

Øjet og de fysiologiske farver

Martin Sundstrøm, Ørsted Laboratoriet, Københavns Universitet samt Optik og Fluid Dynamik Afdelingen, Forskningscenter Risø.



Figur 1. G.T. Fechner (1801-87).

I 1838 opdagede den tyske fysiker G.T. Fechner, at vi ser farver, når vi kigger på runde skiver med bestemte mønstre i sort og hvid, som roterer ved bestemte frekvenser. Fechners farver er i midlertidig ikke fysiske farver, som farven på en gul blomme, der er bestemt af blommens fysiske sammensætning, men er i stedet en sanseillusion. Fechners farveindtryk skabes ikke af bølgelængden af det lys, der rammer vores øjne, men af fysiologiske begrænsninger i vores opfattelsesevne, og derfor er farverne fysiologiske og ikke fysiske.

Fechner opdagede fænomenet, da han var i færd med at undersøge vores synsevner. Han vidste, at når en halvmåneskive i sort og hvid drejer hurtigere rundt end den såkaldte fusionsfrekvens, så kan øjet ikke længere skelne mellem de to farver på skiven, og det resul-

terende synsindtryk bliver gråt. Alt afhængig af alder og belysning, så ligger fusionsfrekvensen omkring 40 til 50 omdrejninger i sekundet.



Figur 2. Tysk frimærke med H. von Helmholtz (1821-1894) fra 1994.

I forsøget på at skabe og udforske grånuancer lavede Fechner en skive med en Arkimedesspiral i sort og hvid. Til sin store forbløffelse så Fechner farver på skiven, når den roterede under fusionsfrekvensen.

Han beskrev farverne på Arkimedesskiven ved stadig højere frekvenser, som først gul, så gulgrøn, dernæst grøn og tilsidst lyseblå. Fechner angav dog ikke nogen specifikke frekvenser eller lyskilde, men bemærkede, at Goethe ville være blevet glad for opdagelsen, fordi den viser, at farver kan opstå i overgangen mellem sort og hvid. Et af grundprincipperne i Goethes farvelære var nemlig, at farver opstår i mødet

NY BOG

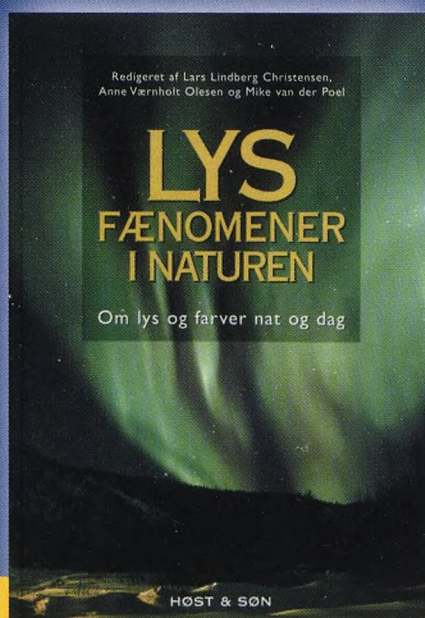
Den nyeste viden om optiske fænomener samlet i rigt illustreret håndbog skrevet af forskere fra fire forskellige videnskabsgrene.

Redigeret af Lars Lindberg Christensen, Anne Værnholt Olesen og Mike van der Poel

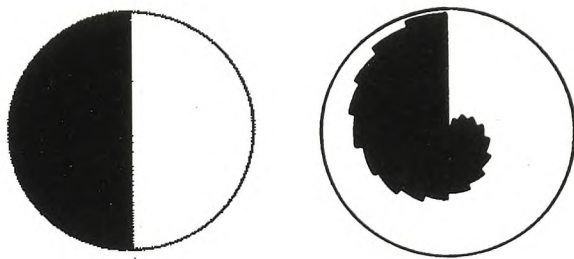
216 sider,

kr. 298,-

H Ø S T & S Ø N



mellem lys og mørke. Men dengang som nu foretrak folk Newtons forklaring af farver og lys, der var funderet i lysets dispersion i prismet.



Figur 3. Halvmåneskiven og Fechners Arkimedesspiral.

Fechner var den første, der systematisk udforskede farvefænomenet, og tilskrives af mange i dag opdagelsen af de fysiologiske farver, selvom den franske munk Bénédict Prevost allerede i 1826 havde opdaget, at når han bevægede et stykke papir hurtigt ind og ud af en lysstråle, der faldt ind igennem et mørkt rum, så kunne han se farver. Prevost nedskrev sin opdagelse, og bemærkede, at der ikke var tale om en opsplitning af hvidt lys som i et prisme, men at effekten var subjektiv. Fechner mente også, at farveindtrykkene var subjektive, og kaldte farverne for subjektive farver, men siden hen er de også blevet kaldt akromatiske, fysiologiske, Prevosts, Fechners eller Benhams farver.

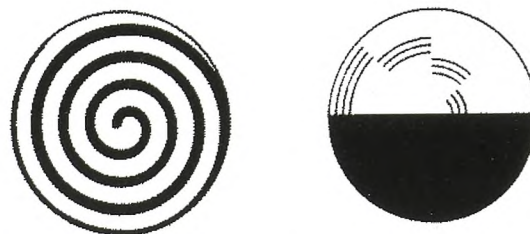
Op- og afladningsteorien

Fechner foreslog en forklaring på de fysiologiske farver, som stadig er den mest udbredte. Den byggede på en ide, som den engelske fysiker og læge Thomas Young, der i øvrigt påviste lysets interferens, havde forslået i 1801, der gik ud på, at øjet har tre receptorer, som er følsom overfor hver deres farve eller bølglængdeområde af det synlige spektrum. Når øjet ser den hvide del af den roterende skive, så påvirkes alle tre receptorer i øjet lige meget. De tre receptorer sender hvert deres signal til hjernen, hvor de tre signaler "blandes" til et hvidt synsindtryk. Umiddelbart efter ser øjet en sort del af skiven. Fechner foreslog nu, at øjets receptorer havde forskellige afladningstider. Når det hvide synsindtryk er ophørt, så aflader receptorerne med forskellige hastigheder. Hvis en af de tre receptorer ikke er blevet afladt helt, når øjet ser den sorte del af skiven, så ser øjet ikke sort, men receptorens farve.

Til sammenligning kan man forestille sig en stegepande over et gasblus. Når vi slukker for bluset, bliver panden ikke kold med det samme, så hvis man rører ved den, er den stadig varm, og hvis ikke man vidste bedre, så ville man tro, at bluset stadig var tændt.

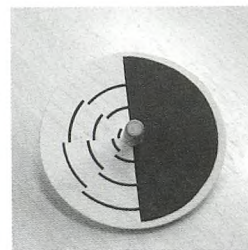
I 1860 finpudser den tyske fysiker og læge Hermann von Helmholtz teorien efter at have undersøgt en del forskellige skiver. Forinden har Helmholtz også udviklet Thomas Youngs ide om det såkaldte trichro-

matiske farvesyn, og måler, at de tre receptorer reagerer på henholdsvis korte bølglængder, der overvejende giver blålige synsindtryk, mellem bølglængder, der overvejende giver grønne synsindtryk og lange bølglængder, der giver rødlige synsindtryk.



Figur 4. Spiral brugt af Helmholtz samt Benhams skive fra 1894. Patentet på mønstret på Benhams skive tilhører legetøjsfirmaet Newton & Co., som Benham var tilknyttet.

Helmholtz siger desuden, at også forskelle i opladningstider kan give anledning til farveindtryk. Et hvidt synsindtryk på en roterende skive er for eksempel så kort, at det kun er den receptor, som er følsom overfor rød, som når at blive påvirket, mens man ser hvid, – så ser man sort og receptorerne påvirkes ikke mere. Man ser derfor kun den røde del af det hvide lysindtryk, fordi receptorerne følsom for grøn og blå ikke nåede at blive aktiveret.



Figur 5. Moderne variant fra Magasin 1998.

Helmholtz så de fysiologiske farver, som en bekræftigelse af den trichromatiske farveteori, og anså teorien om forskelle i receptorerne op- og afladningstider som dækkende. Desuden mente han, at receptoren følsom overfor blå op- og afladede langsommere end receptoren følsom overfor rød, fordi han ved observationer af skiver havde lagt mærke til at de blålige indtryk dominerede ved lave rotationsfrekvenser og rødlige indtryk ved høje rotationsfrekvenser.

I 1894 konstruerer den engelske legetøjsmager Charles E. Benham et mønster på en skive, som giver anledning til stærke farveindtryk ved små omdrejningsfrekvenser, og begynder at sælge skiven som legetøj i form af en snurretop.

Når snurretoppen spindes, så ses overvejende rød, gul, grøn og blå i cirkulære bånd om centrum, der falder oven i de sorte delcirklers på den hvide halvdel af skiven. Afhængig af hastighed, så ændrer farverne sig

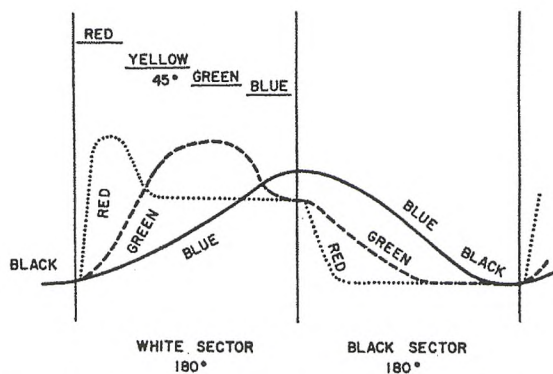
i overensstemmelse med Helmholtzs observation ovenfor, og overgår fra en farve til en anden.

Det røde bånd er inderst, når snurretoppen roterer med uret, og yderst mod uret. Skiven giver farveindtryk op til fusionsfrekvensen afhængig af betragterens alder og belysning. De fleste skiver som i dag bruges til at illustrere de fysiologiske farver er varianter af Benhams skive, og kaldes derfor Benhamskiver.

Sort-hvid fjernsyn, det er fremtiden

Som sagt er Fechners og Helmholtzs forklaring stadig den mest udbredte, men det betyder ikke, at den er fuldstændig. Det har for eksempel siden hen vist sig svært i praksis at måle forskellene i receptorernes op- og afladningstider og dermed underbygge teorien.

I næsten 30 år forsøgte franskmænd H. Piéron at måle forskellene i receptorernes op- og afladningstider, men trods ihærdige forsøg lykkedes det ham ikke entydigt. I 1932 fandt han en forskel på 9 millisekunder mellem en rød stimuli af øjet og en grøn, og en forskel mellem rød og blå på 28 millisekunder. I 1947 fandt han en forskel på 3 til 7 millisekunder mellem rød og blå, og den samme forskel mellem rød og grøn, men i nogle forsøg blev forskellen mellem rød og grøn større end rød og blå.



Figur 6. Piérons forklaring af farveindtrykkene baseret på op- og afladningsteorien [1].

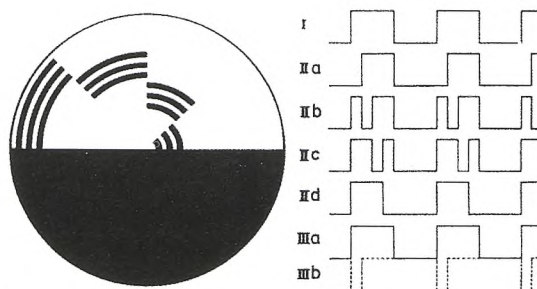
I 1945 foreslår G.A. Fry en sammenhæng mellem L.T. Trolands farveteori fra 1921 og farverne på Benhamskiven. Troland havde foreslået, at nerveimpulserne fra øjet til hjernen, som giver anledning til farveindtryk måske transmitteres i en kode af binær karakter.

Det er med andre ord den hurtige vekslen mellem sort og hvidt på Benhamskiven, som giver anledning til nerveimpulser, som fejlagtigt tolkes af hjernen som farveindtryk, fordi farveindtryk normalt sendes i sådanne sekvenser til hjernen. Men ideen vinder ikke udbredelse.

Så i mangel af forklaringer skriver nobelpristageren i fysik Richard Feynman i 1965, i sine berømte Lectures on physics, at "No one yet understands the reason for those colors, but it is clear that information is being

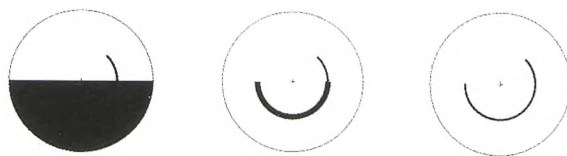
put together at a very elementary level, in the eye itself, most likely."

Men ideen om sekvenserne forsvinder ikke helt. Den tyske fysiolog C. von Campenhausen udvikler den fra 1965 til 1969, og forsøger systematisk at beskrive farveindtrykkene som sekvenser af sort og hvid, eller lys og mørke.



Figur 7. Campenhausens følger af lys og mørke [2].

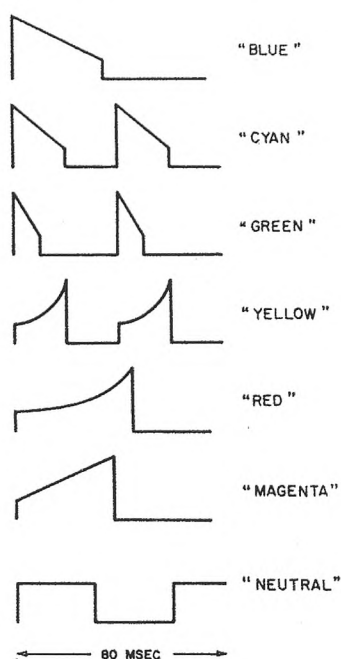
Når man kigger på Campenhausens sekvenser kan det måske undre, hvad forskellen er på sekvens IIa, der beskriver det inderste bånd, og IId, der beskriver det yderste bånd, bortset fra, at de er forskudt i forhold til hinanden. Tilsyneladende er der ingen, selvom de to bånd giver forskellige farver. Men trods det, er der alligevel folk, som forsøger, at lave farvefjernsyn ud af sort-hvid apparater i slutningen af 1960'erne uden, at der dog kommer noget ud af forsøget.



Figur 8. Tre udgaver af Benhamskiven.

I 1970 foreslår amerikanerne L. Festinger, M. R. Allyn og C. W. White, at man opfatter de vekslende sekvenser af sort og hvid lidt mere nuanceret, ikke bare som binære sekvenser, men som sekvenser, hvor der også er en variation i intensitet. Deres ide kan illustreres ved hjælp af ovenstående tre udgaver af Benhamskiven, som jeg har konstrueret. I den første udgave er et bånd isoleret. Når skiven drejes med uret giver det anledning til et rødt farveindtryk, og blå mod uret. I næste udgave er der skåret lidt mere af skiven, men der kommer stadig farveindtryk. I den sidste udgave er der imidlertid ingen farveindtryk. I den midterste udgave kan man forestille sig, at øjet ser en nedblending af hvid i et bestemt område af skiven, hvor cirkelbåndet drejer

forbi, når skiven drejer mod uret. Og modsat ser øjet en opblænding af hvid, når skiven drejer med uret. Det vil sige, at en opblænding af hvid giver rød, og en nedblænding giver blå.



Figur 9. Festingers, Allyns og Whites målinger fra 1970 af lyssekvenser af hvidt lys med varierende intensitet, der opfattes som farver [3].

Det var præcis, hvad Festinger, Allyn og White fandt, da det lykkedes dem at få sekvenser af hvide glimt med varierende intensitet til give farveindtryk. Men trods det er sekvensteorien ikke særlig udbredt i dag.

Andre fysiologiske farver

I forbindelse med et kollokvium om de fysiologiske farver lavede jeg sidste jul en række forsøg, hvor jeg ud over Fechners fysiologiske farver også undersøgte en anden type fysiologiske farver, som skabes af efterbilledeeffekter. De fleste kender efterbilleder fra følgende lille eksperiment. Kig koncentreret på noget rødt i 30 sekunder. Kig derefter på et hvidt stykke papir. Der vil nu være et grønligt efterbillede. Farven af efterbilledet er komplementær til den farve, som man først har kigget på. To farver, der receptivt blander til hvid, kaldes komplementærfarver.

Forklaringen på efterbilledets farve er kort, at den røde receptor er blevet "tappet" for farve, så der er en overvægt af de andre receptores farver, når man kigger på en hvid baggrund. Når efterbilledet er ved at forsvinde kan man forlænge det ved at blinke lidt med øjnene.

Modsat Fechners fysiologiske farver er farven af et efterbillede ikke helt ufysisk, fordi der er en sammenhæng mellem de farveindtryk vi ser, og farven af det lys,

som skaber farveindtrykkene. Man kunne derfor opdele de fysiologiske farver i to typer. Akromatisk farveopfattelse, som er den Fechner opdagede, og komplementær farveopfattelse, der skyldes efterbilledeeffekter, og som er de farveindtryk, man kan skabe på roterende skiver med mønstre i sort og hvid med både farvet og hvidt lys.

Jeg lavede en opstillingen, hvor jeg forsøgte at tappe øjets receptorer for farve. På en otte centimeter bred hvid skive, tegnede jeg en sort cirkelstreg 2 centimeter fra centrum. Stregen spændte over 180° og var 1 millimeter bred. Når skiven roterer ved en givet frekvens og bliver belyst med hvidt lys fra en strotoskoplampe, der blinker ved samme frekvens, så opfattes skiven ikke overraskende som stillestående. Når man belyser skiven med hvidt halogenlys, er virkningen at man nu også ser den roterende skive i de ellers mørklagte intervaller mellem strotoskoplampens blink, og man ser derfor en sluttet sort ring på den roterende skive.

Det sjove er nu, at når man for eksempel påfører halogenlyset et orange filter, så opfattes skiven igen som stillestående på en orange baggrund, men den sorte halvcirkel er sluttet af en blå farve. Effekten er slående, fordi man kigger på skiven i omgivelser, der er badet i orange lys, og alligevel ser man en blå halvcirkel på skiven.

Man kan gentage forsøget med andre farvede filtre og finde andre komplementære farvepar. For eksempel giver et violet filter en grønlig farve. Jeg fandt farveindtryk fra 10 til 100 Hz. Man kan sikkert også finde farveindtryk over og under disse frekvenser, men mit udstyr tillod mig ikke at undersøge andre frekvenser.

Forklaringen er sandsynligvis følgende. Der, hvor øjet ser den komplementærfarvet halvcirkel, finder der en konstant vekslen mellem sort og hvid sted. Hver gang øjet detekterer en ændring, så skal øjet opdatere farven i området. Da skiven drejer hurtigt rundt skal øjet altså opdatere farven mange gange i sekundet, og det har den virkning, at receptorerne "tappes" for den pågældende farve. Grunden til, at man så kan se komplementærfarven er, at strotoskoplampen blinker hvidt samtidig med skiven, som svarer til, at vi kigger på et hvidt papir, hvor komplementærfarven træder frem.

Man kan altså få komplementære farveeffekter frem ved hjælp af skiver og farvet lys. Jeg forsøgte nu at få farveeffekter frem i hvidt lys. Tilsyneladende skulle der være en sammenhæng mellem frekvensen af det blinkende lys, og skivens omdrejningsfrekvens. Efter lidt forsøg med forskellige skiver og lyskilder, opdagede jeg til sidst til min store overraskelse, at når en halvmåneskive roteres ved 100 Hz i hvidt lys fra et almindeligt kviksløvbaseret lysstofrør, så ses et flot farvespil på skiven i gule, grønne, blå og violette farver, som er forsøgt gengivet på Kvants bagside i en lidt farvestærk udgave. Det kommer til syne omkring 90 Hz, som en grønlig farvefront, der rundt på skiven modsat skivens omløbsretning. Fronten minder om den, der fej-

er rundt på en radarskive. Ved 100 Hz stopper fronten og breder sig ud over hele skiven og står stille som vist. Farverne begynder så at dreje rundt med skivens omløbsretning over 100 Hz og forsvinder igen omkring 110 Hz.

Grunden til, at farvespillet står stille ved 100 Hz skyldes sandsynligvis, at lysstofrøret blinker eller oscillerer ved samme frekvens. Når jeg tændte for lysstofrøret, så blinkede det ved andre frekvenser end 100 Hz i opstarten. Jeg lod derfor halvmåneskiven rotere ved frekvenserne 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz og så videre op til 90 Hz, og undersøgte, hvad der skete, når man tændte lysstofrøret. Ved alle frekvenser så man i et kort øjeblik farverne i farvespillet.

Ved hjælp af en rød helium-neon laser lavede jeg og et par andre et forsøg, hvor vi fik det røde laserlys til at blinke ved vilkårlige frekvenser, mens det oplyste en roterende skive med rødt lys. Ligeledes hvilken en frekvens vi gav laseren, så kunne vi se den karakteristiske radarskiveeffekt på skiven lige før og efter, at skiven roterede ved samme frekvens. Farvespillet på skiven var dog ikke særligt farverigt. Det var mørke nuancer af rød, men til tider mente observatører at kunne se blå eller cyan nuancer i farvespillet, som ville svare fint overens til komplementærfarven til rød, men effekten var ikke overbevisende.

En ting var dog klart. Øjet har den egenskab, at det opfatter stillestående farvenuancer på den roterende halvmåneskive præcis, når skiven roterer ved samme frekvens, som belysningen oscillerer ved.

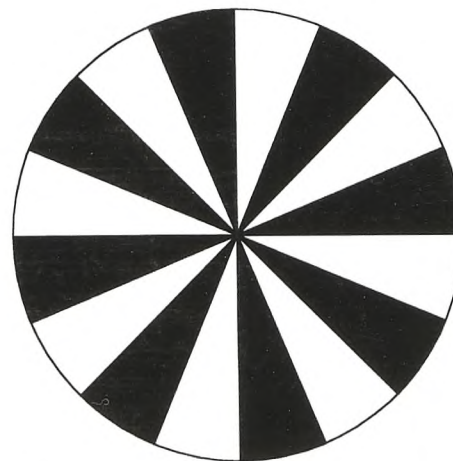
Musikalske møllehjul

Ud over farvespillet ved 100 Hz fandt jeg også undertoner, og en enkelt overtone. Ved overtonen, der lå en oktav højere ved 200 Hz, så man det samme farvespil som ved 100 Hz bare svagere, men ved undertonerne, der lå ved hele dele af 100 Hz, det vil sige ved 50 Hz, 33,3 Hz, 25 Hz og så videre, ændrede farvespillet form til møllehjul, hvor vingerne hovedsageligt var grønne med nuancer af gul og blå, mens der var hvidt og svage violette nuancer mellem vingerne. Den simple sammenhæng mellem frekvens og undertoner var: Frekvens $\times n = 100$, hvor n er et heltal.

Men for at se disse møllehjul er man nødt til at bruge andre skiver end halvmåneskiven. Ved at bruge en helt sort skive med et 45° hvidt udsnit, kan man stort set se alle over- og undertoner.

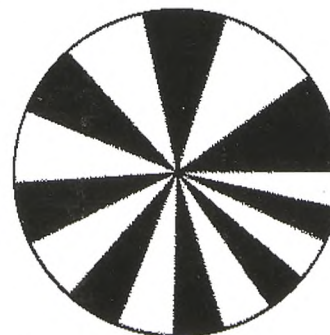
For at få de enkelte undertoner tydeligere frem kan man benytte et møllehjul i sort og hvidt, som giver stærke farveindtryk ved en bestemt frekvens.

Jeg fandt en simpel sammenhæng mellem antallet af sorte vinger på møllehjulet og frekvensen, der giver stærke farver: Frekvens $\times$ Antal sorte vinger = 100. Tilsvarende kan man lave en sammenhæng mellem en vinges centervinkel på møllehjulet og frekvensen: Centervinkel = $1,8 \times$ Frekvens, hvor frekvensen højst er 100 Hz.



Figur 10. På møllehjulet med otte sorte vinger ses farvede vinger ved 12,5 Hz.

For at få flere møllehjul frem på den samme skive konstruerede jeg et møllehjul, der giver møllehjul ved en hel del lave frekvenser. Farveindtrykkene er dog en anelse svagere end ved møllehjul med faste centervinkler.



Figur 11. På dette møllehjul ses farvede vinger ved frekvenser svarende til 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 og 14 vinger.

Men det flotteste farvespil ses stadig ved 100 Hz, hvor det fylder hele skiven. Det bedste farvespil opnås ved at betragte den roterende halvmåneskive eller den sorte skive med et 45° hvidt udsnit i lyset fra et kviksløvbaseret lysstofrør i en afstand af 20–40 centimeter fra den roterende skive i et mørklagt lokale.

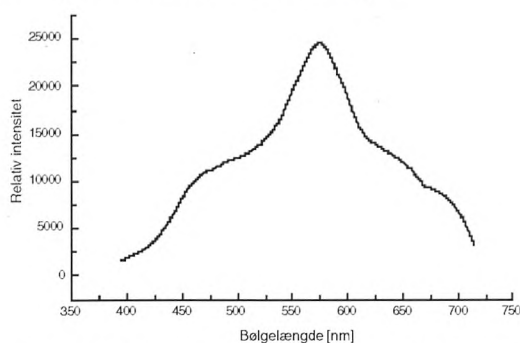
Hvis man benytter sidstnævnte skive kan man også se møllehjulseffekter ved andre frekvenser end de nævnte, men de er ikke særlig farvestærke. Ved 66 Hz ses for eksempel et lyserødt møllehjul med grønne nuancer med tre vinger, og ved 45 Hz ses et sortblå og sortrødt møllehjul med 7 vinger.

Komplementært, kære Watson

Spørgsmålet er nu, hvorfor man netop ser de farver på halvmåneskiven, som man gør. Når man roterer halvmåneskiven i hvidt oscillerende halogenlys, så kommer der ikke noget farvespil frem, men kun en mørk nuance, der minder om radareffekten.

Forskellen mellem lysstofrøret og halogenlyset, som begge giver hvidt lys, ligger i deres spektralsammen-

sætning. Halogenlyset er båndbredt over hele det synlige spektrum fra 400 nm til 700 nm, mens lyset fra lysstofrøret består af enkelte linier, som tilsammen giver et hvidt lysindtryk. To lyskilder, som giver samme farveindtryk, men som har forskellige spektralsammensætninger, kaldes et metamerisk par.

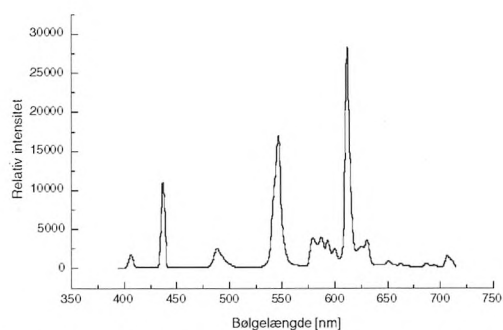


Figur 12. Spektralsammensætning for halogenlys.

I lysstofrørets spektrum finder vi de fire stærkeste linier ved 406 nm, 436 nm, 546 nm og 612 nm. De svarer til kviksløvetets fire stærkeste synlige spektrallinier. Derudover ses en række andre små linier i bunden af spektret, som enten kommer fra kviksløvet eller fluorcerende materiale på selve lysstofrøret. De fire stærke linier har farverne violet, violet-blå, grøn og orange. Komplementærfarverne til disse er nuancer af grøn, grøn-gul, violet og blå.

Det er nu fristende at sige, at farverne på halvmåneskiven er komplementærfarverne til de farver, som lysstofrørets lys er sammensat af, og dermed, at øjet under visse betingelser i en vis forstand kan spektralopløse hvidt lys.

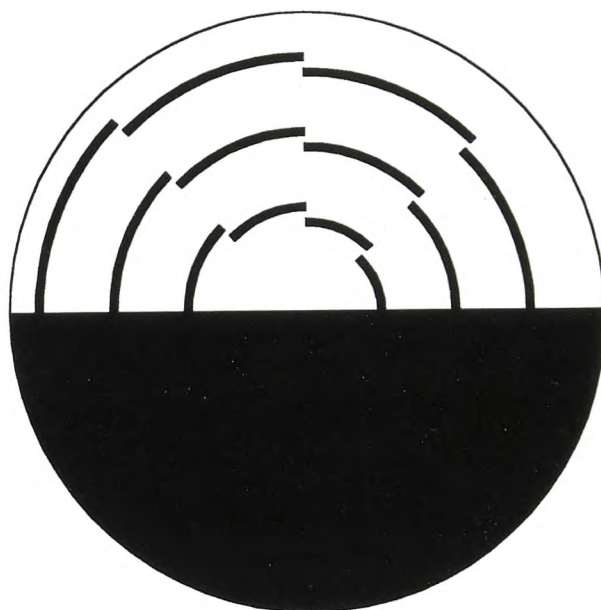
Jeg gentog forsøget i gult lys fra et andet kviksløvbaseret lysstofrør med det resultat, at omtrent halvdelen af skiven blev rød ved 100 Hz, mens resten af skiven blev mørk med svage blålige nuancer. De mest markante linier i det gule lys lå ved 547 nm og 578 nm, derudover var der en båndbred pukel fra 550 nm til 630 nm. Komplementærfarverne til de to linier er violet og cyan-blålig.



Figur 13. Spektralsammensætning af hvidt lys fra et kviksløvbaseret lysstofrør.

Umiddelbart kan skivens blålige nuancer forklares, men det er ikke helt klart, hvorfor skiven bliver rød, hvis den skulle antage komplementærfarver. Men sam-

tidig må man også overveje, hvilken betydning det har, at man ser på skiven i gult lys. Man må forestille sig, hvad der sker, når receptorer, der er i gang med at opfatte gult, samtidig måske oplever en "udmatning" af grøn fra 547 nm linien, og gul fra 578 nm linien. Det er ikke helt enkelt. Det er heller ikke helt let at sige, hvilken rolle puklen i spektrummet spiller, men det kan ikke udelukkes at en række faktorer spiller ind, så den violette farve måske opleves rødlig.



Figur 14. Dette er en Benhamvariant, der giver farver i almindeligt lys, som beskrevet i teksten. Hvis du kan lave din egen snurretop, kan du fotokopiere skiven her eller klippe den ud af Kvant og selv undersøge farverne.

En anden mulighed er, at farvespillet på halvmåneskiven slet ikke skyldes komplementære farver, og måske skal de fire farver i farvespillet tolkes som indbyrdes komplementære, og ikke som uafhængige af hinanden.

Men farverne er i hvert fald knyttet til sammensætningen af det lys, som belyser skiven. Modsat Fechners fysiologiske farver, der både fremkommer i halogenlyset og i belysningen fra lysstofrøret. Men det er stadig uklart, hvorfor farvefordelingen på skiven netop ser ud, som det gør, når farvespillet står stille.

Man kan sluttelig spekulere lidt over, hvad det er, der adskiller de to typer fysiologiske farver fra hinanden. Vi ved, at farveindtrykkene fra en Benhamskive forsvinder før fusionsfrekvensen, mens de komplementære farver kan ses op til 200 Hz og muligvis højere. Det er endvidere sandsynligt, at det er forskelle i intensiteter, som giver anledning til de akromatiske farveindtryk, og dermed er det måske ikke kun øjets tre farvefølsomme receptorer, kaldet tappe, som påvirkes, men også øjets lysfølsomme receptorer, kaldet stavene, som vi bruger til vores næsten farveløse nattesyn. I modsætning til tappene er der kun en type stave, men

til gengæld er der omkring 130 millioner stave i forhold til kun 7 millioner tappe i et normalt øje.

Det virker nogenlunde klart, at de komplementære farveindtryk skyldes "udmatning" af tappene i øjet, og umiddelbart er relateret til stavene. Men noget kunne tyde på, at den akromatiske farveopfattelse skyldes en vekselvirkning mellem stavene og tappene på et højere niveau i øjet, hvor der udveksles information på mellem øjets receptorer, førend informationen sendes videre til hjernen. At stavene spiller en rolle i opfattelsen af de akromatiske farver, ses muligvis, når man betragter farverne på en Benhamskive i udkanten af sit synsfelt, hvor koncentrationen af stave er størst, fordi her bliver farverne til tider lettere at identificere.

Måske kan neurologien i fremtiden kaste lys over forståelsen af de akromatiske farveindtryk, hvis den kan fortælle, hvordan og i hvilken form øjets receptorer sender deres information videre til hjernen.

Referencer:

- [1] H. Piéron (1952), "The Sensations: Their Functions, Processes and Mechanisms", oversat af M.H. Pirenne og B.C. Abbott, Yale University Press, New Haven, side 157.
- [2] C. von Campenhausen (1968), "Über die Farben der Benhamschen Schreibe", Zeitschrift für vergleichende Physiologie, bind 60, side 355.

- [3] L. Festinger, M.R. Allyn og C.W. White (1970), "The perception of color with achromatic stimulation", Vision Res., bind 11 side 608.

Nogle generelle referencer, der kan anbefales er:

J. Cohen og D.A. Gordon (1949), "Prevost-Fechner-Benham subjective colors", Psychological Bulletin, bind 46, nr. 2, marts 1949.

D. Falk, D. Brill og D. Stork (1986), "Seeing the light", John Wiley & Sons.

G. T. Fechner (1838), "Über eine Scheibe zur Erzeugung subjectiver Farben", Annalen Der Physik, bind 45, nr. 121, side 1838.



Martin Sundstrøm skriver speciale i fysik på RISØ om en lasermetode til at detektere diabetesrelaterede ændringer i øjets egenfluorescens.

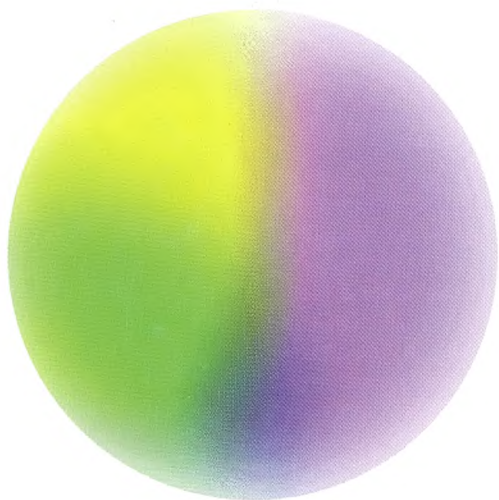
Historien bag Netværk for Kvinder i Fysik

Trine Møgelberg, Dansk Institut for Fundamental Metrologi

Netværk for Kvinder i Fysik er netop fyldt 6 år. Netværket har vokset sig fra at være en løst ide udtænkt på H.C. Ørsted Instituttet en dag i juleferien 1991 til at være et netværk, der holder årsmøder, udgiver nyhedsbreve, inviterer foredragsholdere og har en repræsentant i DFSs bestyrelse.

Ideen bag dannelsen af det danske netværk var inspireret af Norges Netværk for Kvinder i Fysik, der blev stiftet i 1988. I Norge er kvinder også stærkt underrepræsenterede indenfor fysik, og da Norge er et stort land kan der let være langt imellem dem. I 1991 fik min daværende vejleder en henvendelse fra et medlem af det norske netværks bestyrelse. De var interesseret i at få kontakt med ligesindede i Danmark. Han formidlede kontakten videre til Mette Vedelsby, der var gymnasielærer, men netop havde færdiggjort en undersøgelse for undervisningsministeriet om piger på naturvidenskabsstudierne.

Jeg var på daværende tidspunkt næsten færdig som kandidat. I 1991-92 var jeg på et studieophold ved University of Minnesota i USA. Ved University of Minnesota gjorde man en aktiv indsats for at rekruttere kvinder til fysikstudiet og for at holde på dem, når de var begyndt at læse. Universitetet havde ansat en dekan til at varetage de kvindelige studerendes interesser, der var et kursus om Women in Science, og månedlige gratis frokoster for de kvindelige studerende på fysik. Alt dette var nyt for mig. Samtidig mødte jeg for første gang åbenlys diskrimination mod kvindelige studerende og havde blandt andet selv problemer i min egen gruppe. Jeg havde mandlige kolleger, der klædte sig af ved mit skrivebord og som havde meget svært ved at tage mig alvorligt som kollega. Møderne med de andre kvinder på fysik hjalp mig til at se min situation i et større perspektiv og til at løse problemerne. Selvom mine oplevelser i USA var ret grelle og ikke



Øjets fysiologiske farver

Figuren her viser det farvespil, der optræder, når man ser på en sort/hvid halvmåneskive, der roterer ved 100 Hz i belysningen fra et kviksølbaseret lysstofrør. Centervinklerne for farverne er cirka 175° violet, 90° grøn, 30° gulgrøn, 45° gul og 20° blå.

Du kan læse mere om dette spændende emne i Martin Sundstrøms artikel på side 20. Inde i bladet kan du også finde ud af, om dommedagen er nær, læse om biofysik, om generalforsamlingen i SNU og årsmødet i DFS. Kvants midtersider er samtidig en plakat for DFS's årsmøde. Du kan også læse historien bag Netværk for Kvinder i Fysik samt et bud på, hvordan vi øger tilgangen til de naturvidenskabelige uddannelser. Endelig har Kvant samlet en række nyttige citater om matematik.

Vanskelighederne med at få Ørsted satelliten i luften blev fulgt af hele nationen og gav anledning til mange morsomheder i dagspressen, specielt på avisernes bagsider. Som et seriøst tidsskrift kan Kvant naturligvis ikke deltage i dette, men da vi også har en bagside, citerer vi i stedet lidt fra de e-mails, redaktionen har modtaget tidligere i år fra Tycho Brahe Planetarium.

Interesserede Kvant-læsere kan se mere om detaljerne i Ørsted projektet i Egil Friis-Christensens artikel i nr. 4, 1994, samt læse om Jordens magnetfelt set fra rummet i artiklen af Therese Moretto og Nils Olsen i nr. 2, 1998. Planetariets internetside <http://www.tycho.dk/orsted> bliver også opdateret, når der sker ting af betydning.

Fri, 08 Jan 1999 14:13

INDBYDELSE.

Følg Ørsted på vej.

Vi indbyder til et stort "opsendelses-arrangement", når Danmarks første satellit sendes op fra Vandenberg Air Force Base i Californien: Torsdag d. 14. januar kl. 11.00 - 14.00 i Rumteatret på Tycho Brahe Planetarium & Omnimaxteater.

Forskningsminister Jan Trøjborg, trafikminister Sonja Mikkelsen og erhvervsminister Pia Gjellerup vil tale ved arrangementet, ligesom diverse eksperter og nøglepersoner i Ørsted-projektet vil give satellitten et par ord med på vejen. Der vil også være mulighed for at følge Ørsteds vej ud i rummet fra en storskærm, hvor vi transmitterer direkte fra Vandenberg Air Force Base.

Tue, 12 Jan 1999 14:54

GEN-INDBYDELSE.

Kære deltagere i Ørsted-arrangementet. Igen er opsendelsen af Ørsted udsat. Derfor denne "gen-invitation". Da det er et stort arbejde at flytte rundt på 230 gæster, 30 pressefolk og tre ministre, beder vi jer om at hjælpe med informationsarbejdet ...

Thu, 28 Jan 1999 11:42

Ørsted er i luften.

Det er en stor dag: Endelig er Ørsted blevet sendt op fra Vandenberg Airforce Base i USA.

Indtil videre fungerer alt som planlagt. Danmark er blevet en rumnation.

Mange hilsener. Os fra Planetariet.

Thu, 28 Jan 1999 11:47

*Erratum: Ørsted er ****ikke**** i luften.*

Der kom røg af raketten, men den lettede ikke!!

Vi afventer nærmere!

Thu, 28 Jan 1999 12:16

Update: Ørsteds afbrudte opsendelse.

Tilsyneladende var det der skete med opsendelsen, at den blev abortet efter at hovedmotorene var blevet tændt. Årsagen til den automatiske afbrydelse undersøges i øjeblikket, men skyldes nok at trykket i mindst en af raketens motorer ikke nåede op på den nominelle værdi. Der har også været mumlen om problemer med en ventil.

En lignende afbrydelse for en Delta-raket er ikke foregået siden december 1995.

Vores (for!) tidlige udmelding skyldtes, at telefonforbindelsen til kontrolrummet blev afbrudt umiddelbart efter den store jubel blandt alle teknikerne mv. i kontrolrummet.

Tue, 23 Feb 1999 11:29

Ørsted er oppe!

Det er nu bekræftet (for alvor). Ørsted kom op i dag kl. 11:59:55.

Tue, 23 Feb 1999 11:41

Ørsted opdatering.

Det var en skrivesmølf: 11:29:55 er det rigtige tidspunkt.