteins feltligninger. Men da æstetik er andet end teoretisk skønhed så er der også andre muligheder, og jeg skal i det følgende kort beskrive nogle af disse³.

Pugh og Girod [14] nævner, at en mulig vej til æstetiske oplevelser i undervisningen er at gøre de fysiske begreber mere levende og betydningsfulde, ved at relatere dem til de erfaringer under hvis indflydelse begreberne oprindeligt blev udviklet og diskuteret som ideer. Forfatterne nævner selv Newtons love som et oplagt eksempel, hvor man kunne søge at tilvejebringe en fornemmelse af deres oprindelige betydning. Fx kunne man pege på Newtons erkendelse af, at det faldende æble og Månens banebevægelse er to sider af samme sag – en erkendelse der medførte en dramatisk ændring i det gældende verdensbillede, der stadig var præget af en skarp opdeling mellem det jordiske og det himmelske. Et andet muligt eksempel kunne være at inddrage Ørstedes egen forståelse af sin opdagelse af elektromagnetismen. Denne forståelse indgik i Ørstedes naturfilosofiske projekt om at se naturen som en organisk sammenhængende enhed, og kan også sættes i forbindelse med hans nære venskab med H.C. Andersen, og deres fælles bestræbelser på at gøre afstanden mellem kunst og videnskab mindre, se fx [18].

²Naturligvis i samspil med andre motiverende, og delvist relaterede, elementer som sjov, spændende og udfordrende undervisning, viden sat i forhold til eleverne selv (fx "hvor mange atomer er der inden i dig?"), gode lærer-elev forhold, god klassestemning, osv.

³Forslagene herunder omhandler mest den teoretiske undervisning, men man kunne også pege på æstetiske- og sanselige elementer i eksperimentelt arbejde. Fx er det naturligvis en sanselig oplevelse at have fingrene i det eksperimentelle maskineri, og glæden ved indsigt kan også fremkomme gennem det at få noget til at virke eller ved at se den effekt et eksperiment skulle illustrere. Desuden er der selvfølgelig god mulighed for æstetisk-sanselige oplevelser i uformelle læringsmiljøer som videnskabsmuseer eller naturen selv, se fx [16] og [17].

⁴Dette perspektiv harmonerer i øvrigt godt med en undersøgelsesbaseret tilgang til fysikundervisning, der netop lægger vægt på nysgerrighed og aktivt engagement i (re-)konstruktionen af viden.

⁵En sådan bevægelse fra undren, til kritisk refleksion og videnskabelig undersøgelse, og så tilbage til undren er mere generelt beskrevet i Peter Fishers fine bog [25].

En anden idé til at fremme æstetiske oplevelser er at forsøge at opbygge forventning i undervisningen. Forventning er fx det der gør, at vi ikke kan lægge en god bog fra os – vi er nødt til at bladere videre for at finde ud af, hvad der nu sker og/eller om en forestillet mulighed bliver virkeliggjort. I fysikundervisning kunne dette oversættes til forsøget på at vælge de mest levende aspekter af stoffet og tilrettelægge præsentationen af dem, som en dramatiker ville gøre. For, som uddannelsesforskeren David Wong bemærker, når alt kommer til alt er undervisning jo en kunst [19]. Med et standardeksempel fra undervisningen i kosmologi, så kunne man fx starte med at præsentere Hubbles oprindelige, og ikke særligt entydige, galaksedata fra 1929 (for mere om kosmologi i naturfagsundervisning, se [20]). Forventningen kan i dette tilfælde nok nemt fastholdes ved fra begyndelsen at antyde, at der kunne være en forbindelse mellem disse data, rummets udvidelse og universets fødsel. Herudover er der rig mulighed for gode diskussioner med eleverne om, hvad der mon var før Big Bang – eller om man overhovedet meningsfuldt kan snakke om noget "før", for så vidt at der ikke var nogen tid "inden" universet, se også [21].

En tredje måde at give rum til det æstetiske i fysikken ligger i begrebet forundring. Allerede Platon og Aristoteles påpegede at filosofi – kærligheden til visdom – begynder med undren. To tusind år senere var Einstein inde på en lignende idé [22]:

"The most beautiful thing we can experience is the mysterious. It is the source of all true art and all science. He to whom this emotion is a stranger, who can no longer pause to wonder and stand rapt in awe, is as good as dead: his eyes are closed."

Det er ikke svært at relatere forundring til de studendes motivation og engagement, og i en stadig sparsom litteratur er vigtigheden af at fremme følelsen af undren i naturfagsundervisning også blevet understreget, se også [23] og [24]. I samme ånd påpeger Wong ([15], s. 211), at de naturfagsstuderende ikke bør føle sig som kokke der følger en opskrift, men snarere som detektiver der løser et mysterie⁴. Som eksempel kunne man tage "mysteriet" om regnbuen, og evt. inddrage nogle af de mange forklaringsforsøg fra Aristoteles til Newton. I den pædagogiske proces er det også værd at bemærke, at mysterier i videnskaben ikke nødvendigvis har en endelig løsning – hvilket giver plads til at forundringen og nysgerrigheden kan fortsætte⁵. For ganske vist forklarede Newton og andre regnbuen, men på et dybere niveau har vi stadig kvantemekanikkens sære beskrivelse af lys som både partikel og bølge. Og selv hvis man har slået sig til tåls med denne dualitet,

så er der stadig uafklarede spørgsmål, fx vedrørende forholdet mellem vores velbestemte "klassiske" verden og den sælsomme indeterministiske kvanteverden (en diskussion af Niels Bohrs tilgang til dette forhold kan findes i [26]).

Som tidligere nævnt kan forundring også sættes i forbindelse med det sublime og med fysikkens grænser. Men da den daglige undervisning næppe hver gang kan gå til grænsen, er det praktisk, at der også er andre aspekter af det sublime, der kan være relevante for æstetiske oplevelser. Den formodede ophavsmand til et af de første skrifter om det sublime – den græske retoriker Longinos der levede i det tredje århundrede – forbandt bl.a. begrebet med det at holde tale. Han forklarede [27]: "The effect of elevated language upon an audience is not persuasion but transport". Altså at det ophøjede eller sublime ikke overtaler os, men snarere løfter os og tager os med et andet sted hen. Sådanne transportmuligheder er der mange af i undervisningen, specielt hvis man medtænker forestillede rejser i tid og rum⁶.



Figur 3. Rejser i fysikundervisningen kan fx gå tilbage i tiden eller ud i rummet. Her en illustration af New Horizon sonden der nærmer sig Pluto, som blev "besøgt" af DR-radioprogrammet Videnskabens Verden i 2015.

Udover at benytte de allerede skitserede "rejser" tilbage til de fysiske ideers oprindelse og deres originale betydning, kan man tage på virtuelle rejser til spændende fysiksteder. Gode eksempler på dette kan findes i DR-radioprogrammet "Videnskabens Verden". I mine øjne er nogle af de bedste indslag netop dem, hvor lytteren kommer med på rejse, og gives god mulighed for (fx via lydeffekter) at leve sig ind i turen. Som eksempler kan nævnes programmet om rejsen til Pluto (sendt 23-6-2015), eller besøget i en forladt mine i Canada (sendt 28-7-2015) på sporet af mørkt stof. Prøv

evt. selv – fx sammen med eleverne – at høre disse indslag, og reflekter bagefter over om de virkede godt som formidling af stoffet.

Nytte og æstetik i fysikundervisning

Når politikere håber på, at flere vælger en naturvidenskabelig uddannelse, så synes det i høj grad at bygge på ønsket om økonomisk fremtidssikring i form af ny teknologi, der kan bidrage til konkurrenceevnen. At fysik (og naturvidenskab i øvrigt) er nyttigt, er naturligvis en både vigtig og prisværdig kendsgerning. Men denne nytteværdi kan ikke stå alene – og formentlig heller ikke når det handler om motivation af eleverne. For når naturfag "af mange unge opleves som irrelevante og uinteressante" [28], så hjælper det nok for lidt fx at pege på, at mange af de teknologiske vidundere vi omgiver os med bygger på fysikkens landvindinger. Og måske er det heller ikke nok for motivationen, at anvendelsen af fysik er uundværlig fx i forbindelse med de store klimaudfordringer, kloden står overfor.

I hvad man kunne kalde den æstetiske vidensopfattelse har viden værdi i sig selv, bl.a. gennem horisontudvidelse, sanselige erfaringer, samt æstetiske oplevelser af fx. skønhed og det sublime. Der behøver ikke at være en modstrid mellem det nyttige og det æstetiske, for i en mere generel opfattelse af nytte er fx horisontudvidelse jo også ganske nyttigt. Men det er påfaldende, og i mine øjne dybt problematisk, at vores kultur i den grad fremhæver nytten og underspiller æstetikken. I bogen "Science and Method" fra 1914, beskrev den franske matematiker, fysiker og filosof Henri Poincaré prioriteringen på denne måde:

"The scientist does not study nature because it is useful to do so. He studies it because he takes pleasure in it, and he takes pleasure in it because it is beautiful. If nature were not beautiful it would not be worth knowing, and life would not be worth living."

At fysik kan – og måske bør – være meningsgivende for os som mennesker, er også en tanke som Erwin Schrödinger, en af kvanteteorien grundlæggere, fremfører i dette bemærkelsesværdige citat fra bogen "Science and Humanism" (1951) om videnskabens formål:

"I consider science an integrating part of our endeavor to answer the one great philosophical question which embraces all others, the one that Plotinus expressed by his brief: *who are we?* And more than that: I consider this not only one of the tasks, but *the* task, of science, the only one that really counts."

Det vigtige her er ikke om man er enig med Poincaré og Schrödinger, men at se at fysikken *også* kan have sådanne meningsgibende og eksistentielle aspekter.

⁶Hvis man nu synes at ophøjet sprog i undervisningen lyder for tæt på manipulation, så kan man jo i stedet tænke på H.C. Andersens motto om "at rejse er at leve".



Figur 4. Både fysikere som Erwin Schrödinger og kunstnere som Paul Gauguin har i deres arbejde været drevet af eksistentielle spørgsmål. Her er det Gauguin's maleri "Hvor kommer vi fra, hvad er vi, og hvor skal vi hen?" fra 1898.

En fremhævelse af æstetikken i undervisningen betyder selvfølgelig ikke, at nytteaspektet, i dagligdagen eller for elevens og samfundets fremtid, skal ignoreres⁷. I stedet er der snarere brug for en afbalancering mellem det æstetiske og det nyttige. Og for så vidt at æstetik kan øge motivationen for eleverne, så behøver der ikke være nogen konflikt mellem egenværdi og nytteværdi af undervisningen. Men, som allerede antydnet, synes specielt den økonomiske nyttetænkning at være altoverskyggende i den nuværende uddannelsespolitiske situation. Fx er det næppe forkert at forbinde PISA-feberen med ideen om, at en vellykket integration på arbejdsmarkedet er det grundlæggende mål for uddannelse. En sådan vision udgør en underminering af oplevelse og fordybelse i læringssituationen som mål i sig selv. Måske har ingen bedre udtrykt forholdet mellem nytte og æstetik i en pædagogisk sammenhæng end professor Keating i filmen "Dead Poets Society". Her er, hvad han siger i en scene, hvor eleverne bliver forklaret, hvorfor de skal lære om poesi, når det nu ikke fremmer karrieremulighederne:

"We don't read and write poetry because it's cute. We read and write poetry because we are members of the human race. And the human race is filled with passion. And medicine, law, business, engineering, these are noble pursuits and necessary to sustain life. But poetry, beauty, romance, love, these are what we stay alive for."

Mit gæt er, at Mr. Keating ikke ville have modsat sig at udvide henvisningen til poesi til også at omfatte de poetiske og æstetiske sider af videnskaben. I så fald har vi endnu et fingerpeg om, at en æstetisk betonet fysikundervisning måske kunne gøre denne mere motiverende og meningsgivende.

Afslutningsvis vil jeg fremhæve at det æstetiske – til forskel fx fra en god eksamenskarakter – er noget man kan dele, og måske endda noget der bliver endnu bedre af at blive delt. Ikke fordi vi nødvendigvis er enige om, hvad der er skønt, sublimt eller giver den største indsigtsglæde. Men fordi evnen til at opleve

æstetisk glæde er noget fælles menneskeligt, og fordi denne glæde, i modsætning til fx formler, ikke bliver mindre af at blive delt. Med andre ord er æstetikken noget, der kan styrke fællesskabet og ikke kun individet. Dette aspekt af det æstetiske rækker selvfølgelig langt ud over fysikken, og bl.a. ind i en aktuell debat om at sætte fokus på det som har værdi i sig selv. Det ville vel ikke være så ringe hvis naturfagsundervisning også kunne bidrage til en sådan debat?

Tak til Michael Cramer Andersen, Dorthe Jørgensen, Helge Kragh og Svend E. Rugh for gode kommentarer til en tidligere version af artiklen.

Litteratur

- [1] Gingerich, O. (1975). 'Crisis' versus aesthetic in the Copernican revolution. *Vistas in Astronomy* **17**(1), s. 85-95.
- [2] McAllister, J. (1996), Beauty and revolutions in science. New York: Cornell University Press.
- [3] Kragh, H. (1999), Det smukke og det sande – æstetiske principper i de eksakte videnskaber. I J. Holmgaard (red.) *Æstetik og Logik*. Viborg: Medusa, s. 211-233.
- [4] Jørgensen, D. (2006), Skønhed – En engel gik forbi. Aarhus: Aarhus Universitetsforlag.
- [5] Root-Bernstein, R.S. (1996), The science and arts share a common creative aesthetic. I A. Tauber (red.) *The elusive synthesis: aesthetics and science*. Amsterdam: Kluwer, s. 49-82.
- [6] Kosso, P. (2002). The omniscienter: Beauty and scientific understanding. *International Studies in the Philosophy of Science* **16**, s. 39-48.
- [7] Chandrasekar, S. (1987), Truth and Beauty: Aesthetics and Motivations in Science. Chicago: University of Chicago Press.
- [8] Schiller, F. (1794), Menneskets æstetiske opdragelse. Klassiske tænkere. 2. udg. København, Gyldendal (1996).
- [9] Pais, A. (1998), Paul Dirac: aspects of his life and work. I P. Goddard (red.), Paul Dirac: The man and his work. Cambridge: Cambridge University Press, s. 1-45 (citat fra s. 33).
- [10] Weisskopf, V. (1991). The Joy of Insight: Passions of a Physicist. New York: Basic Books.
- [11] Rosenfeld, L. (1964), Komplementaritetssynspunktet konsolideres og udbygges. I S. Rozental (red.), Niels Bohr – Hans liv og virke fortalt af en kreds af venner og medarbejdere. København: Schultz Forlag, s. 109-131 (citat fra s. 112).

⁷Bemærk i øvrigt at en vægtning af æstetikken absolut heller ikke behøver at betyde fysikundervisning 'light'. Fx vil indsigtsglæde og værdsættelse af teoretisk skønhed ofte kræve grundigt matematisk-analytisk arbejde.

- [12] Scharff, W. (1964), Minder fra Tisvilde. I S. Rozentel (red.), Niels Bohr – Hans liv og virke fortalt af en kreds af venner og medarbejdere. København: Schultz Forlag, s. 306-310 (citat fra s. 306).
- [13] Dewey, J. (1897), My pedagogic creed. Genoptrykt i L. A. Hickman og T.M. Alexander (red.), The essential Dewey, Vol. 1. Bloomington: Indiana University Press, 1998, s. 229-235.
- [14] Pugh, K.J. og Girod, M. (2007), Science, Art, and Experience: Constructing a Science Pedagogy from Dewey's Aesthetics, *Journal of Science Teacher Education* **18**, s. 9-27.
- [15] Ryan, R.M. og Deci, E.L. (2000), Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being, *American Psychologist*, Vol **55**(1), s. 68-78 (citat fra s. 71).
- [16] Hein, H. (1996), The Art of Displaying Science: Museum Exhibitions. I A. I. Tauber (red.), *The Elusive Synthesis: Aesthetics and Science*. Amsterdam: Kluwer, s. 267-288.
- [17] Edlev, L. (2009), Naturoplevelser og naturfaglig interesse. Hvad er forholdet mellem æstetiske læreprocesser og naturfaglig undervisning?. I Jensen-Fink, K. og Nielsen, M.A. *Æstetiske læreprocesser – i teori og praksis*. Billesø & Baltzer.
- [18] Gjesing, K.B. (2013), Ørsted og Andersen og guldalderens naturfilosofi. *KVANT* bind **24**, nr. 4, december 2013.
- [19] Wong, E.D. (2007), Beyond control and rationality: Dewey, aesthetics, motivation, and educative experiences. *Teachers College Record*, **109**(1), s. 192-220.
- [20] Kragh, H. (2014), The Science of the Universe: Cosmology and Science Education. I M. Matthews (red.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht: Springer, s. 643-665.
- [21] Rugh, S.E. og Zinkernagel, H. (2016), Limits of time in cosmology, <https://arxiv.org/abs/1603.05449> (udkommer i bogen *The Philosophy of Cosmology* af K. Chamcham et al (red.) på Cambridge University Press, 2017).
- [22] Einstein, A. (1954). *Ideas and Opinions*. New York: Random House (citat fra s. 11).
- [23] Jakobson, B. og Wickman, P. (2008), *The Roles of Aesthetic Experience in Elementary School Science*. *Research in Science Education* **38**, s. 45-65.
- [24] Hadzigeorgiou, Y.P. (2012), Fostering a sense of wonder in the science classroom. *Research in Science Education* **42**, s. 985-1005.
- [25] Fisher, P. (1999), *Wonder, the rainbow and the aesthetics of rare experiences*. Boston: Harvard University Press.
- [26] Zinkernagel, H. (2013), Bohr mellem klassisk og kvantisk virkelighed. I L. Bruun, H. Kragh and F. Aaserud (red.) *Bohr på ny*. København: Epsilon, s. 197-211.
- [27] Longinus, On the sublime, <http://classicpersuasion.org/pw/longinus/desub001.htm>.
- [28] Dohn, N.B. (2007), Elevers interesse i naturfag – et didaktisk perspektiv. *MONA* **3**, s. 7-24 (citat fra s. 8).



Henrik Zinkernagel er lektor i videnskabsteori på afdeling for filosofi ved Granada Universitet. Hans forskningsinteresser omfatter fysikkens og kosmologiens filosofi samt forholdet mellem videnskab, æstetik og uddannelse. I efteråret 2016 er han gæsteforsker på Niels Bohr Arkivet i København hvor han arbejder med et projekt om æstetik i kvantemekanikkens udvikling.

Nobelprisen i fysik 2016 kan føre til topologiske kvantecomputere

Af Christine Pepke Pedersen, *KVANT* og DTU Fotonik

Nobelprisen i fysik gik – måske til manges overraskelse – ikke til den eksperimentelle måling af gravitationsbølger, men i stedet til teoretisk forskning i topologiske egenskaber af flade (2D) materialer. Faktisk kunne Nobelprisen for 2016 slet ikke gå til gravitationsbølgerne, da denne artikel først blev udgivet efter deadline (1. februar) for indstilling til årets Nobelpris.

Halvdelen af Nobelprisen blev i år uddelt til David J. Thouless fra University of Washington og den anden halvdel til F. Duncan M. Haldane fra Princeton University og til J. Michael Kosterlitz fra Brown University.

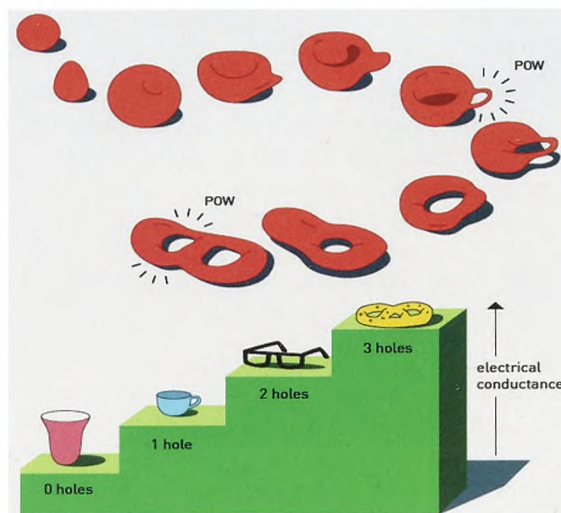
Topologi beskriver invariante egenskaber ved objekter, det vil sige egenskaber som ikke ændrer sig når objektet deformerer. Hvis formen skal ændre sig, må den gennemgå en trinvis ændring. Den trinvis ændring kan ligesom antallet af huller i objektet kun antage heltalsværdier, se figur 1.

Når man køler stof til omkring det absolutte nulpunkt (-273 °C) opfører det sig kvantemekanisk og kan antage nye eksotiske faser som fx et kvantekondensat. Thouless og Kosterlitz forskede i 1970'erne i topologiske faseovergange i 2D materialer, hvilket resulterede i en helt ny forståelse af lav-dimensionelle faseovergange, som blev kaldt Kosterlitz-Thouless (KT) faseovergangen.

I 2D-materialer ved lav temperatur danner små hvirvler par. Ved en kritisk temperatur sker KT-faseovergangen, hvor parret bestående af en hvirvel og en antihvirvel splittes op, og hver hvirvel bevæger sig i sin egen bane. Forklaringen af fysikken bag KT-faseovergangen er en af de vigtigste opdagelser indenfor faststoffysikken.

Thouless og Haldane forklarede i 1980'erne kvante-Hall-effekten – det, at Hall-effekten ved lave temperaturer i 2D-systemer er kvantiseret – ved topologi og topologiske

invarianter, der kun kan antage heltalsværdier. Forskningen i topologiske materialer kan bruges til at fremstille qubits (enhedsbærere af kvanteinformation) og kan blive altafgørende for udviklingen af kvantecomputeren.



Figur 1. En bold kan strækkes og bøjes til en kop uden hank da de er topologisk ens, mens det kræver en trinvis ændring at få en hank i koppen, da de er topologisk forskellige. Den trinvis ændring, at tilføje et hul til objektet, kan sammenlignes med kvante-Hall-ledningsevnen, som kun ændres i kvantiserede trin. Fra nobelprize.org.

Litteratur

- [1] The Nobel Prize in Physics 2016 (med uddybende artikler), www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2016/.