

Diffraktion og interferens

Lyset og øjet 10

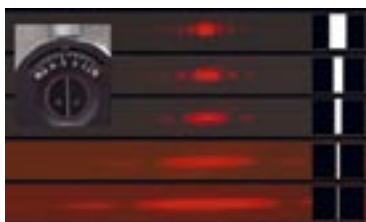


Af Per Nellemann

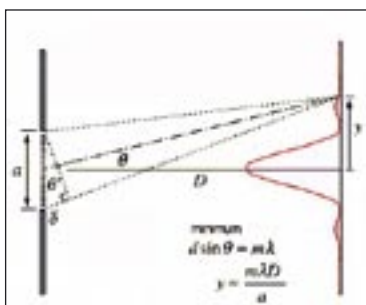
I kunstverdenen er man nået til yderste grænse for fornyelse og provokation. De vilde impressionister har været stuerene i et århundrede. Det uskønne og stygge kan skabe stor interesse, men hvem vil have billeder hjemme af Bacon eller Baselitz?



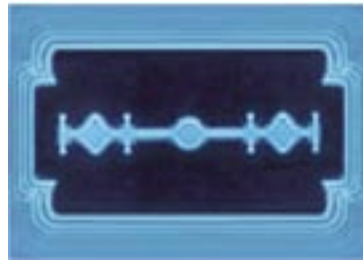
Lyset fra solen udbredes retlinet.



Fraunhofer diffraction. En helium-neon-lasers diffraction ved flere spaltebredder.



Fraunhoferdiffraction.



Fresnel diffraction i monokromatisk lys over en skarp kant, et barberblad.

Impressionisterne begyndte forfra i beskrivelsen af den umiddelbare sansoplevelse, og i dag har man så vendt bøtten med det uskønne og er startet forfra med lysinstallationer, der bl.a. skal vise os sammenhængen og også forskellen mellem det, vi ser, og det vi opfatter. Tænk på James Turrell fra Arizona og Olafur Eliasson fra vore egne breddegrader. Et værk af sidstnævnte hedder betegnende: 'seeing yourself seeing'.

Diffraction og interferens fænomener indgår ikke regelret i disse kunstneres arbejder, men hvor længe?

Diffraction er den afvigelse af lysets retlinede udbredelse, som opstår, når bølgens udbredelse bliver forhindret. Bølgen vil bøje sig omkring forhindringen, så der dannes et frynsemønster (frasa sv. fringe eng.) i det, der ellers ville formodes at være en regelmæssig geometrisk skygge. Diffractionen fører til en omfordeling af strålingsenergien både inden for og uden for den geometriske grænse for lysstrålen.

Hvis vi betragter et hul, en i en opak skærm, en 'apertur' som det hedder i fysikersproget, og vi lader en monokromatisk lyskilde, en laser lyse igen-



Francesco Maria Grimaldi (1613-63) var professor i matematik og fysik ved jesuiterkollegiet Bologna. Han fandt, at skyggen fra objekter ikke var lineær. Der kom lys ind fra siden. Lysets diffraction kaldte han det.



Augustin Jean Fresnel født i Broglie i Frankrig (1788-1827).



Joseph von Fraunhofer (1787-1826).



Huygens egen tegning af princippet. Der bærer hans navn. Ethvert punkt er centrum for sin egen bølge. Der er ingen forklaring på, hvorfor bølgen ikke går bagud.

nem hullet mod et stykke hvidt papir, vil vi nær skærmen se en lys plet, som helt svarer til hullet. Lidt længere væk kommer et fint frynsemønster til syne. Og endnu længere væk fra hullet kommer der et udbredt frynsesystem, som



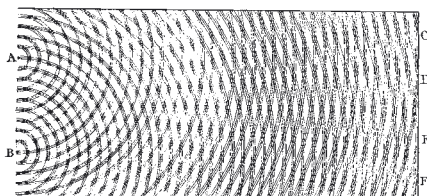
Thomas Young (1773-1829) maleri af Lawrence. Han var et multibegavet menneske, som gav flere bidrag til videnskaben. Dobbeltspalteforsøget, der beviste lystes bølgenatur, farvesynets trikromat teori, men også ægyptologien blev hjulpet på vej af tydningen af nogle hieroglyffer på Rosetta stenen.



Christaan Huygens, (1629-98) fra Haag kom i 'Traité de la Lumière' med en bølgeteori for lysets udbredelse, refleksion, refraction og dobbeltbrydning.

modsvarende hullens geometriske projektion. Det er det, man kalder Fresnel eller nær-felt diffraktion. Til sidst vil lysstrålen ende i et symmetrisk enormt udbredt system af frynser, som ikke har nogen lighed med aperturen.

Over en vis afstand bliver mønsterændringer umulige at se, medmindre størrelsen øges.



Youngs tegning af dobbeltspalteforsøget. Som viste, at lyset kunne opfattes som bølger med konstruktiv og destruktiv interferens.

Det kalder man Fraunhofer eller fjern-felt diffraktion, og det er et grænsetilfælde, som er simplet at forstå end Fresnel diffraktionen.

Der er ingen fundamental forskel mellem diffraktion og interferens. Begge egenskaber ved lysets udbredelse er et udtryk for lysbølgens overlejring (superposition) af flere bølger.



Små vandbølger illustrerer interferensfænomenet

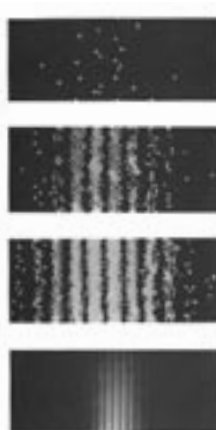
Af historiske grunde kaldes et amplitude og intensitets mønster, som fremkaldes af overlejrede strålinger fra adskilte kohærente kilder for et interferensmønster, hvorimod det kaldes et diffraktionsmønster, hvis de kohærente lyskilder har en kontinuert fordeling. Således taler man om et interferensmønster fra to smalle spalter og et diffraktionsmønster fra en bred spalte eller en kombination af diffraktion og interferens mønster fra to brede spalter.

Er lyset partikler eller bølger? Det spørgsmål har optaget mange gennem tiderne. Newton mente, det var en strøm af partikler, og hans hollandske samtidige Huygens gentog Grimaldis forsøg og fandt, at skyggerne fra en tråd kun kunne forklare ved at lyset opførte sig som vandbølger. Lysets

bølgeteori blev sat i gang, men fik ikke succes fordi Huygens mente bølgerne var longitudinelle og ikke transverselle. Med Youngs dobbeltspalteforsøg blev det klart vist, at effekten kun kan forklares i termer som konstruktiv og destruktiv interferens. Er der to bølgetoppe eller to bølgedale, der mødes, forstærkes de, og hvis en bølgetop og bølgedal mødes, bliver de udslukket.

Youngs dobbeltspalteforsøg er et meget vigtigt forsøg, det indgår stadig i forsøgene på at beskrive lysets natur. Eksperimentet illustrerer partikel/bølge dualiteten. Den komplementære tilstand.

Fotonen bevæger sig i rummet på en fordelt sandsynligheds statistisk, bølgeagtig måde og ankommer til en enten/eller detektor som en lokaliseret hel og komplet partikel.



Når elektroner eller fotoner rammer en film, i et dobbeltspalteforsøg, bygges interferensmønstret kun gradvist op.

Erstatter man skærmen i dobbeltspalteforsøget med en fotografisk film og arbejder i lave lysintensiteter, nærmest mørke, får man et aftryk af den



Jim Ottovianis og Leland Purvis's illustration af Bohr Einstein debat om bølge/partikeldualiteten. Fotonvægten har været i tankerne.

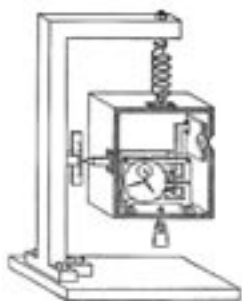
enkelte foton på filmen. Først ved større lysintensiteter får vi et interferensmønster. Der er således statistik indblandet.

For at der kan være interferens overhovedet, skal der være to åbne spalter. Vi er stadig i det klassiske fysik univers, hvor der er determinisme, (fortiden bestemmer fremtiden, man kan beregne en senere tilstand, hvis man kender begyndelsestilstanden). Men under passagen i de to spalter gælder kvantemekanikkens begreber, og de er svært forståelige, for her må velkendte begreber opgives, blandt andet determinismen. Når de kvantemekaniske ideer anvendes, får man nogle oplysninger, som ligger langt fra den daglige erfaring.

Det kan for eksempel vises, at en enkelt foton interfererer med sig selv, som om den var gået igennem begge spalter på én gang.

Og hvordan kan der være information til stede ved den ene spalte, som meddeler den anden spalte, om den er åben eller lukket. Hver gang vi ser på de fotografiske film, er partiklernes udstrækning meget mindre end afstanden mellem spalterne.

Efter kvantemekanikken kan vi ikke bestemme, hvilken spalte fotonen er gået igennem og ifølge såvel Heisen-



Niels Bohrs tankeeksperiment: fotonvægten.

bergs matrix mekanik med ubestemthedsrelationer og Schrödingers bølgefunktioner, ψ , psi, kan vi kun beregne sandsynligheden for fotonens position i rummet. Vi kan ikke bestemme fotonens impuls og position samtidigt. Når man undersøger fotonen, 'kollapser bølgefunktionen' til et enkelt punkt, men det er fotonen jo også.

Vi har ingen mulighed for at se eller måle, vi er ikke observatører, men deltagere i eksperimentet. Fysikeren John Wheeler mener, at ordet *observer* skal erstattes af *particitor*.

En foton fra en fjern galakse har



Niels Bohr blev kongeligt hædret med den danske elefantorden. Hans Våbenskjold kan ses på Frederiksborg slot. *Contraria sunt complementa er valgsproget. Modsætninger er komplementære.*



været flere millioner år undervejs til detektoren. Er det en bølge eller partikel?

En delvis illustration af partikel/bølge opfattelsen har vi måske fra den makroskopiske verden. En fiskestime vil



En fiskestime set på afstand. Er det småbølger eller partikler?

på ekkoloddet og på afstand se ud som en bølge. Først når vi fanger fisken, kan vi se, det er en fisk. Men så er den ikke længere en del af bølgen.

Fortolkningen af dobbelt-spaltforsøget har givet anledning til store diskussioner, mest berømt er den gamle Bohr-Einstein diskussion, som førte til tankeeksperimentet: fotonvægten og EPR paradokset (efter Einstein, Podolsky, Rosen). EPR viser, at resultatet af en måling i en del af et kvantesystem har øjeblikkelig indflydelse på målingen i en anden del, uanset afstanden.. David Bohm og John Bell gjorde paradokset til noget mere eksperimentelt gennemførligt, og Alain Aspect udførte det rent faktisk i 1983 ved at måle polarisationen på fotoner, der udsendes korreleret.

Ifølge fysikeren Jens Bang, Niels Bohrs tidligere sekretær, er der flere indvendinger, idet f.eks. Bohm og Bell måtte indføre ekstra skjulte variable, og Aspect måtte postulere metafysiske meddelelser, der var hurtigere end lyset.

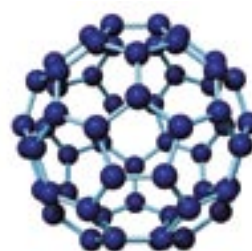
Niels Bohr anvendte udtrykket komplementaritet om målinger, der udelukker hinanden. Og udtrykket komplementaritet var et nøgleord i Bohrs naturopfattelse og filosofi. *contraria sunt complementa*. Modsætninger er komplementære står der på Bohrs elefant ridder våbenskjold, som sammen med det gamle taoistiske symbol for diametrale modsætninger Yin og Yang, som afbilder solens tilsyneladende bane omkring jorden, illustrerer opfattelsen perfekt.

Bohr er ofte citeret for at sige, at hvis man ikke fandt kvantefysikken spøgelsesagtig (weird), havde man ikke forstået den.

Det er nu også svært at begribe, at partikler kan være flere steder på én gang. Det er vist i neutroners opfø-



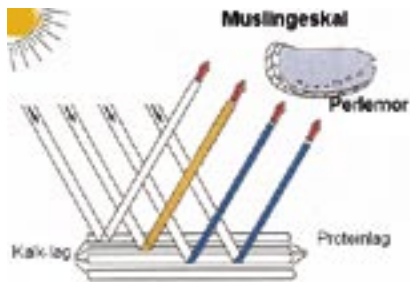
Richard Buckmeister Fuller 1895-1983) var en visionær arkitekt, som mest blev kendt for sin 'GeodesicDome' et forkortet icosahedron, der er let og stabil.



Model af C60 moleculer. Det store molecule udviser måske diffraktion.



En fodbold er en 'BuckyBall' en illustration af C60 moleculer.



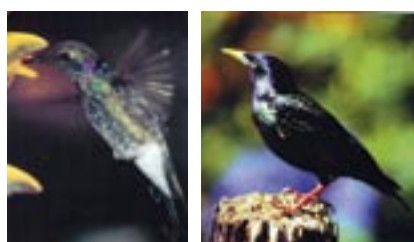
Perlemorets glinsende farver skyldes multilags-interferens.



I en sæbeboble er der tyndfilm-interferens, en slags uregelmæssige Newtonringe.



De velkendte olie på asfalt tyndfilms-interferensfarver.



Kolibriens, påfuglens og stærens glinsende farver skyldes multilags-interferens, hos andre fugle er der tale om tyndfilm-interferens.



sel i neutron-interferometret. Neutronen må opføre sig som en bølge for at passere interferometret. Under passagen er neutronen udsat for tyngdekraften, som er partikelbestemt. Når neutron-interferometret roteres i jordens tyngdefelt, opstår en faseforskel mellem interferometrets to arme, som giver anledning til destruktiv og konstruktiv bølge interferens, når neutronbølgen forlader interferometret. Hvordan kan en enkelt neutron passere to veje gennem interferometret på samme tid? Neutronen må være to steder på samme tid. Effekten opstår, når der er så stor afstand som 10 cm imellem de to arme, så det er ikke nogen mikroskopisk effekt.

Partikel/Bølge dualiteten har så sent som i 1999 fået fornyet interesse i C60 Fullerenernes mulige diffraktion.

Fullerenernes er ret store objekter med en atom masse på ca. 720 og en de Broglie bølgelængde på 2,5 pico meter, hvorimod molekulets diameter er ca. 1nanometer, altså 400 gange større. Det er herved det største, hvor kvantemekaniske bølge lignende egenskaber er observeret direkte.

Navnet skyldes arkitekt Buckmeister Fuller, som konstruerede et letvægts ikosahedron, til brug ved verdensudstillingen i Montreal 1937.

Interferens og diffraktion giver anledning til en stor variation af effekter og farver.

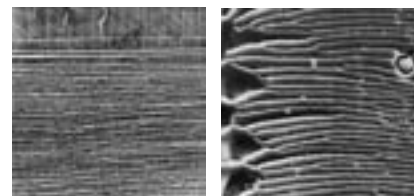
Vi taler om tynd-film interferens når sæbeboblen og oliepletten på den regnvåde asfalt får de varierende farver ved konstruktiv og destruktiv interferens, når boblen og olielagets tykkelse er som bølgelængden på det synlige lys. Berømtest er nok Newtonringene, som ses mellem to stykker glas, som presses mod hinanden. Vi ser noget lignende i det glinsende perlemor på muslingen og de ægte perler. Her skyldes det skiftende lag med forskellige brydningsindeks, af protein og calcium carbonat

I interferensfilteret er der lagt en belægning eller flere ovenpå hinanden. Det sker ved at på-dampe forskellige dielektrika med højt brydningsindex. Ved computerstyring kan man opnå meget smalle og skarpe afgrænsninger af transmissionen. Det er knap så aktuelt til solbriller, her bruges Magnesium Fluorid MgF2.

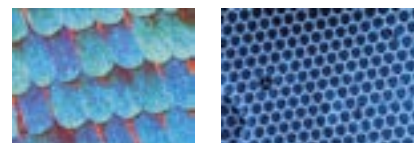
'Katteøjet', den lysende refleks på



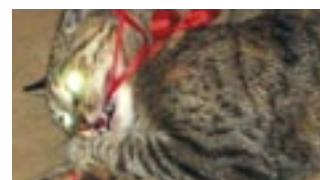
Flere tropiske biller har kraftige interferens farver, da dækskjoldet er opbygget af multilags chitin.



Lysmikroskopisk og scanning mikroskopisk billede af dækskjold, der viser henholdsvis multilagsinterferens og diffraktion.



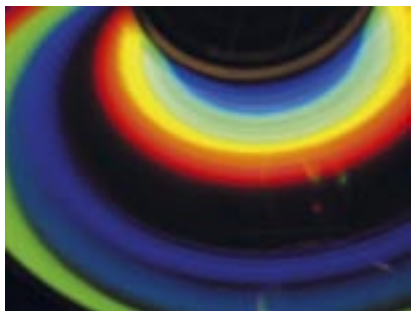
Den store sydamerikanske sommerfugl Morpho har iridescerende blå vinger. Det skyldes melaninets taglagte multilags interferens.



Katten har et 'tapetum lucidum', et reflekterende multilags interferensfilter i chorioidea. Det gør katteungen, killingen til et monster.

cyklens baghjul har taget navn fra nattdyret, og refleksen skyldes tapetum lucidum, et choroidalt lag med større brydningsindeks, og som består af zink koblet til en aminosyre hos tamkatten. Er der flere regelmæssige lag som hos mange rovdyr, inklusive hund og kat, er der tale om tapetum cellulose. Tapetet bevirker, at intet lys går tabt for receptorerne. De får en chance til.

Mange biller har flere regelmæssige lag af kitin som anledning til en næsten spejlende interferens. Og hos den



En CD'er kan fungere som et spektrometer. Lysstofrøret ses her med et ikke helt kontinuert spektrum. Vi ser også begyndelsen på 2' ordens spektret.



Gennem skyer eller iskrystaller ses farvede diffraktionsringe omkring lyskilder, her månen.

Diffraktionsmønstre



Kærligen stråler Elektroner

Fraunhofer diffraktion gennem en cirkulær apertur, et rundt hul.



store tropiske blå sommerfugl Morpho er det taglagte lag af melanin, som giver anledning til interferensen.

I fuglenes verden ses også flerlags interferens hos kolibrer og påfugle. Det er forunderligt, at det brunsorte pigment kan give anledning til så kraftige farver.

De iridescerende farver hos andre dyr, f.eks. fuglenes fjer, firbenets skæl, er mest udtryk for tynd-films interferens.

Men også diffraktion kan give anledning til kraftige farver.

Diffraktionsgitteret til optisk måleudstyr blev fremstillet i stor målestok af amerikaneren Rowland (1848-1901), der var elev af Helmholtz. Han ridsede mikroskopiske parallelle linier, ca. 1 μ mellem dem. Ganske som på en Compact Disc, CDere.

Lys, der rammer linierne, vil spredes i forskellige retninger, og lysstrålerne fra forskellige linier vil have bevæget sig i forskellige afstande før og efter spredningen fra linien. Disse forskellige afstande bevirker en forskel i tilbagelagt lysvej og dermed også i fase. Og som vi så ved lysets polarisation, kan faseforskellen bevirke, at farver opstår. Hvis bølgetoppene kommer samtidig, får vi en øgning af lysstyrken, øget glans. Hvis der er stor afstand mellem linierne bliver der kun ringe dispersion og ingen farver. Er afstanden mindre end $\frac{1}{2}$ bølgelængde, bliver der ikke noget spektrum.

Man kan relativt nemt lave sit eget spektrometer af en CD, se stearinlys illustrationen, hvor flammens spektrale sammensætning kan ses (se forside).

De såkaldte billed' hologrammer' på kontokort er også baset på diffraktion.

Mange tropiske biller har glinsende farvede dækvinger, som har en overflade som et diffraktions gitter. Også sommerfugle- og møl-vinger har ribber af den rigtige periodicitet til at give diffraktion.

Sender man røntgenstråler igennem et krystal, kan vi få oplysninger om krystallets struktur og opbygning. Von Laue 1912 og senere Bragg og søn (1913).

Det var den samme metode, som Watson og Crick anvendte til opklaring af DNA molecullets dobbelthelix struktur.

I atmosfæren kan vi se farvede ringe omkring lyset, en korona omkring månen. Det kan særligt ses, når det er koldt, og der dannes iskrystaller. Ligeledes omkring lyskilder i tåget vejr. Det kan give anledning til misforståelser, da de farvede ringe omkring lyset ganske ligner den diffraktion, som finder sted i den ødematøse cornea f.eks. efter langtrukken cataractoperation eller akut glaukom. Minnaert kommer i sin vidunderlige lille bog 'Light and color

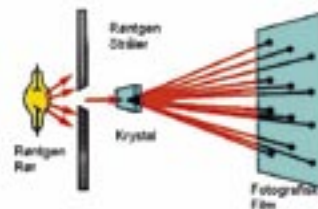


Illustration af metoden til opklaring af krystalstrukturer. Og i øvrigt også til bestemmelse af øjets linsecellers størrelse.



in the open air' ind på alle fysiske fænomener, man selv iagttager. Minnaert var så god en iagttager, at han også har anvendt metoden til bestemmelse af linsecellernes størrelse.



Henry Augustus Rowland (1848-1901) var elev af Helmholtz. Han fabrikerede diffraktionsgittere i stor målestok som her.

Referencer:

www.ofthalmolog.com

Referencer:

- Albers, J : Interaction of Colors.Yale Univ Press. New Haven 1975
- Bang, B: Strefjotog i Niels Bohrs tanker. Hernov, København. 1999
- Boëtius, H., Lauridsen,M.L. og Lefevre,M.L.: Lyset, mørket og farverne. Goethes Farvelære, indblik og perspektivering. Multivers, København .1998.
- Ditchburn, R.W. : Light. 3rd. Ed. Academic Press. London 1976.
- Eliasson, Olafur. Your Lighthouse. Works with light 1991-2004. Hatje Cantz Publ. Wolfsburg 2004.
- Favrholdt, D.: Spaltningen.Niels Bohr og Werner Heisenberg i videnskab og politik. Lindhardt og Ringhof..København 2005.
- v.Frisch,K : The dance language and orientation of bees.Cambridge. Mass.Harvard Univ Press. 1967.
- v.Frisch,K : Om bierne . GECGad Forlag. København 1964
- Gelb, A.: Die Farbenkonstanz der Sehdinge. Handbuch der Normalen und Pathologischen Physiologie. 1929, 12, 594-678
- Goethe, Johann Wolfgang von : Goethe's Theory of Colours translated from german notes by Charles Lock Eastlake. London 1840. MIT ed. 1970
- Gregory; R L :Mind in Science. Penguin,1981. London 1981.
- Gregory; R L :Eye and Brain.5th ed. Oxford Univ Press.Oxford.1996.
- Gregory; Richard : Mirrors In Mind.WH Freeman comp.N.Y.1996.
- Gregory; R L, Gombrich,C H : Illusion in nature and art. Charles Scribner's sons N.Y. 1973.
- Grum, F. and Becherer, R.J. : Optical Radiation Measurements.Vol.1. Radiometry.Academic Press . N.Y. 1979.
- Grum, F. and Becherer, R.J. : Optical Radiation Measurements.Vol. 2.Color Measurement. Academic Press . N.Y.1980.
- Hecht, E.: Optics. Mc Graw-Hill. N.Y. 1975.
- Hubel, DH Eye,Brain and Vision. Sci.Am.Lib. N.Y.1987.
- Hunter DG et al.Mathematical modelling of retinal birefringence acanning. J Opt Soc Am A Image Sci Vis. 1999. 16: 2103-11.
- Mach, Ernst : The Principles of Physical Optics : an historical and philosophical treatment. Dover, 2003. Eng translat. reprint of the 1926 ed.
- McLaren, K.: The Colour Science of Dyes and Pigments. Sec. ed. Adam Hilger, Bristol,1986.
- Minnaert, M. : The nature of Color & Light in the open air. 1954 .Dover .N.Y.
- McLaren, K. : The Colour Science of Dyes and Pigments. Adam Hilger Ltd. Bristol. Sec. Ed. 1986.
- Munk, Ole: Hvirveldyroyet. Bygning, function og tilpasning. Berlingske Forlag, København 1980.
- Newton, Isaac : OPTICS or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light. Base d on 4th.ed. London 1730. Dover Publ. N.Y.1079
- Ottoviani,Jim , Purvis, Leland: Suspended in Language. Niels Bohr life,discoveries and the cenury he shaped. G.T.Labs Ann Arbor Michigan 2004
- Palmer, S: Vision Science. Photons to Phenemenology. MIT Press.Cambridge, Mass.1999
- Penrose, R. :The Emperors new Mind. Concerning Computers, Minds, and the laws of physics. Oxford Univ.Press. N. Y. 1989
- Ramskou, Thorkild : Solstenen. Primitiv navigering i Norden før kompasset. Rhodos Forlag, København 1969.
- Rodieck, R W : The first steps of seeing.Sinauer. Sunderland,Mass. 1998.
- Tovée, M.J :An introduction to the visual system. Cambridge Univ. Press, Cambridge,1996.
- Uttal, W R : A taxonomy of the visual processes. Lawrence Erlbaum Ass.Hillsdale, New Jersey. 1981.
- Weale, RA : Natural History of Optics. in The Eye. Comparative Physiology vol 6. eds Davson H< Graham.academic Press London 1974. 1-110.
- Wolken, JJ: Comparative Structure of invertebrate Photoreceptors. . in The Eye.Comparative Physiology vol 6. eds Davson H< Graham.academic Press London 1974. 97-226
- Wright, W D: The Rays are not coloured. Essays on science of vision and colour. Hilger. London. 1967.
- Wright, W D: The measurement of Colour.Hilger and Watts, London 1964
- Wyszecki, G. and Stiles, W.S.: Color Science. Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. John Wiley and sons, inc. New York. 1982. (sec. ed. 2000).
- Xiang-Run Huang et al. Variation of Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer Birefringence in normal Human Subjects. Invest Opthal. 2004 45: 3073-3080.
- Zajonc,A. : Cathing the Light. The entwined history of light and mind.1993. Oxford, Oxford
- Zeki, S: A Vision of the Brain. Blackwell. 1993.