

TEKST NR 195

1990

**STADIER PÅ
PARADIGMETS VEJ.**

**Et projekt om den videnskabelige udvikling, der førte til
dannelsen af kvantemekanikken.**

**Projektrapport for 1. modul på fysikuddannelsen,
skrevet af :**

**Anja Boisen
Thomas Hougård
Anders Gorm Larsen
Nicolai Ryge**

Projektvejledning af Peder Voetmann Christiansen.

TEKSTER fra

IMFUFA

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde.
Stadier på paradigmets vej.

Skrevet af Anja Boisen, Thomas Hougård, Anders Gorm Larsen og
Nicolai Ryge.

Projektvejledning af P. V. Christiansen.

IMFUFA tekst nr. 195/90 126 sider.

ISSN 0106-6242

Abstract.

Foreliggende tekst beskriver fremkomsten af det vi i dag vil kalde det kvantemekaniske paradigme. Fremstillingen stopper omkring 1. verdenskrig, hvor grundstenene til kvantemekanikken er lagt. I beskrivelsen af den videnskabelige udvikling benyttes to videnskabsteorier, udviklet af henholdsvis Charles S. Peirce og Thomas S. Kuhn.

Hensigten er at søge svar på spørgsmålet om, hvilke faktorer i det videnskabelige miljø, der specielt kendetegner bruddet med den klassiske verdensopfattelse. Her tænkes specielt på begivenheder af videnskabsteoretisk/videnskabssociologisk karakter. Dette er søgt gjort via behandling af tre konkrete problemstillinger i den klassiske fysik: termodynamisk irreversibilitet, hulrumsstråling og fotoelektrisk effekt. Derudover er atomteoriens udvikling beskrevet nærmere.

<u>Indholdsfortegnelse</u>	<u>Side</u>
1 Indledning.....	1
1.1 Problemformulering.	1
1.2 Læsevejledning.	1
1.3 Afgrænsning og synsvinkel.	2
2 Værktøjskasse.....	4
2.1 Kuhn's videnskabsteori.	5
2.2 Peirce's videnskabsteori.	11
2.3 Brugen af videnskabsteoretiske begreber / modeller.	17
3 Historisk baggrund og valg af cases.....	19
3.1 Udviklingen af det videnskabelige miljø frem til slutningen af 1800-tallet.	19
3.2 Introduktion af de fire cases.	32
4 Termodynamik og statistisk mekanik.....	33
4.1 Udviklingen af den statistiske termodynamik.	33
4.2 Ligefordelingsloven.	45
4.3 Metafysiske aspekter.	48
4.4 Delkonklusion.	54
5 Termostatisk stråling.....	55
5.1 Almen klassisk strålingslære.	55
5.2 Klassisk hulrumsstråling.	58
5.3 Kvantemekanisk hulrumsstråling.	65
5.4 Delkonklusion.	71
6 Den fotoelektriske effekt og lysets kvantisering.....	74
6.1 Opdagelse af den fotoelektriske effekt.	74
6.2 Fortolkning af den fotoelektriske effekt ifølge den klassiske fysik.	75
6.3 Einsteins lyskvante-hypotese.	76
6.4 Udviklingen efter lyskvante-hypotesens fremsættelse.	79
6.5 Delkonklusion.	80
7 Historien om atomets identifikation.....	82
7.1 Atomteori frem til 1800-tallet.	82
7.2 Atommodeller frem til 1900.	86
7.3 Rutherford og Bohr.	91
7.4 Delkonklusion.	98
8 Den nye fysiks opgør med positivismen.....	105
9 Diskussion.....	111
Appendiks A : Boltzmann's H-teorem, m.m.	114
Appendiks B : Strålingstryk og modestæthed.	119
Kilde- og litteraturliste.....	124

Kapitel 1

Indledning.

Vi vil i dette projekt fokusere på den videnskabelige udvikling i det fysiske miljø, fra midten af forrige århundrede frem til tiden omkring 1. verdenskrig. Hvorledes arbejdede fysikerne i deres søgen mod ny viden, og hvorledes kommunikerede de indbyrdes?

Fysiske og sociologiske spørgsmål som disse, vil være centrale for vores behandling af den konkrete fysikudvikling. I den nævnte periode blev det mere og mere klart for de fysiske samfund, at grundlæggende viden og begreber ikke var tilstrækkelige, til forklaringen af en række fysiske fænomener. Her tænkes blandt andet på problemerne omkring varmekapacitetens temperaturafhængighed, hulrumsstrålingen, den fotoelektrisk effekt, radioaktivitet og eksistensen af liniespektre for lys.

Vi vil identificere nogle af de mekanismer, der karakteriserer brydningsfasen mellem det klassiske og det kvantiske paradigme. Ønsket er primært at beskrive "vejen" til bruddet med den klassiske mekanik. Hvorimod vi kun vil anskueliggøre visse karakteristika ved det nye kvantemekaniske paradigme.

Dette leder os frem til følgende problemformulering :

1.1 Problemformulering.

- Hvilke interne faktorer var centrale i den videnskabelige proces, der førte til udviklingen af kvantemekanikken ?

Projektet bliver som følge heraf, specifikt rettet mod udviklingsprocessen for det kvantemekaniske paradigme. Men vi håber også at vi hermed vil anskueliggøre nogle generelle tendenser for videnskabelig udvikling.

1.2 Læsevejledning.

For at gøre læsningen af projektet lettere og overblikket større, vil vi her kort redegøre for opbygningen.

Som den centrale del i projektet står de fire cases, som gennemgås fra kapitel 4 til 7. Heri behandles centrale problemer, som den klas-

Indledning

siske fysik stødte på indenfor følgende områder : termodynamik, hulrumsstråling, fotoelektrisk effekt samt udviklingen af en brugbar atommodel. Casene udgør tilsammen en helhed, men kan i princippet godt læses hver for sig.

Kapitel 2 redegør for den benyttede videnskabsteori, og kapitel 3 giver en historisk baggrund for videnskabens stilling i midten af forrige århundrede. På denne måde håber vi at have skabt en god optakt til læsningen af de fire cases.

Kapitel 8 og 9 samler hovedpointerne op fra vores cases, og antyder nogle af de væsentligste træk for det nyfremkomne paradigme. Appendiks A og B er medtaget som supplement til henholdsvis kapitel 4 og 5.

Bagest i projektet findes en udførlig liste over benyttede kilder og litteratur.

Nummerering af afsnit m.m.

Alle afsnit, figurer og formler er nummereret efter et hierarkisk indekssystem. Kapitler benævnes 1, 2, 3,... og hovedafsnit 1.1, 1.2, 1.3,... Figurer og formler har samme nummerering, som afsnittet de optræder i, dog efterfulgt af et bogstav i alfabetisk rækkefølge. Når der henvises til en fodnote, angives dette med en * lige efter ordet.

Kildehenvisninger.

Henvisning til kilder, som er angivet bagest i projektet, sker med angivelse af forfatterens efternavn samt årstal for kildens publikation, evt. efterfulgt af et sidetal. Eksempel : (Jammer, 1966, s.45). Enkelte steder optræder kildehenvisninger således : (CP, vol.7.185), hvilket henviser til Collected Papers af Charles S. Peirce, bind 7 , afsnit 185. På disse enkelte steder, er en anden kilde dog suppleret som fodnote, idet citatet er taget fra disse sekundære kilder.

1.3 Afgrænsning og synsvinkel.

Som allerede fremhævet i problemformuleringen har vi i vores beskrivelse af kvantemekanikkens frembrud valgt at fokusere på den videnskabelige udviklings indre drivkræfter. Hermed ser vi automatisk bort fra størstedelen af de ydre faktorer, som f.eks. kapital- og statsinteresser, der påvirker og påvirkes af udviklingen i det fysiske miljø. Projektet søger derfor under ingen omstændigheder

* Her vil fodnoten blive placeret.

Indledning

at give en fyldestgørende, videnskabshistorisk beskrivelse af overgangen fra det mekaniske til det "kvantiske" verdensbillede. Derimod vil vi belyse de i videnskaben interne mekanismer, som er af afgørende betydning for videre udvikling. Den eneste udefra kommende påvirkning, der direkte behandles, er filosofien. I udviklingen af nye teoridannelser spiller filosofien ofte en væsentlig rolle, hvorfor vi vil være specielt opmærksomme på fysikkens brug af tidens filosofiske strømninger. Fysikkens indflydelse på det filosofiske miljø vil derimod ikke blive behandlet nøjere.

For at strukturere undersøgelsen af kvantemekanikkens udviklingsproces, og for lettere at kunne sammenkæde fysik og filosofi, vil vi gøre brug af to videnskabsteorier. Teoriene er udviklet af henholdsvis Charles S. Peirce og Thomas S. Kuhn. Inden gennemgangen af de enkelte cases vil teoriernes indhold nu blive diskuteret nærmere.



– Denne sag kan ses fra flere sider, så jeg vil bede de herrer sætte sig i rundkreds!

Kapitel 2

Værktøjskasse.

I dette kapitel vil vi beskrive to forskellige teorier for videnskabelig udvikling. Først vil vi belyse Thomas S. Kuhn's og dernæst Charles Sanders Peirce's videnskabsteori. Til slut i kapitlet vil vi redegøre for vores brug af de to teorier.

Når vi har valgt at benytte netop disse videnskabsteoretikere skyldes det flere grunde. Kuhn's teori for videnskabelig udvikling er deskriptiv af natur, og er velegnet til at analysere en allerede foregået videnskabelig udvikling. Som det vil fremgå af følgende afsnit, opererer Kuhn med en række begreber i sin videnskabsteori (som f.eks. normalvidenskab, faglig matrix, m.m.), som ofte er lette at identificere i en given udvikling. Et stærkt incitament for os, ved benyttelsen af Kuhn's teori, har været, at den har hjulpet os med at identificere de forskellige mekanismer, der fungerer i et videnskabeligt miljø, og ikke mindst i udviklingen af ny videnskab. Vi mener også, at det er en fordel at benytte Kuhn, fordi hans teorier er rimelig velkendte.

Peirce's videnskabsteori er af en noget anden natur. For det første er denne teori normativ, hvilket vil sige at den i højere grad afstikker grænserne for, hvorledes en ideel udvikling foregår. For det andet har Peirce, for os, den fordel, at han bogstavelig talt befandt sig midt i den videnskabelige udvikling, som vi vil beskrive. Derudover var han som fysiker overordentlig fremsynet, og identificerede mange af de problemstillinger, som gav problemer i den klasiske fysik, og som vi har valgt at beskrive nogle af, i de 4 cases fra kapitel 4 til 7.

Vi har altså valgt at benytte to vidt forskellige teorier, for at give et så nyanceret billede som muligt, af den videnskabelige udvikling der foregik i slutningen af forrige århundrede ved dannelsen af et nyt fysikområde, nemlig kvantemekanikken.

2.1 Kuhn's videnskabsteori.

Thomas S. Kuhn er egentlig uddannet fysiker, men fik allerede som "junior fellow" ved Harvard University stor interesse for videnskabshistorie. Kuhns første videnskabsteoretiske synspunkter blev udviklet i begyndelsen af 1950'erne, men først i 1962 udgives den første udgave af essayet "Videnskabens Revolutioner". I det følgende vil det i "Videnskabens Revolutioner" fremkomne syn på videnskabens udvikling blive refereret.

Kuhn anser det som sin hovedopgave, at gøre op med det meget populære videnskabsbegreb, der fremstilles i lærebøger og sågar i videnskabelige afhandlinger. Her beskrives den videnskabelige udvikling som en retlinet proces, der gradvist tilføjer nyt til et konstant voksende lager af videnskabelige metoder og viden. Kuhn er som sagt modstander af denne teori om "udvikling gennem ophobning", og introducerer i stedet begrebet "videnskabelige revolutioner" (uddybes senere). Enhver videnskabelig udvikling vil foregå i såkaldte spring, og vil derfor aldrig forekomme som den pæne og retlinede proces, der gengives i lærebøger. Denne overbevisning er afgørende for Kuhns udlægning af videnskabens historie. Inden denne udlægning beskrives, vil det dog være hensigtsmæssigt at definere ordet "paradigme".

Paradigmebegrebet er for Kuhn yderst essentielt, og det er derfor beklageligt, at begrebet igennem teksten synes at have forskellige betydninger. Kuhn gør, i et efterskrift, selv opmærksom på dette mangetydnings-problem: "Lad os nu vende os til paradigmer og spørge hvad de mon kan være for noget. Min oprindelige tekst efterlader ikke noget spørgsmål, der er mere dunkelt eller betydningsfuldt." (Kuhn, 1972, s. 188), og giver samtidig en bred og altomfangende definition på udtrykket: "Et paradigme er det, der er fælles for medlemmerne af et videnskabeligt samfund, og omvendt består et videnskabeligt samfund af mennesker, som har et paradigme fælles." (Kuhn, 1972, s. 183).

Den faglige matrix.

Det videnskabelige samfunds fælles kerne kan opfattes som en form for fælles teorigrundlag. Men da dette udtryk ikke i sig selv er præcist nok, "opfinder" Kuhn begrebet en faglig matrix. En faglig matrix har 4 hovedelementer, der hér kort skal introduceres:

Symboliske generalisationer: Disse beskrives som udtryk af let logisk form, der uproblematisk og uden tøven accepteres af den faglige gruppe. Det skal pointeres, at generalisationerne har to uadskillelige evner - de kan virke dels som definitioner, og dels som

fysiske love. Fysiske definitioner kan ikke umiddelbart ændres, hvorimod love kan ændres efterhånden.

Metafysiske paradigmer: - forklares som troen på bestemte modeller. Disse modeller har bla. til opgave at "udstyre gruppen med tilladelige analogier og metaforer".(Kuhn,1972,s.190). Ordet metafysisk påpeger, at der er tale om verdensopfattelser, der ikke kan afklares eksperimentelt. Som eksempel kan nævnes troen på, at en luftarts molekyler bevæger sig rundt i verden som små elastiske billardkugler.

Værdier: - beskrives som opfattelsen af hvilke kriterier, der skal være opfyldt, før end en teori er interessant og acceptabel. Som eksempel kan man her tage et krav om, at en teori skal kunne foretage kvantitative forudsigelser, samtidig med at den skal være både enkel og modsigelsesfri.

Fælles eksempler: De fælles eksempler skal opfattes som en mængde problemløsninger, der pga. deres genialitet og succes tjener som forbillede for dyrkelsen af den senere videnskab. De fælles eksempler foreskriver altså en given standard for det videnskabelige arbejde - eller som Kuhn udtrykker det: "Videnskabsmanden løser gåder ved at følge tidligere gådeløsninger." (Kuhn,1972,s.195).

Et paradigme afgrænser altså en given forskning og angiver samtidig retningen for forskningens udvikling. Så længe forskningen er paradigbestyret, kalder Kuhn den drevne forskning for normalvidenskab. Så snart paradigmet drages i tvivl og nye teorier udforskes og efterprøves er videnskaben unormal. Den unormale forskningsperiode kaldes også den revolutionære fase. Ergo består den videnskabelige udvikling af to overordnede faser. Den normalvidenskabelige og den revolutionære fase.

Normalvidenskaben.

Først når der hersker enighed i forsker-verdenen, kan en stædig og systematisk indsamling af kendsgerninger og formulering af teorier finde sted. Denne enighed er ensbetydende med et fælles paradigme. Selve fremvæksten af et paradigme beskrives senere, så på nuværende tidspunkt skal det blot pointeres, at forskningen efter paradigmets fødsel specialiseres og intensiveres. Videnskabsmændene kan nu endelig referere til et fælles grundlag.

Med det fælles paradigme følger normalvidenskaben. Når et paradigme bryder igennem, skyldes det i høj grad et løfte om succes. Paradigmet lover at kunne løse påtrængende problemer i den

videnskabelige verden. Det er nu normalvidenskabens opgave at indfri dette løfte.

Ud fra paradigmets retningslinier skal normalvidenskaben søge at skabe overensstemmelse mellem paradigme og kendsgerninger. Dette kaldes også normalvidenskabens rengøringsarbejde. Rengøringsarbejdet har flere aspekter:

For det første skal normalvidenskaben søge at skabe overensstemmelse mellem teori og praksis. Dvs. paradigmets forudsigelser bør kunne eftervises eksperimentelt. Paradigmet angiver altså hvilke forskningsprojekter normalvidenskaben bør gå i gang med og indirekte hvilket specialapparat, der bør udvikles. Disse arbejdsopgaver, der på forhånd er lovet en løsning, kalder Kuhn for normalvidenskabens gåder.

Dernæst skal normalvidenskaben tydeliggøre paradigmet. Dels ved at afskaffe tvetydige formuleringer, og dels ved mere eksakt at fastlægge fysiske konstanter. Normalvidenskaben vil automatisk stille større og større krav til nøjagtighed. Ud fra paradigmets kvalitative love søger normalvidenskaben nemlig at opstille klare, kvantitative love. Ofte har paradigmet kunnet forudsige givne sammenhænge, men først med en vis teknisk snilde og præcision er man i stand til at eftervise disse eksperimentelt.

Normalvidenskaben medfører en teknisk specialisering inden for paradigmets rammer, men udvikler sjældent nye teorier. Normalvidenskaben vil oftest undertrykke fundamentale nyheder, idet resultater, der ikke falder inden for det forventede område, fortolkes som forskningsfiaskoer. Forskeren og ikke paradigmet drages i tvivl. Normalvidenskaben er pga. sit veldefinerede grundlag en yderst effektiv forskning. Forskerne er velafrettede (de er opflasket med et bestemt paradigme), og redskaberne er veludviklede. Først når bevidstheden om uregelmæssigheder alligevel breder sig, vil normalvidenskaben gå i stå.

Den revolutionære fase.

Uregelmæssighederne kan fortolkes som naturens konsekvente overtrædelse af, de af paradigmet fastsatte, rammer. Kuhn har en klar ide om, hvorledes disse uregelmæssigheder dukker frem i lyset. Det er en i normalvidenskaben indbygget mekanisme, der automatisk fremprovokerer ny-opdagelser. Uregelmæssigheder opdages nemlig pga. specialapparatets nøjagtighed, og træder tydeligt frem på baggrund af paradigmets klare forventninger.

Når der eksisterer en ophobning af anomalier, forekommer såkaldte kriser. Kriser er kendetegnet ved en mangfoldighed af konkurrerende enkelt-teorier, der alle desperat forsøger at bibeholde det gamle paradigme. Disse ad hoc antagelser og lejlighedsvis korrektioner af teorien slører reglerne for normalvidenskabens forskning. Samtidig begynder forskerne at betvivle selv standardresultater og standardløsninger. Nogle videnskabsmænd, som f.eks. W. Pauli under udviklingen af den nye kvanteteori, giver eksplicit udtryk for krisens frustrationer: "For øjeblikket er fysikken igen skrækkelig forvirret. I hvert tilfælde er den for vanskelig for mig, og jeg ønsker, at jeg havde været filmkomiker eller lignende og aldrig havde hørt om fysik." (Kuhn, 1972, s. 107).

I denne kriseperiode, hvor reglerne for normalvidenskaben og dermed også paradigmet sløres, kan udviklingen gå i tre retninger (jvf. fig. 2.1.a). Normalvidenskaben løser problemerne, eller gemmer disse til senere generationer i forventning om, at løsningen vil findes en gang i fremtiden. I begge tilfælde vil det gamle paradigme bevares. Hvis teorien derimod bliver stadig mere klodset og uigenemskuelig pga. diverse ad hoc antagelser, vil nogle videnskabsmænd (oftest meget få) begynde at betvivle gyldigheden af det gældende paradigme. Nye paradigmateteorier vil følgelig begynde at spire frem.

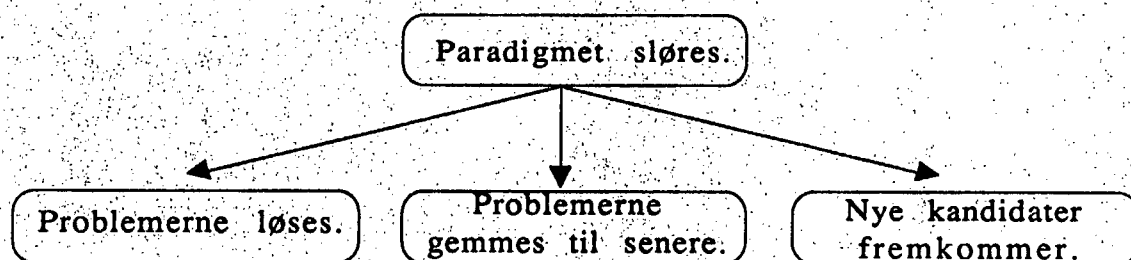


Fig 2.1.a: Mulige konsekvenser af et paradigmes svækkelse.

For det meste er det enkeltpersoner, der pludseligt aner et mønster i de mange uregelmæssigheder, ud fra hvilket, der kan opstilles et fundamentalt nyt paradigme. Kuhn fremhæver, at disse mennesker sædvanligvis er unge, nyuddannede forskere, der endnu ikke er stærkt forpligtede af normalvidenskabens traditioner.

Et paradigme forkastes aldrig før der eksisterer et alternativt forslag. Men hvorledes afgøres det, hvilket paradigme, der skal gå af med sejeren?? Når et nyt paradigme skal vurderes giver det ifølge Kuhn kun mening at sammenligne to konkurrerende, foreliggende teorier. Dog vil fortalene for de to paradigmer altid have visse kommunikationsproblemer. For det første har de forskellige videnskabelige traditioner og standarder, hvilket gør det overordentligt vanskeligt at diskutere eksperimentelle data og logiske

slutninger. Dernæst vil nye paradigmer ofte optage ord og begreber fra det gamle paradigme. MEN de lånte elementer tillægges nu en ny betydning, og er følgelig en sikker kilde til misforståelser skolerne imellem.

Da kommunikationen i den revolutionære fase er ufuldstændig, kan to forskellige skoler aldrig diskutere sig frem til et fælles grundlag. Et paradigmes gennembrud er derfor afhængigt af i hvor høj grad, det er i stand til at sikre sig det omgivende forskersamfunds tilslutning. Den enkelte skoles evne til at tale for sin sag bliver dermed altafgørende. Det er i denne fase, at selv tankeeksperimenter og filosofiske overvejelser inddrages i diskussionerne.

Det endelige valg er, ifølge Kuhn, baseret på paradigmets evne til at lede forskning af de aktuelle problemer. For at sejre må paradigmet vinde blot nogle enkelte menneskers tro, således at disse standhaftigt kan viderudvikle paradigmets essentielle argumenter. Herved vokser styrken og antallet af argumenter, flere videnskabsmænd overtales osv...Sluttelig er en hver modstand ulogisk eller uvidenskabelig - det ny paradigme har sejret.

To konkurrerende paradigmer repræsenterer to vidt forskellige og usammenlignelige måder at tænke og arbejde videnskabeligt på. Det er derfor meningsløst at sige, at det gamle paradigme er indeholdt i, eller et specialtilfælde, af det gamle paradigme. Ændringen af et paradigme er ikke en gradvis proces, hvor det gamle paradigme blot viderudvikles. Derimod er der tale om et brat, irrationelt spring, hvorved hele videnskabsmandens begrebsunivers ændres radikalt. Her benytter Kuhn analogien en politisk revolution: "Det viser sig, at valget mellem konkurrerende politiske institutioner er et valg mellem uforenelige former for samfundsliv." (Kuhn, 1972, s. 115)

Når den enkelte videnskabsmand skal omvendes, må det derfor nødvendigvis foregå som en pludselig ændring af hele hans verdensopfattelse. Selv om omvendelsen for den enkelte person er en brat hændelse, er den på det overordnede plan en langsommelig affære. De gamle "rotter" i faget vil ikke overtales. Max Planck har en rammende bemærkning om dette fænomen: "En ny videnskabelig sandhed sejrer ikke ved at overbevise sine modstandere og få dem til at se lyset, men snarere fordi dens modstandere efterhånden dør, og en ny generation vokser op, som er vant til den." (Kuhn, 1972, s. 163). Kuhn priser denne stivnakkethed, og påpeger at stædighed er en forudsætning for al' normalvidenskabelig forskning.

Værktøjskasse.

Når først det ny paradigme har vundet fodfæste, vil revolutionen synes usynlig, hvilket skyldes det billede, lærebøger, populariseringer og filosofiske arbejder danner af videnskaben. Normalvidenskabens pædagogiske midler skrives om for hver videnskabelige revolution, og skjuler derved uundgåeligt eksistensen af selve revolutionen. Ved at beskrive de mange landvindinger som en gradvis proces, og ved at benytte en vis portion bagklogskab, fremstilles historien uvilkårligt som en retlinet, målrettet udvikling.

Fremskridt ?

Efter et hvert paradigme-skifte vil videnskaben vokse i dybden - fagene specialiseres og faggrupperne underopdeles. For hver gang får vi en mere forfinet og detalieret forståelse af naturen, og samtidig giver de senere paradigmer stadig bedre praktiske redskaber. Kuhn ser denne arbejden sig væk fra utilstrækkelige paradigmer som videnskabens fremskridt.

Videnskabens fremskridt er ikke en tilnærmelse til den evige sandhed om naturen - intet mål er på forhånd givet: "Den udviklingsproces, der er beskrevet i dette esay, har været en udvikling fra primitive begyndelser - en proces hvis successive trin er karakteriseret af en stadig mere detalieret og forfinet forståelse af naturen. Men intet, der er blevet eller vil blive sagt, gør det til en udvikling mod noget." (Kuhn, 1972, s. 179). Kuhn sammenligner selv denne udviklingsteori med Darwinismen: Det paradigme forslag, der anviser den bedst egnede måde at drive videnskab på i fremtiden, overlever!

2.2 Peirce's videnskabsteori.

Den amerikanske filosof Charles Sanders Peirce (1839-1914) var oprindeligt uddannet kemiker fra Harvard Universitet i 1863. Herudover havde han dog dyb indsigt i flere andre naturvidenskaber, og arbejdede bl.a. som fysiker for den amerikanske kystopmåling, og opnåede stor eksperimentel forståelse ved udarbejdelsen af sindrigt apparatur til gravitationsmålinger. Han havde også en stor indsigt i filosofiens historie, og var i nogle år lektor i logik ved Johns Hopkins Universitetet.

Peirce udviklede fragmenter til en filosofi, som han beskrev, "som en fysikers forsøg på at gøre sådanne gætterier om universets opbygning, som videnskabens metoder kan tillade med hjælp af alt hvad tidligere filosoffer har skabt". (Stefanson,1982). Men han prøvede ikke at skabe et fikt og færdigt filosofisk system, fordi et sådant ville "blokere undersøgelsens vej". En filosofi må være dynamisk for at kunne fungere, og må til enhver tid suppleres med brugbare elementer fra andre områder. Således, at der skabes et bæredygtigt fundament, der kan udvides i det uendelige

Peirce's pragmatisme.

Peirce lagde med sin teori grunden til den amerikanske pragmatisme. Det grundlæggende kriterium for mening er, ifølge denne filosofi, de praktiske konsekvenser, som er knyttet til brugen af et begreb. Begrebet selv er altså en årsag, som kendetegnes gennem sine virkninger. Peirce opfatter praktiske konsekvenser, som de almene følger, der er virkningen af gentagne eksperimenter, som hele det videnskabelige samfund kan udføre.

Forståelsen af et begreb, er altså knyttet til iagttagelser af begrebets virkninger. Peirce skriver i 1878 : "I et nyligt udkommet, beundret arbejde om Analytisk Mekanik (af G.R. Kirchoff) siges det, at vi klart forstår kraftens virkninger, men hvad kraft i sig selv er, forstår vi ikke. Det er simpelthen en selvmodsigelse. Ideen som ordet kraft vækker i hvor forstand har ingen anden funktion end at påvirke vore handlinger, og disse handlinger kan ikke have nogen reference til kraft på anden måde end dens virkninger. Hvis vi ved hvad kraftens virkninger er, kender vi ethvert faktum som impliceres, når der siges, at en kraft eksisterer, og der er ikke noget mere at vide". (Gullvåg,1972).

Der kan ikke være forskel, hvis det ikke gør en forskel. Siger man at en kniv er hård, og at smørret er blødt, må man kunne konstatere at kniven kan skære i smørret og ikke omvendt. Eller hvis man hævder at "diamanten er hård", ja så betyder det, at man

ved at prøve at ridse i diamanten med en række andre stoffer, kan konstatere et der ikke kommer ridser i diamanten. Der er ingen forskel mellem en hård og blød ting, så længe de ikke sættes på en prøve.

Pragmatismen er, ifølge Peirce, en videnskabsteori, der søger at forklare videnskabens funktion i samfundet, samt videnskabelige begrebers betydning. Videnskaben er på denne måde, en metode til at fastholde tro. Tvivlen har i denne sammenhæng en gavnlig funktion, som igangsætter af en videnskabelig undersøgelse. Men tvivlen må kommes til livs via undersøgelsens resultater. Der er andre måder, end den videnskabelige, at fastholde tro på. For eksempel kan man som forsker i det videnskabelige samfund, være stædig eller lide af autoritetstro. Men disse metoder afviger stærkt fra den videnskabelige, netop fordi de ikke levner tvivlen plads i udviklingsprocessen. Som tresårig fremhæver Peirce et eksempel på, hvorledes hans egne teorier, har givet læseren mulighed for tvivl:

"I hele min levetid har jeg, så vidt jeg husker, kun en gang oplevet lovprisning, som var behagelig i sig selv og ikke på grund af, hvad den førte med sig. Behaget var saliggørende; og rosen, som bragte det, var ment som dadel. Det var en kritiker, som sagde om mig, at jeg ikke syntes at være fuldstændig sikker på mine egne konklusioner". (Stefanson,1982).

Den videnskabelige metode.

I en videnskabelig udvikling kan man benytte sig af tre generelle slutningsformer : abduktion, induktion og deduktion. Peirce mener, at de tre er indbyrdes forbundne og uadskillelige.

Slutningsformerne kan eksemplificeres på følgende måde :

Abduktion : Regel Alle bønnerne fra denne pose er hvide.
Iagttagelse Disse bønner er hvide.
Hypotese Disse bønner er fra denne pose.

Induktion : Hypotese Disse bønner er fra denne pose.
Iagttagelse Disse bønner er hvide.
Regel Alle bønnerne fra denne pose er hvide.

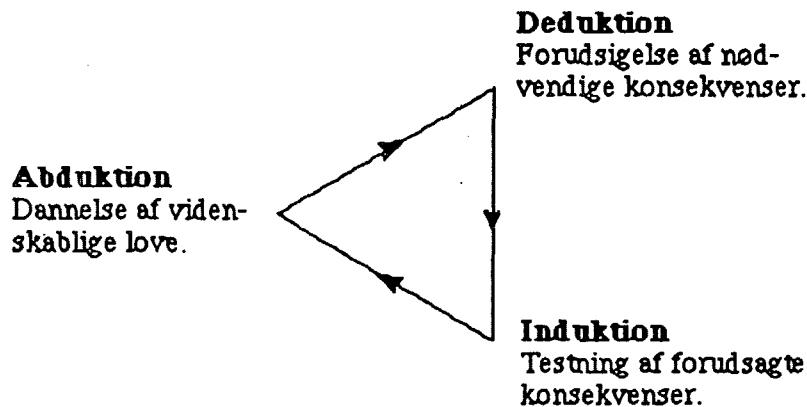
Deduktion : Regel Alle bønnerne fra denne pose er hvide.
Hypotese Disse bønner er fra denne pose.
Iagttagelse Disse bønner er hvide.

Deduktionens konklusion (iagttagelsen) er uproblematisk: hvis præmisserne er sande, må konklusionen også være det.

Værktøjskasse.

Med hensyn til induktionens konklusion (reglen), kan denne kun vurderes som følge af statistiske prøveudtagelser : Hvis observerede bønner kommer fra denne pose og er hvide, så kan man antage at ikke-observerede bønner i posen også er hvide. Induktionen hjælper os altså fra specifikke iagttagelser til generelle udsagn, ved brug af statistik. Abduktionens konklusion (hypotesen) er derimod en ikke-iagttaget begivenhed, og danner på denne måde ny information.

Den indbyrdes sammenhæng mellem de tre slutningsformer ses bl.a. ved, at deduktionen knytter en tidligere regel fra en induktion, sammen med en hypotese fundet gennem abduktion. Abduktionen sætter til gengæld betingelserne for deduktionen, samt for hvad der skal undersøges af induktionen. Nedenstående tegning skal blot illustrere de tre slutningsformers afhængighed, og anskueliggøre at de tilsammen udgør et hele, der ikke kan reduceres.



Figur 2.2..a Kontinuert brug af de tre slutningsformer giver den videnskabelige metode.

Når de tre slutningsformer kombineres til en kontinuert proces af ræsonnementer, er den videnskabelige undersøgelse etableret. Abduktionen skaber overraskelsen, deduktionen etablerer en regel, og induktionen producerer en vane for, hvad vi mener er rigtigt. For eksempel: Hvis abduktionen hævder at "disse bønner er fra denne pose", så er det deduktionens opgave at etablere de nødvendige konsekvenser af denne hypotese: "Alle bønner i denne pose er hvide". Det er så induktionens opgave at afprøve de forudsagte følger, ved hjælp af observation: "Er alle bønnerne virkelig hvide?"

Et andet eksempel kunne være: "Vi iagttager fosiller af fisk på land. Vi har en regel, der siger, at fisk nu engang lever i vand. Vi opstiller en hypotese, der siger, at der engang har været hav, hvor der nu er land." Vi har her, via abduktion, fået skabt ny

Værktøjskasse.

information. Men abduktionen kræver imidlertid, at man kan løse sig fra gængse forestillinger om rigtigt og forkert, og tør komme med et kvalificeret gæt.

I den videnskabelige undersøgelse agerer deduktionen en slags styringsfunktion: den opsporer de nødvendige eller sandsynlige konsekvenser, som følger en accept af en opstillet hypotese. Induktive eksperimenter tester følgerne af konsekvenserne. På denne måde vil det være "økonomisk" at starte med de mest usandsynlige følger, fordi et enkelt eksperiment fuldstændigt kan tilbagevise selv den mest værdifulde hypotese. Modsat må en hypotese være af en ubetydelig natur, hvis et enkelt eksperiment kan være nok til at fastslå denne hypotese. Hvis man derimod finder, at den ene forudsagte konsekvens efter den anden bekræftes eksperimentelt, begynder hypotesen at fremstå som et videnskabeligt resultat.

Peirces metodiske råd med hensyn til induktionen: "Det er klogest at starte med de mindst sandsynlige forsøg", er analogt til Poppers falsifikationsbegreb, som blev introduceret sidst i 1960'erne. Også her har Peirce altså været forud for sin tid.

Deduktionen relaterer sig kun til en ideal tilstand, for eksempel præsenteret af hypotesen. Deduktionen er nødvendig, idet den hjælper os til at bestemme, hvilke forsøg der kan afgøre hypotesens rigtighed. Induktionen på den anden side, retfærdiggøres af dens konklusioner. Dette skyldes, at konklusionerne nås via en metode, der, i det lange løb, efter gentagne afprøvninger, må lede til sand erkendelse. Deduktionen kan ikke gøre krav på dette, fordi den kun afstikker de ideelle konsekvenser af hypotesen.
(CP,7.205-7.207)*

For at en videnskab overhovedet skal kunne udvikle sig, må man, ifølge Peirce, benytte sig af induktion og specielt abduktion. Kun herved dannes ny information. Man må, for at komme videre i en videnskabelig udvikling, benytte antagelser, som man har tillid til - som man intuitivt har fornemmelse for er rigtige. Ubevidste logiske slutninger i vores sind (perceptioner) svarer til abduktioner. Så i metafysisk forstand ligger abduktionen til grund for alle slutninger.

Peirce antyder en biologisk forklaring på, at vi, i den begrænsede tid vi har dyrket videnskab, tilsyneladende har været i stand til at finde nogle sande naturlove blandt millioner af tænkelige hypoteser. Tidsrummet er for lille til, at de videnskabelige

* Fra Bertilsson, 1978.

Værktøjskasse.

fremskridt kan forklares ved tilfældighed. Her er ikke blot tale om "trial and error". Peirce mener derimod, at vi har et slags instinkt for at finde rigtige hypoteser. Dette er ikke bare en gave fra himlen, men et anlæg der er udviklet i kampen for tilværelsen. Således skriver Peirce i 1891: "Da vort sind er formet under indflydelse af fænomener, som er styret af mekanikkens love, bliver visse begreber, som indgår i disse love, implanteret i sindet, således at vi nemt gætter, hvad lovene er. Uden sådanne naturlige stikord måtte vi søge i blinde efter en lov, som ville passe til fænomenerne, og vores chance for at finde den ville være som en til uendelig." (Christiansen, CSP2, 1988). Videnskabens succes er med andre ord biologisk funderet. Vi er alle produkter af naturen.

Som tidligere nævnt mener Peirce, at man altid må være parat til at korrigere og endog forkaste tidligere accepterede videnskabelige hypoteser. På den måde vil den videnskabelige undersøgelse blive selvkorrigerende. Derimod "blokerer man undersøgelsens vej" ved at hævde, at noget har fundet sin sidste og endegyldige formulering. Ifølge Peirce er vores opnåede viden derfor altid erfaringsmæssig og foreløbig. Vores videns konstant tilpasning til sandheden er helt på linie med biologiske skabningers tilpasning til naturen, som beskrevet i Darwins evolutionslære. Bertilsson skriver eksempelvis: "Peirce is, as one can see, writing in a period after Charles Darwin and the theory of natural selection. The idea of a nature that continually produces deviations, some of which are capable of becoming habitual events - to take the shape of 'species' - is built into his philosophy." (Bertilsson, 1978).

Peirce's sandhedsbegreb.

Peirce går ud fra, at vi mener, at der findes en sandhed som vi kan opdage. I modsat fald ville man ikke føle "utilfredshed" med to modstridende påstande. Det er bl.a. denne "utilfredshed" ved beskrivelsen af fænomener, som er drivkraften for videnskabsfolk. Man håber gennem den videnskabelige undersøgelse at komme "utilfredsheden" til livs.

Et andet grundlæggende incitament for at søge sandheden, er ifølge Peirce, et ønske om at forbedre verden. Men bag dette etiske motiv, at forskningen skal tjene et godt formål, ligger det mest grundlæggende værdisæt: det æstetiske. Peirce mener altså, at vi lader os styre af det "vi godt kan lide", forstået i bredeste forstand. Vi "kan godt lide" at se sammenhæng i naturlige fænomener og forklare disse videnskabeligt, da det giver os en vis tilfredsstillelse.

Værktøjskasse.

Peirce definerer selv sandheden således: "Truth is that concordance of an abstract statement with the ideal limit towards which endless investigation would tend to bring scientific belief." (CP vol.5.565)*

For Peirce er sandheden altså en retning, som vi styrer efter, snarere end et opnåeligt punkt. Gennem generationers forskning, kan vi håbe på, at vi konvergerer mod denne retning. At finde sandheder er altså ikke et "one man show", men derimod en kollektiv proces, der kræver udveksling af erfaringer og ideer. Eller med Peirces egne ord: "The man who begins the inquiry does not expect to learn, in this life, what conclusions it is to which his labors are tending. Strictly speaking the inquiry never will be completely closed. The object of logical method is to bring out more speedily and at less expence the result which is destined, in any case, ultimately to be reached, but which even with the best logic, will not probably come in our day." (CP, vol.7.185)*

I dette afsnit vil vi afslutningsvis komme med et citat, der viser Peirce's skriftssprog fra den mere knudrede side: "Every truth which will prevent a future fact of perception from surprising us, which will give the means of predicting it, or the means of conditionally predicting what would be perceived were anybody to be in a situation to perceive it, this it is beyond doubt, that which science values". (CP, vol.7.186)*

Tilfældighedens nødvendighed.

I en artikel fra 1892 kaldet "Doctrine of necessity examined" gør Peirce op med det, man kalder for nødvendighedens doktrin. Nødvendighedens doktrin hævder, at alle kendsgerninger følger eksakte love. Ideen om absolut determinisme kan føres helt tilbage til Demokrit, men var også almindelig accepteret af Peirce's samtid. Han afviser deterministiske teorier til fordel for en antagelse om, at der er absolut tilfældighed i universet. Med absolut tilfældighed mener Peirce virkelig objektiv ubestemthed i naturen, i modsætning til en ubestemthed som bare beror på vores uvidenhed. Denne teori kalder Peirce for tychisme.

Fysikken kan, gennem videnskabelig undersøgelse, beskrive verden med eksakte naturlove. Men Peirce påpeger, at det vil være fejlagtigt at tro, at verden nødvendigvis følger disse love. Der vil altid være små afvigelser fra opstillede lovmæssigheder, fluktuationer, som man må tilskrive tilfældigheder. Selv om man

* Citret fra Bertilsson, 1978.

har elimineret alle tænkelige systematiske målefejl, vil man stadig kunne iagttage disse små afvigelser. Peirces skriver: "Desuden er varietet et faktum, som må anerkendes, og tilfældighedsteorien indeholder blot antagelsen om, at denne diversifikation ikke er sket før tidens begyndelse. Ydermere er undgåelsen af hypoteser, som involverer årsager, der ikke positivt vides at virke, kun en logisk anbefaling, ikke en positiv kommando. Den kan ikke formuleres i nogen præcise termer uden straks at afsløre sin uholdbare karakter, d.v.s. som en ubøjelig regel, for som en anbefaling er den sund nok." (Christiansen, CSP2, 1988). Peirce anbefaler altså, at man så vidt muligt undgår brugen af hypoteser, der ikke lader sig direkte erfare. Men dette er blot en anbefaling - og ikke, som positivisterne ville hævde, en uomtvistelig regel.

Nødvendighedens doktrin hævder, at givet hele universets tilstand til et givent tidspunkt, og givet visse eksakte, uforanderlige love, kan universets tilstand til enhver anden tid bestemmes. I yderste konsekvens betyder dette, at vi ikke har en fri vilje, fordi sindet er underlagt mekanikkens love. Det er disse principper, der kendetegner nødvendighedens doktrin og den mekaniske filosofi. Overfor denne absurde doktrin, opstiller Peirce tychismen. Ifølge denne doktrin er den spontane tilfældighed det styrende princip for enhver udvikling.



- Tilfældigheder eksisterer ikke, husk det, hvis De tilfældigt skulle støde på en!

2.3 Brugen af videnskabsteoretiske begreber/modeller.

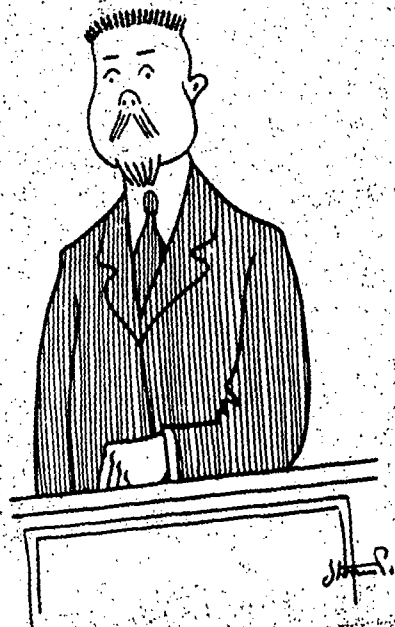
Efter gennemgangen af henholdsvis Kuhns og Peirces videnskabsteori, skal det nu skitseres, hvorledes de introducerede begreber og modeller benyttes igennem projektet.

Værktøjskasse.

Kuhns begrebsapparat tjener som retningslinie for beskrivelsen af den videnskabelige udvikling. Vha. begreber så som faglig matrix, normalvidenskab og revolutionær fase søger vi at danne os et større overblik over de faktorer, der spiller ind i udviklingen af kvantemekaniske paradigme. Da vi i vores beskrivelse har valgt at fokusere på selve brydningen mellem to paradigmer, vil vi primært søge at identificere de, for den revolutionære fase, karakteristiske begivenheder. Kuhns videnskabsteori er altså for os en slags "huskeliste" og har til formål at lette og systematisere undersøgelsen af den mekaniske fysiks utilstrækkelighed.

Fra Peirce henter og benytter vi først og fremmest begreberne deduktion, induktion og abduction. Ved at skelne mellem disse 3 slutningsformer håber vi at kunne skabe en større indsigt i og forståelse for den videnskabelige metode i en brydningsfase. Derudover udvikler Peirce, som tidligere nævnt, sin videnskabsteori samtidig med kvantemekanikkens frembrud. Peirces ideer og tanker kan dog under ingen omstændigheder betegnes som tidstypiske, men kan i stedet betragtes som et udtryk for tidens nye strømninger inden for såvel fysikken som filosofien. Ud fra den betragtning vil vi specielt gøre brug af Peirces kontroversielle syn på og diskussion af emnerne: determinisme, tychisme og videnskabens værdier.

I de enkelte cases benyttes således en kombination af de to videnskabsteorier. Det skal i denne sammenhæng bemærkes, at vægtningen af de to teorier varierer en del fra case til case, idet de enkelte begrebers og definitioners anvendelighed afhænger meget af den givne problemstilling.



- Ja, mine tilhørere - havde han levet i vore dage, ville han have vakt umådelig opsigt, men han endte sit liv ukendt og ensom - så han var jo på en måde en lykkelig mand.

Kapitel 3

Historisk baggrund og valg af cases.

I dette kapitel vil vi give en kort historisk oversigt over videnskabens og videnskabsteoriens udvikling frem til slutningen af forrige århundrede. Hermed ønsker vi at give en alsidig baggrund for forståelsen af videnskabens overordnede filosofiske problemer på denne tid.

Den historiske fremstilling er på sin vis overfladisk, men tre hovedemner vil blive behandlet nøjere. Det gælder: spørgsmålet om begrebernes eksistens uafhængigt af individet, spørgsmålet om hvorvidt verden er deterministisk og udviklingen af logikken.

Disse tre emner danner samtidig rammen om de filosofiske diskussioner, der leder til selve paradigmeskiftet. Da diskussionerne på ingen måde er af ny dato, har vi følt det nødvendigt at give læseren en ide om, hvad der er gået forud for disse stridigheder. Specielt med henblik på at øge forståelsen for de, i metafysikken, store kommunikationsproblemer, under udviklingen af det nye paradigme. Til sidst i kapitlet vil de valgte cases blive introduceret.

3.1 Udviklingen af det videnskabelige miljø frem til slutningen af 1800-tallet.

Når man taler om den klassiske fysik, mener man som regel den fysiske tradition, som blev grundlagt i det 17. århundrede. Før den klassiske fysik beskrives, vil vi dog komme med en kortfattet historisk opsummering af hvorledes denne fysik opstod.

Den europæiske fysiktradition stammer formentlig fra Egypten og Mellemøsten, som en reproduktiv videnskab baseret på empirisk erfaring, mens grækerne udviklede en kumulativ teoretisk videnskab, som formentlig overvejende byggede på abstrakt tænkning. Til dyrkelsen af abstrakt videnskab udviklede grækerne

matematikken og logikken. Da kraftcenteret i middelhavsområdet flyttede til Rom, overgik fysikken igen til at være en reproduktiv videnskab; det vil sige, at de gamle klassiske værker blev lært om og om igen, og ny viden hovedsagelig koncentrerede sig om at løse konkrete opgaver af ingeniørmæssig karakter, mens det var småt med ny erkendelse.

Omkring 800-tallet opstod skolastikken af denne lidt dvælende form for videnskab. Skolastikken blev sandsynligvis grundlagt af Johannes Scotus af Erigena (ca. 810-877) fra Irland. Han ville, inspireret af ny-platonismen, skabe overensstemmelse mellem den rationelle tænkning, som findes hos Platon og den tro, der forkyndes i Bibelen. Johannes inddeler naturen i 4 verdener:

1. Det skabende, men ikke skabte - altså Gud. Gud er naturens inderste væsen, som gennemstrømmer alt (Panteisme). Om Gud selv har vi intet begreb, han er ophøjet over vor tanke- og fatteevne, men mennesket er, som alle andre skabninger, hans åbenbaring, kød af hans ord (Teofani) (Thomsen,1964). Med andre ord er Gud et begreb, og eksisterer som et øverste universal.
2. Det skabende og tillige skabte - altså ideerne (Thomsen,1964). Det vil sige, at begreberne eller universalierne er reelt eksisterende i denne verden, og skaber materien, i overensstemmelse med 1. Mosebog: "I begyndelsen var ordet.." og Platons "hulebillede", hvor universalierne i den transcendentale verden kaster skygger ned til slaverne i den materielle verden.
3. Det ikke skabende, der selv er skabt - altså materien. Det er verden som den fremtræder for vores øjne uden selv at skabe noget, eller bidrage med noget til vores forståelse af det set.
4. Det hverken skabende eller skabte - altså alle tings sidste formål, eller mere præcist reemanation tilbage til det himmelske (Thomsen,1964). Det vil sige, at vende tilbage til Gud?

Med andre ord er Johannes Scotus begrebsrealist eller bare realist, og mener at verdenens fremtrædelse skyldes universaliernes eksistens, og at tingene i sig selv ikke bidrager med noget selvstændigt til fremtrædelsen. Dette giver anledning til to store diskussioner i skolastikken: Universaliestriden, som handlede om begrebernes status, samt striden om den frie vilje. Der opstod således i løbet af skolastikken mindst to andre skoler foruden realismen: nominalismen og konceptualismen.(Jvf. fig.3.1.a)

Historisk baggrund og valg af cases.

år:	realisme:	konceptualisme:	nominalisme:
800	Johannes Scotus		
900			
1000			Roscelin
1100		Abeilard	
1200	Thomas af Aquino Duns Scotus		
1300			William af Occam

Figur 3.1.a viser de nævnte tænkere, indenfor de forskellige filosofiske retninger. I moderne tid udvikler realismen sig til idealisme, og nominalismen bliver til empirisme og positivisme.

Den franske filosof Jean Roscelin (Roscellius ca. 1050-1122) bliver nok den første, som kommer med en indvending mod realismen, og grundlægger dermed nominalismen (af nomen = navn). Han er talsmand for, at materien eller fremtrædelsen af tingene ligger foran mennesket. Mennesket som individ (her Particularia, egentlig enkelt genstand) eksisterer før begrebet menneske. Begrebet menneske derimod, eksisterer ikke selvstændigt, men kun i kraft af at indeholde Particularia. Selve ordet er "Vocis flutus" (et pust af stemmen), altså et tomt begreb, men er operativt, således at man kan sammenligne forskellige ting og skelne dem fra hinanden. Tre-enheden er altså er meningsløst begreb. Faderen, Sønnen og Helligånden kan kun fremstå som individer (Thomsen,1964). "Man skal med andre ord undgå at udstøde lyde, i håb om at fremtiden vil tillægge dem mening" (frit efter Russel,Hein,1977)

Det var naturligvis ikke populært at sige, at der var noget før ordet, da dette er i klar modstrid med Bibelen. En af Roscelins elever, franskmanden Pier Abeilard (1079-1142), forsøgte da også at tilnærme Roscelins ideer til realismen, og grundlagde hermed konceptualismen (af conceptus = begreb). I følge Abeilard eksisterer begreberne, før skabelsen af particularia, i Guds tanke, for under skabelsen at blive "optaget" i Particularia. Gennem tankemæssig abstraktion kan begreberne frigøres fra particularia (Thomsen,1964). Man skal altså lære at genkende et individ som menneske, i lighed med at genkende et individ som Svend, Knud eller Valdemar. Begrebet menneske kan altså kun eksisterer i tanken, som en løsrivelse af fællestræk ved alle mennesker.

Desuden er Abeilard den første, som, i værket "Sic et non" (Ja og nej), gør opmærksom på forskellen mellem logiske sætninger og

trossætninger. Til enhver logisk sætning hører dens modsætning, men dette er ikke nødvendigvis tilfældet med trossætninger. At Gud eksisterer kan let tilbagevises med, at Gud ikke eksisterer. Det er med andre ord umuligt at efterprøve påstanden ved analyse af sætningen og dens modsætning, eller for den sags skyld; efterprøve dem mod en empiri. Dette gør trossætninger til usikre slutninger. (Thomsen, 1964).

Udviklingen i tankerne hos Roscelin og Abeilard er gået i retning af Aristoteles' tanker, men ingen af dem, har formodentlig kendt til Aristoteles. Det gjorde tilgængelig den italienske realist Thomas af Aquino * (Thomas Aquinas eller Sankt Thomas 1225-1274), som indfører den aristotelanske logik i den brede debat. Han begynder for alvor at skelne mellem forskellige slutningsformer, og opstiller ikke mindre end 4 ** forskellige Gudsbeviser:

Det ontologiske Bevis: a) Gud er det fuldkomne væsen. b) Til det fuldkomne væsen hører også eksistens. c) ergo: Gud eksisterer. (Hvis $\#a=\#b$ og $\#b=\#c$ så er $\#a=\#c$.) (Thomsen, 1964).

Det Teologiske Bevis (af thelos=formål): Alt i naturen er hensigtsmæssigt indrettet, hele verdensforløbet er lovbundet og formålsbestemt. Dette kan ikke være blinde og hensigtsløse kræfters spil, men må være en bevidst skabende ånd eller intelligens: Gud. (Thomsen, 1964).

Første mekaniske Bevis: Alt, som bevæges må enten bevæge sig selv eller blive bevæget af noget andet. Hvis det bevæges af noget andet, må dette igen enten selv være bevæget eller have sin bevægelse fra noget tredje o.s.v.. Til syvende og sidst må der være en første bevæger (Primus motor), der ikke selv er bevæget: Gud. (Thomsen, 1964).

Andet mekaniske Bevis: Den begivenhed, som jeg iagttager nu, må være forårsaget af en forudgående igen o.s.v. Langt tilbage må findes en første årsag (Prima Causa): Gud. (Thomsen, 1964).

Thomas mener i lighed med Abeilard, at vi ekstraherer det almene fra det konkrete, eller "formen frigøres fra stoffet" (Thomsen, 1964), eller som vi ville sige idag: tingen er summen af dens egenskaber.

* Han udmærker sig blandt andet fra de andre skolastikere, som vi behandler her, derved at han bliver kanoniseret, og undgår altså at blive bortvist fra kirken, dømt som kætter eller, som en behagelig variant, at blive tvangskastreret.

** Egentlig opstiller han 5, men det femte handler om skiften mellem eksistens og ikke eksistens, og er uinteressant i denne sammenhæng.

Thomas gør sig således, med det teologiske og de mekaniske Gudsbeviser, til talsmand for, at Gud har skabt verden på 7 dage, og at universet herefter udvikler sig strengt lovmæssigt og deterministisk.

Thomas' ideer afløses af britten Johannes Duns Scotus (1265-1308), som Peirce i stor grad støtter sig til i universaliestriden. (Christiansen,1988). Duns Scotus mente ligesom sine umiddelbare forgængere, at universalierne var iboende i tingene (immanente), men adskiller sig fra Thomas ved at opfatte Gud, som viljen frem for fornuften. Hans argumentation er måske nok lidt gammeldags: "Da vi alle er Guds børn, må også vor egen bevidstheds grundvæsen være "Viljen". I forhold hertil er fornuften blot vejleder, den skal oplyse viljens vej og sige os, hvad vi skal, og hvad vi skal lade være med. Det gode er det, Gud vil (og ikke omvendt: Gud vil, at det gode skal ske), og til at gøre det gode har vi vor frie vilje. At hævde viljens afmagt ville være at gøre synd, skyld og ansvar meningsløse." (Thomsen,1964).

Den tyske fysiker Max Planck har moderniseret dette synspunkt til: "Energien går ikke fra det varme mod det kolde. Energien vil gå fra det varme til det kolde. Der er altså ikke noget i vejen for, at energien kan gå fra det kolde til det varme, men det er en slags vilje hos naturen, der bestemmer energistrømmens retning." (Planck,1932). I Planck's eksempel optræder tilfældige molekylarbevægelser ikke; der må være et formål med verden.

Efter skolastikkens fald kommer begrebsrealismen til at præge den kontinentale filosofi, og udvikler sig til moderne idealisme. Englænderne derimod bliver præget af nominalismen, som udvikler sig til empirisme og positivisme (Christiansen,1988). Dette kan skyldes, at den måske sidste virkelig store skolastiker englænderen William af Occam (ca. 1270-1349), som var elev af Duns Scotus, var nominalist. Han er blandt andet kendt for begrebet "Occams ragekniv".

"Occams ragekniv" går ud på, at man skal skære alle unødvendige antagelser væk, og kun beholde de mest nødvendige. Med sin ragekniv i hånden laver han nok den første adskillelse mellem tro og videnskab. Trossætninger er autoritative sætninger, som der ikke skal gives logiske beviser for, men alene skal tros. "Credo, quia absurdum" (Jeg tror, fordi det er absurd.) På samme måde skal videnskabelige sætninger ikke bygge på trossætninger (Thomsen,1964).

Historisk baggrund og valg af cases.

Skolastikken fortsatte helt frem til det 16. århundrede. Det er populært at udtale sig om, hvem der egentlig brød med skolastikken, men det er vist en smagssag. Under alle omstændigheder opstår der en generel strømning i tiden, hvor man går bort fra at læse sig til, hvordan verden er indrettet, til at se hvordan verden er indrettet. Der bliver med andre ord sæt tvivl om de klassiske værkers rigtighed.

En af de første, som var med til at bryde med skolastikken var Leonardo da Vinci (1452 - 1519). Han begyndte, som en af de første, at male hvad han iagttog, for bedre at kunne iagttage det han så. Billedet "Mona Lisa" er et storslået eksempel herpå. Han mente at lærdommen var indeholdt i hin storartede bog, der stedse ligger åben for vore øjne: verdensaltet. Den der i en diskussion henviser til en autoritet, bruger ikke sin forstand, men kun sin hukommelse. I stedet må vor viden bygge på god erfaring, den fejler aldrig, kun vores bedømmelse af den. Om naturen mener han, at den over alt følger den simpleste vej. Er der to eller flere muligheder, vælger naturen selv den korteste, den gør ingen overflødige spring (*natura non facit saltus*). Da Vincis filosofiske tanker får ikke særlig stor indflydelse uden for malerkunsten, selv om denne del var en meget lille del af hans samlede virke. Dette skyldes nok dels, at han sjældent nåede at afslutte sine arbejder, og dels at han sandsynligvis måtte gemme sine ideer for inkquisitionen.

Da Copernicus i 1543 officielt udgiver sin bog om "Himmelleger-nes bevægelser", hvori han argumenterer for at Solen er en partikel som bevæger sig frit i universet, og planeterne herunder Jorden bevæger sig i cirkler rundt om Solen, bliver der for alvor rykket ved skolastikkens patent på den eviggyldige sandhed. Kirken forsøger i første omgang at slå Copernicus hen med, at hans ideer, skulle betragtes som et matematisk digt, som var fri fantasi og intet havde at gøre med virkeligheden. På trods af den store modstand fra kirken og hermed fra inkquisitionen blev der alligevel rokket ved noget meget væsentligt i vor verdensopfattelse.

Empiristen Francis Bacon (1561-1626) gav en sønderlemmende kritik af skolastikken, hvis hovedpunkter var delt op i fire idealer:

- 1) Tendensen til at tillægge naturen en mening, et mål. (*Idola tribus*).
- 2) Tendensen til ikke at gøre sig sin rolle som observatør klar (*Idola specus*).

- 3) Tendensen til at bruge sproget uspecifikt, uklart. Ikke at definere de enkelte termer klart (*Idola fori*).
- 4) Tendensen til blindt at tro på overleverede teorier og fordomme (*Idola theatri*).

Desuden brød Bacon med den aristotelanske logiske metode (*Organum*), som gik ud på at dele en sætning op i mindre dele ved deduktion (analyse), indtil der kun er selvindlysende (*iso ipso*) sætninger tilbage. I stedet skabte Bacon "*Novum Organum*", hvor man starter med *iso ipso* sætninger eller empiriske data, for at deducere fra disse. Francis Bacon mente, som da Vinci, at verden lå foran ham som Guds Bog. Men bogen var skrevet i et matematisk sprog, og kunne derfor ikke læses, uden at man først lærte at læse de matematiske symboler, som bogen indeholdt. Til at håndtere dette verdensbillede, genindførte Bacon logikken som objektiv slutningsform i tråd med Aristoteles.

Da Bacon dør "overtager" René Descartes (1569 - 1650) hans rolle som skolastikkens væsentligste kritiker, og grundlægger skepticismen. Descartes benytter tvivlen som "våben" ; jeg tænker, altså er jeg til, men resten må jeg tvivle på. Bacon opfattede begreberne som transcendentalt eksisterende og som eksisterende uafhængigt af vores tanker. Dette adskiller Bacon fra Descartes, idet Descartes mener, at begreberne kun eksistere inde i vores hoveder, og ikke blander sig med materien uden for.

Som vi har antydnet, fremkommer en række nye værdier for verdens indretning i løbet af det 17. århundrede, uden at det er muligt, at kalde det et egentligt paradigme, fordi de forskellige "skoler" stadig kun har de gamle græske filosoffer, som fælles grundlag. Det er først da Newton får "løst" problemerne omkring bevægelses-lovene i sine to store værker "*Principia*" og "*Optics*" fra omkring århundredeskiftet, at man igen kan tale om en egentlig fælles reference for videnskaben.

Kort fortalt konkluderer Newton, at alting består af atomer, der bevæger sig i absolut rum og tid. Hvilket vil sige, at såvel tid som rum er veldefinerede størrelser. (I modsætning til Einstein, der viser, at begge dele er relative.) Ud fra Newtons bevægelseslove var det principielt muligt at udlede alle fysiske love, gældende i universet. Dette skulle betyde, at hvis man kender et systems tilstand til en bestemt tid, skulle man kunne forudsige både hvorledes det havde udviklet sig, og hvorledes det ville udvikle sig; noget som allerede Demokrit havde implicit i sit verdenssyn. Om han selv har ment ligeså, er dog tvivlsomt.

Historisk baggrund og valg af cases.

Determinismens synspunkt formulere Laplace til et paradigme, også kendt som Laplaces dæmon: Vi skal forestille os en intelligens, som til en bestemt tid får kendskab til hvorledes, alle legemers beliggenhed og hastighed i universet er og ud fra bevægelses lovene skulle kunne beregne, hvorledes universet ville udvikle sig. Laplace mener, at alle vores bestræbelser i forskningen går ud på, i stadig stigende grad, at nærme sig Laplaces dæmon.

Specielt Laplaces determinismeprincip hører nok til ekstremerne, inden for den klassiske fysiks verdensbillede. Langt de fleste har vel nok ment, at der måtte være plads til en almægtig Gud, som kan gribe ind i dette mekaniske "verdensur" med et raskt lille mirakel. Således blev Newton kort efter udgivelsen af "Optics" angrebet af den tyske jurist og filosof Leibniz, som hævdede, at en intelligens lig Laplaces dæmon måtte være ubegrænset stor og dermed være Gud selv. Intet andet end Gud ville være i stand til at rumme så megen information.

I det hele taget er diskussionen mellem Leibniz og Clarck, en af Newtons disciple, meget interessant, idet den bærer præg af en manglende fælles reference, og derfor får rørt ved flere centrale punkter i den klassiske fysik. Et af disse punkter er forskellen i Newtons og Leibniz' opfattelse af nødvendighedens doktrin. Under diskussionen med Clarck fremfører Leibniz det synspunkt, at rummet nødvendigvis må have 3 dimensioner; i betydningen at det kræver mindst tre dimensioner, at beskrive verden. At Leibniz overhovedet kan komme med en sådan udtalelse, skyldes muligvis hans problemer med at løse den sfæriske geometri (Rescher, 1979). Newton, som selvfølgelig kun kender til Euklidsk geometri, protestere og fremhæver, at når rummet nødvendigvis har tre dimensioner, er det fordi rummet har netop tre dimensioner. Hverken mere eller mindre. Der er altså to forskellige måder at opfatte "nødvendighed" på, hvilket giver kommunikationsproblemer. Diskussionen mellem Clarck og Leibniz bliver desværre brat afbrudt, da Leibniz dør i 1721, og mange af problemerne henlægges til senere diskussion. Faktisk bliver de fleste først genoptaget i forbindelse med udviklingen af kvantemekanikken.

En af de vigtigste teorier, Leibniz udviklede, var "monadologien", som blandt andet indeholder udtalelsen om, at vi lever i den bedste af alle verdener. Med "den bedste af alle verdener" mener Leibniz udtrykkelig ikke den bedste for den enkelte. Den bedste verden er en verden med størst mulig tilfældighed, men som dog alligevel kan beskrives med simple hypoteser. Altså; hvis alting var deterministisk ville der kun findes dødt stof, og hvis alt var kaotisk tilfældighed ville alting flyde ud, og der var ingen faste strukturer.

Han indfører nogle monader, som er infinitesimale i størrelse og uden form. Disse udgør et samlet kaos* , eller en præetablert harmoni, som ikke følger nogen regelmæssighed, og som til syvende og sidst udgør prima causa. Det er dog alligevel muligt at finde regelmæssighed i dette infinitesimale kaos, idet monaderne samler sig i aggregater, som udgør genstandene i en endelig verden. Disse følger med en hvis tilnærmelse fysiske love. Leibniz' teorier er meget spekulative og meget lidt praktisk anvendelige, hvilket sandsynligvis er hovedårsagen til, at det bliver Newtons deterministiske princip, som slår igennem. Hans oprindelige slagkraft bliver dog hurtigt svækket, da Huygens fremkommer med sin bølgeteori for lyset. Men bevægelseslovene får ekstra slagkraft, da franskmændene Leonhard Euler og Jean D'Alembert formulerer dem algebraisk i et mere generelt notationssystem.

I begyndelsen af 1800-tallet sker der store fremskridt inden for fysikken og flere nye forskningsområder ser dagens lys. Heriblandt termo- og elektrodynamikken. Dette betyder, at hvor man før kun havde et sæt bevægelses- eller forandrings-love, fik man nu mange ligestillede bevægelseslove, og situationen krævede, jævnfør Kuhn, at det fysiske miljø måtte udvikle videnskabsfilosofien, for at håndtere denne nye situation. Videnskabsfilosofien blev i slutningen af 1800-tallet til det, vi kalder den logiske empirisme og senere til positivisme.

Den tyske fysiker Ernst Mach viderudvikler det synspunkt, vi kalder den logiske empirisme. Grundsynspunktet i den Machske "filosofi" er, at man skal befri sig fra alle fordomme for at se verden, som den virkelig ser ud. Det vil sige, at man kun skal udtale sig om hvorledes de sansedata, den ydre verden giver os, ser ud; enhver udtalelse om, hvordan tingene i virkeligheden er, vil kun være metafysik. Dvs. en spekulativ og meningsløs udtalelse, som hverken vil kunne eftervises eller modbevises ved objektive empiriske sansedata. Med andre ord er tingene summen af de egenskaber, som vi kan iagttage.

I følge den Machske filosofi er en udtalelse, om at Gud eksisterer, altså hverken sand eller falsk, men meningsløs. Ligeledes er Mach udemærket klar over, at svar som "42" eller "elektroner", også er meningsløse, hvis man ikke kender spørgsmålet. Hvad enten dette er verbalt eller i form af en forsøgsopstilling. Derfor opfatter de logiske empirister protokolsætninger - sætninger, hvis sandhed ikke kan betvivles - som et ideal for formulering. Vha. protokolsætninger bør et forsøg nøjagtigt kunne beskrives, således at det kan gentages,

* Det er Einstein, der anvender dette billede til at beskrive Leibniz's teori.

Historisk baggrund og valg af cases.

og således at man nøjagtigt ved, hvorledes svaret er frembragt. På denne måde kan man stille spørgsmål, og få svar, som er objektive og uafhængige af sprogets tvetydigheder.

I den Machske filosofi må man delvist opgive at opnå Laplaces dæmon. Dette skyldes, at man ikke må have fordomme, og at alle naturlove derfor i sidste ende skal induceres, hvilket bevirker, at lovene kun er statistisk underbyggede. Det er meningsløst at sige, at et bestemt æble på træet vil falde til jorden, før nogen har set det falde. Men har man forinden set tilstrækkeligt mange æbler, som hver gang er faldet til jorden, kan man sige, at der er en meget lille sandsynlighed for, at det næste æble ikke falder til jorden; men muligheden for at man faktisk en dag ser et æble, som bliver frastødt af jordens tyngdekraft, kan man aldrig helt fjerne.

Denne videnskabsopfattelse gør Mach til en af de første, som interesserer sig for den historiske udvikling af fysikken. På grund af hans videnskabsopfattelse, mener han, at man fremsætter en teori om, hvorledes verden er. Denne teori holder indtil en ny og bedre teori bliver opfundet. Denne nye teori vil, i overensstemmelse med Darwins evolutionslære, efterhånden overtage den gamle teoris plads. Til sidst vil videnskaben nærme sig sandheden asymptotisk, et synspunkt, som Mach deler med andre på denne tid; f.eks. Engels.

Mach er godt klar over, at langt de fleste landvindinger inden for naturvidenskaben er teologiske. Det kognitive formål har været at skabe overensstemmelse mellem bibelens ord og empiriske data eller facts. Men Mach lægger vægt på, at det kun er naturvidenskaben, som har overlevet. Alle teologiske og ontologiske overvejelser er barberet væk, så kun den objektive sandhed står tilbage. Det vil sige, at dette kun er en foreløbig tilnærmelse til sandheden. I afsnit 2.2 er Peirces syn på begrebet kraft beskrevet. Mach ville nok i det væsentlige være enig med Peirce, *men* gør opmærksom på, at beskrivelsen af kraften f. eks. ikke helt kan forklare intermolekylære kræfter (her forstået som kræfter der virker inden i et stof). Blandt andet kan overfladespændingen ikke forklares med statistisk gasteri (se kap. 4). Derfor mener Mach, at begrebet "kraft" er en fetich, og stadig er omgivet af mystik og hekseri (Mach,1973).

Mach bygger videre på Comte, der "føder" ideen om enhedsvidenskab. Comte mente, at logikken var den eneste videnskab, som kunne afgøre spørgsmål om sandt og falsk. Ud fra logikkens love skulle det være muligt, at udlede matematikken; af matematikken skulle fysikken kunne udledes og så videre, indtil alle videnskaber var blevet udledt af et fælles grundlag. Blandt andet på grund af

dette synspunkt, får logikken en central placering i den logiske empirisme og positivismen.

Da de logiske empirister i slutningen af 1800-tallet aldrig bliver færdige med at udvikle deres logik, tillader vi os kun at behandle positivistisk logik som fælles for disse to næsten ens videnskabsteoretiske retninger. I den positivistiske logik (det vil her sige Russell 1912) tillades kun mulighed for to slutningsformer: Induktion og deduktion, i nævnte rækkefølge:

Positivisme og logisk empirisme:

A priori = analyse = deduktion

A posteriori = syntese = induktion

Bertrand Russell definerer induktionsprincippet således :

a) Når man har iagttaget, at en ting af en bestemt art A er forbundet med en ting af en bestemt art B, og man aldrig har iagttaget den adskilt fra en ting af arten B, så gælder det, at jo større antallet af tilfælde, hvor A og B har været forbundne, jo større er sandsynligheden for at de vil være forbundne i et nyt tilfælde, hvor man ved, at en af dem optræder;

b) Under de samme omstændigheder vil et tilstrækkeligt antal tilfælde af forbindelse næsten gøre sandsynligheden for en ny forbindelse til sikkerhed og vil få den til at nærme sig sikkerhed i det uendelige. (Russell, 1974)

Altså; hvis man har kendskab til at Solen er stået op om morgenen i de sidste 10000 år, er der næsten absolut sikkerhed for, at den også gør det i morgen tidlig. Der kunne selvfølgelig komme noget, som forstyrrede Jordens rotation, så Solen ikke stod op i morgen, men de almene bevægelseslove, som er bestemmende for, om solen står op i morgen eller ej, er stadig overholdt. Kan man nu forestille sig, at de almene bevægelseslove ikke gælder i morgen? Ja! mener Russell, der er en lille sandsynlighed for dette, som bliver illustreret i Kants "kyllinger":

Kant fortæller, at der en gang var nogle kyllinger, som hver dag fik mad af en hånd. Dette stod på i meget lang tid, og kyllingerne troede til sidst, at det var en naturlov, at de skulle få mad af hånden, og at hånden var god. Men så en dag vred hånden halsen om på alle kyllingerne. Hvorledes kan man undgå at ende som Kants Kyllinger? I følge positivismen kan man det slet ikke, men man kan forsøge at gøre sandsynligheden mindre, ved at blive ved med at søge efter

Historisk baggrund og valg af cases.

særligt tilfælde, hvor naturlovene ikke længere gælder. Til eksempel er loven om, at al ting falder ind mod jorden ikke særlig god, fordi en luftballon "falder" væk fra jorden. Derimod forklarer mekanikkens love, både almindelige tilfælde og særligt tilfælde som luftballonen. Deduktion bygger på tre paragraffer i tankeloven, som Russell formulerer således (Russell, 1974):

- 1) Identitetsprincippet: "Det, der er, er."
- 2) Modsigelsesprincippet: "Intet kan både være og ikke være."
- 3) Det udelukkende tredies princip: "Enhver ting må enten være eller ikke være."

Deduktion bygger altså på hypotetiske slutninger: Hvis A er sand, så er B også sand. Eksempelvis to mænd, der diskutere hvilken dato det er i dag: "Du vil da i det mindste indrømme, at hvis det var den 15. i går, er det den 16. idag." "Ja", siger den anden, "det indrømmer jeg." "Og du ved", fortsætter den første, "at det var den 15. igår, for du spiste middag hos Jensen, og din kalender vil fortælle dig, at det var den 15." "Ja", siger den anden, "derfor er det den 16. i dag."

Det, som er interessant ved deduktion, er, at den kan tilvejebringe a priori viden om eksistens. Russell oplyser, at han ved at Kejserne af Kina eksisterer, selv om han ikke har set ham. (Russell skriver dette i 1912, og det er sandsynligt, at der ikke er nogen mand der har set eller hørt kejseren af Kina, endnu måske undtaget.)

Ren matematik er deduktiv viden. Der skal et vist antal eksempler til at overbevise os om, at 2 og 2 er 4, men så snart vi har lært at se bort fra irrelevante enkelttilfælde, for at tænke to i stedet for 2 bøger, 2 mennesker og så vider, kan vi se det almene princip, at 2 og 2 altid er 4. (Whitehead: Introduction to Mathematics). Kant gør opmærksom på, at denne slutning ikke er af analytisk karakter.

	<u>a priori</u>	<u>a posteriori</u>
Analytisk	+	-
Syntetisk	+	+

Figur 3.1.b Analytisk og syntetisk slutningsform ifølge Kant. Tegnet + angiver en meningsfyldt slutningsform, mens tegnet - angiver en meningsløs slutningsform.

Med analytisk a priori slutning menes, at "En skaldet mand er en mand.", "en plan figur er en figur" og "en slet digter er en digter". Analytisk a posteriori er at spørge alle skaldede mænd om de er mænd, hvilket er meningsløst. Syntetisk a posteriori er at sige, at

solen stod op i de sidste 1000 år, så den gør det nok også i morgen, og syntetisk a priori er at skille tallene fra de konkrete ting, og danne abstrakt matematik.

A priori erkendelser kan alle bevises ved analyse af sætningernes universalier. Dette gælder ikke for matematikken. Udsagnet $7+5=12$ er sandt, fordi 7 og fem kan sættes sammen til 12, men hverken 7, 5 eller ideen om addition er indeholdt i 12. Kants (og Russells) problem er: Hvorledes er ren matematik mulig? Kants svar er, at det skyldes en vekselvirkning mellem det fysiske objekt og os selv. Kant mener, at en del af sansedataerne skyldes objektet, såsom farve, hårdhed og en række andre fænomener, herunder aritmetikken. Det skulle altså være en egenskab ved tingen, som gør at $7+5=12$. Men heri kan positiverne ikke være enige. For hvis Kant har ret, ville det, i følge Russel, måske være muligt at finde to par, som ikke gav 4 til sammen, men 5. Denne mulighed synes ikke at være faldet Kant ind, bemærker en snu Russell (Russell, 1974, s. 70). Russell mener, at aritmetikken kan udledes fra hans egen 3. tankelov. Enten er to og to fire eller også er det ikke.

Så kunne det se ud som om, at "to og to er fire" er ren a priori erkendelse, men for at kunne afgøre om sætningen er sand eller falsk, må vi kende sætningens universalier: 2 og 4. Dette kendskab opnåes ved empirisk erfaring, og induceres altså frem. Kort fortalt går positivistisk logik ud på at iagttage og opmåle naturen, og ud fra tankelovene opstille nogle sande sætninger om naturen; om hvordan den opfører sig, men aldrig om hvorfor.

I slutningen af det forrige århundrede stod videnskaben altså med to gamle stridigheder: Eksisterer begreberne eller er de blot operative; er verden deterministisk eller har mennesket en fri vilje? Dvs. er der tilfældighed til?

Op igennem det 19. århundrede havde determinismen og nominalismen, den såkaldte logiske empirisme/positivisme vundet frem, og dens modstandere havde trange kår. Ydermere ønskede videnskaben at frigøre sig fra kirken, for at danne en ateistisk videnskab. Derfor var det eneste accepterede "slutningsredskab" logikken, og metafysik var blevet til et grimt skældsord.

3.2 Introduktion af de 4 cases.

I midten af det 19. århundrede begynder den klassiske fysiks begrænsninger så småt at blive synlige. Disse problemer vil i de fire følgende kapitler blive belyst fra forskellige vinkler. Problemerne var ikke koncentreret til en enkelt fagdisciplin, men spredte sig ud i hele den fysiske verden. De fire cases er derfor søgt valgt således, at problemstillinger fra hver af den klassiske fysiks hovedområder (mekanikken, termodynamikken og elektrodynamikken) belyses. Hermed ønsker vi, at give et større overblik over karakteren og størrelsen af den klassiske fysiks problemer.

I kapitel 4 behandles udviklingen af termodynamikken og den statistiske mekanik. Inden for dette felt har man klassisk meget svært ved at forklare forskellige stoffers varmekapaciteter, hvilket derfor beskrives nærmere. Derudover lægges der stor vægt på de i den statistiske termodynamik udviklede matematiske metoder. Disse spiller nemlig en central rolle i løsningen af mange af den klassiske mekaniks problemstillinger. Casene gennemgået i kapitel 5 og 6 er glimrende eksempler herpå.

I kapitel 5 fokuseres der på den klassiske fysiks fortolkning af udstrålingen fra et absolut sort legeme. Samt hvorledes dette fører til den såkaldte "ultraviolette katastrofe". Først med ideen om strålingsenergis kvantisering, finder man en løsning. Strålingsteoriene benyttes videre i kapitel 6, hvor vi ser nærmere på Einsteins lyskvantehypotese fra 1905. Den fotoelektriske effekt inddrages, som anskueliggørelse for lysets kvantisering og lysets partikelegenskaber.

Bemærk at de her skitserede mekaniske paradokser tager udgangspunkt i vidt forskellige forskningsområder. Først med kvantemekanikkens fremvækst viser problemerne sig at være af samme karakter.

Kapitel 7 beskæftiger sig ikke med en enkelt klassisk uforståelighed, men giver i stedet en bred gennemgang af atomteoriernes udvikling. Udviklingen af atomteorier hænger nøje sammen med den fysiske verdens nyopdagelser, hvorfor der i høj grad lægges vægt på samspillet mellem de mere metafysiske billeddannelser og de konkrete fysiske landvindinger. Desuden vil inspirations- og motivationskilder til sådanne modeludviklinger blive diskuteret.

Kapitel 4

Termodynamik og statistisk mekanik.

Den statistiske termodynamik har spillet en væsentlig rolle i udviklingen af kvantemekanikken. Allerede i begyndelsen af 1860'erne inddrog Maxwell statistiske overvejelser i sin beskrivelse af gasarternes natur, men først ca. 30 år senere vandt de statistiske, fysiske love almen interesse i Europas videnskabelige miljøer.

Denne lange acceptfase skyldes i høj grad, at udviklingen af de statistiske love berørte/rejste mange af datidens kontroversielle filosofiske og fysiske spørgsmål. F.eks. spørgsmålet om atomernes eksistens og spørgsmålet om verdens deterministiske natur.

I dette kapitel vil udviklingen af den statistiske termodynamik først blive kronologisk beskrevet. Herefter vil paradokset "ligefordelingsloven" blive gennemgået som et konkret eksempel på den klassiske gasteoris manglende evne til at forklare eksperimentelle data (varmekapaciteter). Sluttelig vil udviklingsforløbets metafysiske aspekter blive diskuteret nøjere. (Se afsnit 4.3 og 4.4). En del af kapitlets matematiske udledninger er af hensyn til læsevenligheden anbragt i appendiks A.

4.1 Udviklingen af den statistiske termodynamik.

I første halvdel af det 19. århundrede var mange europæiske fysikere beskæftigede med en nærmere undersøgelse af fænomenet varme. Allerede omkring århundredskiftet havde Benjamin Thompson og Grev Rumford påvist, at varme kunne frembringes mekanisk (ved bevægelse af legemer), og ca. 40 år senere udførte James Prescott Joule og Julius Robert Mayer forsøg over sammenhængen mellem luftarternes indre energi og temperatur.

I 1850 blev termodynamikkens to hovedsætninger for første gang offentliggjort. Det var den tyske fysiker Rudolf Emanuel Clausius, der, på baggrund af arbejde af bl.a. Herman von Helmholtz og Sadi

Carnot, kunne opstille de to fundamentale sætninger. Første lov ($\Delta U = \Delta Q + \Delta W$) er forblevet næsten uforandret: "The material system must give out exactly as much energy as it takes in, either in heat or mechanical work." (Kelvins formulering fra 1851 - Berning, 1989, s.79). Anden lov skulle derimod gennemgå større omformuleringer, for endelig i 1865 at blive præsenteret i sin nuværende form af Clausius. Forklaringen lød som følger: "First, there exists a function of the thermodynamic variables defining the state of the system, the entropy function S . Its differential dS is equal to the ratio of the heat dQ , added to the system in an infinitesimal reversible proces, to the absolute temperature T of the system:

$$dS = dQ/T$$

Second, in any irreversible proces the entropy change always exceeds the value dQ/T , so that for an isolated system the entropy must increase in an irreversible process." (Martin Kleins gengivelse, Klein, 1970, s.96)

Sideløbende med termodynamikkens udvikling, dannedes den kinetiske gasteori. (ca. 1855 og fremefter). I modsætning til termodynamikken bestræbte den kinetiske gasteori sig på at beskrive fænomener så som varme og indre energi på det mikroskopiske plan. Den kinetiske gasteoris hovedantagelse var således, at en gas bestod af molekyler, der groft kunne repræsenteres som små, elastiske kugler. Man antog ydermere, at molekylerne kun kunne bevæge sig i rette linier med ganske bestemte hastigheder, indtil de stødte sammen eller ind i væggen. Denne teori kunne f.eks. forklare det eksperimentelt observerede gastyk: trykket skyldtes molekylernes stød mod væggen.

For at forstå en gasarts natur kunne man altså som fysiker vælge at "befinde sig" enten på det makroskopiske eller det mikroskopiske beskrivelsesniveau. De fleste af datidens indvovede fysikere accepterede begge teorier, og forsøgte ihærdigt at sammenkæde disse. Dette forsøg på at forene de to teorier, kan ses som et eksempel på normalvidenskabens intense "rengøringsarbejde". Ved at søge en overensstemmelse afprøvede man automatisk teoriernes styrke og holdbarhed.

Vigtige personer i denne sammenhæng er den skotske fysiker James Clerk Maxwell (1831-1879) og den østrigske fysiker Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906). Begge arbejdede de med udviklingen / forbedringen af den kinetiske gasteori v.h.a. statistiske metoder, og deres arbejde ligger til grunde, for det vi i dag kender som den statistiske mekanik.

Maxwell og Boltzmann har uden tvivl hentet inspiration i hinandens arbejde, men noget egentligt samarbejde kom aldrig i stand. For det første døde Maxwell forholdsvis tidligt i udviklingen af den statistiske mekanik, og dernæst havde Maxwell og Boltzmann seriøse kommunikationsproblemer. Boltzmann havde en forkærlighed for lange, nærmest overvældende sætninger, mens Maxwell yndede korte, præcise formuleringer. Maxwell giver selv udtryk for problemet i et brev til Peter Guthrie Tait i 1873: "By the study of Boltzmann I have been unable to understand him. He could not understand me on account of my shortness, and his length was and is an equal stumbling-block to me." (Pihl, 1976, s.3) Selv forskere inden for samme paradigme kan altså have svært ved at forstå hinanden.

I England fjernede Maxwell allerede i 1860 den kinetiske gasteoris antagelse om, at alle molekyler har samme hastighed. I stedet udviklede han ved brug af sandsynlighedsovervejelser den såkaldte hastighedsfordeling for en gasarts molekyler.

Nogle år senere satte den unge, østrigske fysiker Boltzmann sig for at beskrive termodynamikkens 2. lov ud fra molekyle-teorien. Dette mål skulle vise sig at være langt mere problematisk end først antaget, og beskrives af videnskabshistorikeren Martin J. Klein således: "When Boltzmann set out to give a purely analytical, completely general proof of the second law of the thermodynamics, he was taking up a very live issue in physics." (Klein, 1970, s.95). Boltzmann blev først bekendt med Maxwells statistiske beregninger omkring 1867, og blev overordentligt begejstret for denne metode til beskrivelse af systemer bestående af et uoverskueligt antal molekyler. I perioden 1868 - 1871 udgiver han således en række afhandlinger vedrørende energi- og hastighedsfordelinger for molekyler.

Som en konsekvens af Boltzmanns beregninger fulgte, at et molekyles hastighedskomponenter (v_x, v_y, v_z) hver må bidrage med $1/2a$ til den totale gennemsnitlige energi. Boltzmann koblede nu systemets temperatur (T) sammen med den gennemsnitlige kinetiske energi pr. molekyle, og fik herved sammenhængen:

$$\frac{1}{2} m (\bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2) = \frac{3}{2a} T$$

Herved fik Boltzmann udledt proportionalitetsfaktoren $1/a$, der i dag kendes som Boltzmanns konstant (k). Ovenstående formel kan derfor omskrives til det nok så velkendte udtryk for energiens ligelige fordeling:

$$\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{3}{2}kT$$

(4.1.a)

Argumentationen bag udviklingen af fordelingsfunktionerne ændredes væsentligt igennem tiden. Men for at skabe et indblik i de bagvedliggende matematiske og statistiske overvejelser, og for at lette forståelsen af koblingen mellem sandsynlighedsteorien og 2. hovedsætning, vil Boltzmanns udledning af "Maxwell/Boltzmannfordelingen" her blive beskrevet med en vis portion bagklogskab.

I Boltzmanns udledninger betragtes et lukket system bestående af N partikler, hvor hver partikel nu har mulighed for at besidde en af energierne $E_1, E_2, E_3 \dots$. Antallet af partikler med energien E_1 betegnes n_1 , antallet af partikler med energien E_2 betegnes n_2 o.s.v. Det totale antal partikler er givet ved :

$$N = \sum n_i \quad (4.1.b)$$

- og systemets samlede energi (U) defineres som:

$$U = \sum n_i E_i \quad (4.1.c)$$

Det skal bemærkes, at denne sammenhæng kun gælder, når partiklerne ikke vekselvirker - ved vekselvirkning må der tages højde for potentiel energi. Ergo er der her tale om en idealgas. Boltzmann pointerede, i overensstemmelse med termodynamikkens 1. lov, at den totale energi i et isoleret system er konstant. Derudover var han af den overbevisning, at gassen kunne beskrives specifikt, hvis blot energien af hver enkelt individuel molekyle var kendt.

I sine beregninger tildelte Boltzmann hver enkelt molekyle 6 koordinater: 3 stedkoordinater og tre impuls-koordinater. Molekylerne kunne således beskrives i henholdsvis et reelt gasrum og i et såkaldt impulsrum. Boltzmann antog, at molekylerne var jævnt fordelt i gasrummet, og at de ikke var påvirket af noget ydre kraftfelt. Molekylernes energi kunne derfor bestemmes ved udelukkende at betragte deres fordeling i impulsrummet. Flere molekyler kunne sagtens have samme impuls, og ville herved danne sammenhobninger - eller klumper - i impulsrummet.

For at kunne regne på denne inhomogene fordeling af impulser, opdelte Boltzmann selve impulsrummet i celler. Cellerne var kongruente, og Boltzmann antog, at alle partiklerne i en celle havde ens generaliserede impuls-koordinater, d.v.s. samme energi. Til hver celle hørte således en ganske bestemt energi...

Med vores nuværende viden kan man fristes til at påpege, at Boltzmann allerede på dette tidspunkt indførte en vis kvantisering af molekylernes mulige energi-tilstande. Dog mente Boltzmann ikke selv, at molekylernes energitilstande i virkeligheden var kvantiserede. Han inddrog blot celleinddelingen som et regneteknisk hjælpemiddel i sine indledende overvejelser, for så senere at gå over til betragtninger af infinitesimale områder. (Pihl, 1976).

Udledning af Maxwell/Boltzmann fordelingen.

For at simplificere udledningen af Maxwell/Boltzmann fordelingen, kan man passende indføre et lille regneeksempel. Den netop beskrevne celle-opdelingen af impulsrummet er fuldstændig analog til den nok mere kendte opdeling af partiklernes energi-rum i såkaldte tilstande - hvor visse tilstande her er tættere besat end andre. Forestiller vi os nu 7 partikler, kan disse f.eks. være fordelt på energitilstandene på følgende måde:

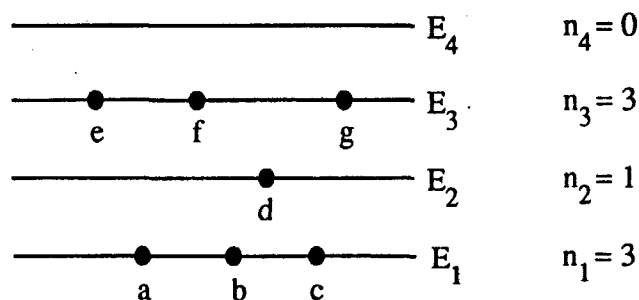


Fig 4.1.a: De syv partiklers fordeling på energitilstande.

Man kan nu spørge: "På hvor mange forskellige måder kan vi skabe fordelingen vist på fig.4.1.a ?" Antallene n_1, n_2, n_3, n_4 skal altså fastholdes, mens den enkelte partikels placering varieres. I Boltzmanns tidlige termodynamiske betragtninger er gassens partikler (N) principielt skelnelige. En fordeling, hvor $a=E_1$ og $f=E_3$, er derfor forskellig fra en situation, hvor $a=E_3$ og $f=E_1$. Hvis partiklerne var uskelnelige, ville de to fordelinger være identiske.

Starter vi med at udfylde E_1 , kan den første partikel udvælges på N forskellige måder. Den anden på $(N-1)$ forskellige måder, og den tredje på $(N-2)$ forskellige måder:

$$N(N-1)(N-2) = \frac{N!}{(N-3)!} \quad (4.1.d)$$

De tre valgte partikler kan vi udtrække i $3!$ forskellige rækkefølger, og da partiklernes rækkefølge er uden betydning, må vi dividere formel 4.1.d med $3!$, hvilket giver:

$$\frac{N!}{3!(N-3)!} \quad (4.1.e)$$

- og det generelle udtryk for antallet af forskellige placeringer af n_i partikler i E_i er da givet ved:

$$\frac{N!}{n_1!(N-n_1)!} \quad (4.1.f)$$

I energiniveau 2 er der fra starten kun $(N-n_1)$ udvælgelsesmuligheder, og vi får derfor udtrykket:

$$\frac{(N-n_1)!}{n_2!(N-n_1-n_2)!} \quad (4.1.g)$$

Det totale antal muligheder for at opnå en given fordeling (n_1, n_2, n_3, \dots) findes ved at multiplicere hver enkelt energiniveaus antal af placeringsmuligheder. For regneeksemplet giver det følgende udtryk:

$$\frac{7!}{3!4!} \cdot \frac{4!}{1!3!} \cdot \frac{3!}{3!0!} \cdot \frac{0!}{0!0!} = \frac{7!}{3!1!3!0!} \quad (4.1.h)$$

Udtrykket kan i stedet omskrives til den generelle form:

$$\frac{N!}{n_1! n_2! n_3! \dots} \quad (4.1.i)$$

Dette udtryk er, trods sit tilnavn (den termodynamiske sandsynlighed), ikke i sig selv et sandsynlighedsbegreb. Derimod udtrykker det, som allerede nævnt, antallet af muligheder for en given fordeling (n_1, n_2, n_3, \dots) . D.v.s. på hvor mange måder man kan omstrukturere molekylerne på mikroniveau, uden på makroniveau at forstyrre gassens tilstand. Boltzmann kaldte dette antal for antallet af "complexions".

Det netop udledte udtryk for den termodynamiske sandsynlighed gælder kun, når alle energiplaceringer er lige sandsynlige. Man kunne nu forestille sig, at visse energitilstande er mere tillokkende end andre. Antallet af muligheder for at placere en partikel i tilstanden E_i kan passende betegnes g_i . Antallet af muligheder for at finde n_i partikler i tilstanden E_i er derfor $g_i^{n_i}$. Størrelsen g_i (også kaldet systemets udartning) svarer til antallet af celler i impulsummet med samme energi. (I kvantemekanikken fortolkes g_i som

antallet af kvantetilstande hørende til en bestemt energi). Formel 4.1.i kan nu omskrives til:

$$P = \frac{N! g_1^{n_1} g_2^{n_2} g_3^{n_3} \dots}{n_1! n_2! n_3! \dots} \quad (4.1.j)$$

Boltzmanns antagelse om, at molekylerne er principielt skelnelige, må anses for yderst rimelig. Ifølge den klassiske mekanik skulle det jo være muligt at bestemme molekylernes individualitet, ved blot at kortlægge hver enkelt partikels bevægelse i gasrummet. Boltzmann var af den overbevisning, at processerne på det mikroskopiske plan fulgte strengt deterministiske forløb, og opfattede derfor statistikken som en nødvendig metode til beskrivelsen af den store mængde mikroprocesser. (Pihl, 1976)

Men ifølge kvantemekanikken er en forfølgelse af hver enkelt molekyles bevægelse absolut ikke mulig. Af Heisenbergs ubestemt-hedsrelation følger f.eks. at man ikke samtidigt kan bestemme et molekyles sted- og impulskoordinater. Her er selv elementarprocesserne forbundet med en given sandsynlighed!! Det skal i denne sammenhæng pointeres, at Boltzmann i slutningen af sin karriere (1898) rent faktisk forudså, at molekyle-bevægelserne skulle beskrives v.h.a. sandsynlighedsbegrebet: "Since today it is popular to look forward in time when our view of nature will have been completely changed, I will mention the possibility that the fundamental equations for the motion of individual molecules will turn out to be only approximate formulæ which give average values, resulting according to the probability calculus from the interactions of many independent moving entities forming the surrounding medium." (Porter, 1986, s. 217)

Ved at foregribe begivenhedernes gang, vil vi derfor i udledningen af Maxwell/Boltzmann-fordelingen antage at partiklerne er uskelnelige. I så fald vil $N!$ omrokeringer blandt partiklerne give samme fordeling. Vi må derfor dividere formel 4.1.j med $N!$:

$$P = \frac{g_1^{n_1} g_2^{n_2} g_3^{n_3} \dots}{n_1! n_2! n_3! \dots} = \prod_i \frac{g_i^{n_i}}{n_i!} \quad (4.1.k)$$

Dette udtryk kendes i dag som "sandsynligheden" for en given Maxwell/Boltzmann-fordeling. Den mest sandsynlige fordeling kan findes ved at beregne maksimum for formel 4.1.k. Først omskrives formel 4.1.k, ved at tage \ln på begge sider:

Termodynamik og statistisk mekanik.

$$\ln P = \ln \prod_i \frac{g_i^{n_i}}{n_i!} = \sum_i \frac{n_i \ln g_i}{n_i \ln n_i} = \sum_i n_i \ln g_i - \sum_i n_i \ln n_i$$

Ved denne omskrivning er Stirlings formel for $n \gg 1$ blevet benyttet. Heraf fås, at: $\ln n! = n \ln(n)$

Udtrykket differentieres nu mht. n_i og sættes herefter lig nul for at finde ekstremumpunktet:

$$\begin{aligned} \delta \ln P &= \delta \sum_i n_i \ln g_i - n_i \ln n_i = \sum_i \delta n_i \ln g_i - \delta n_i \ln n_i - \delta n_i \\ &= \sum_i (\ln g_i - \ln n_i - 1) \delta n_i = 0 \end{aligned} \quad (4.1.1)$$

Vi skal nu være opmærksomme på, at n_i ikke kan variere frit, idet det jo gælder at:

$$N = \sum n_i \quad \text{og} \quad U = \sum n_i E_i$$

- hvorved vi efter differentiation får:

$$A: \delta N = \sum_i \delta n_i = 0 \quad B: \delta U = \sum_i \delta n_i E_i = 0$$

Betragter vi disse bånd nærmere, ses at formel 4.1.1 kan reduceres til:

$$\sum_i (\ln g_i - \ln n_i) \delta n_i = 0 \quad (4.1.m)$$

idet $\sum \delta n_i = 0$. Det kan nu bestemmes, hvilke værdier af $(\ln g_i - \ln n_i)$, der giver et sandt udtryk for formel 4.1.m :

- Er $(\ln g_i - \ln n_i)$ en vilkårlig konstant α giver udtrykket nul, idet $\alpha \sum \delta n_i = 0$

- Samtidig ses, at sætter vi $(\ln g_i - \ln n_i) = \beta E_i$, får vi udtryk B, hvilket også giver nul.

De mulige løsninger er altså:

$$(\ln g_i - \ln n_i) = \alpha \quad \text{og} \quad (\ln g_i - \ln n_i) = \beta E_i$$

Eller samlet:

$$\ln g_i - \ln n_i = \alpha + \beta E_i$$

n_i isoleres nu i udtrykket:

$$\ln n_i = \ln g_i - \alpha - \beta E_i \Leftrightarrow n_i = \frac{g_i}{e^\alpha} e^{-\beta E_i}$$

Sættes $1/e^\alpha$ lig A, fås den nok så kendte Maxwell/Boltzmann-fordeling, hvor det kan vises, at $\beta=1/kT$:

$$n_i = A g_i e^{-E_i/kT} \quad (4.1.n)$$

Tilbagevendings- og omvendingsproblemet.

Det var på baggrund af en lignende udledning, at Boltzmann i 1877 kunne konkludere, at Maxwell/Boltzmann-fordelingen er et udtryk for den mest sandsynlige tilstandsfordeling. D.v.s. den makrotilstand, der kan realiseres på det største antal måder - også kaldet den termodynamiske ligevægt.

Ved samme lejlighed bemærkede Boltzmann, at størrelsen $\ln P$ (med undtagelse af en arbitrær konstant) kunne identificeres med størrelsen af den af termodynamikken udledte entropi - jvf. app A. (Sammenhængen kendes i dag som $S=k \ln P$). Boltzmann kunne derfor nu erklære, at termodynamikkens 2. lov i bund og grund var en lov om sandsynlighed: "a system evolves from states of low intrinsic probability to states of higher probability, the equilibrium state being the state of maximum probability. That entropy increases in this irreversible evolution is no accident, since entropy is nothing but a suitable measure of this probability." (Klein,1970, s.105). Denne kobling mellem termodynamikkens 2. lov og sandsynlighedsbegrebet var netop hovedpointen i Boltzmanns meget afgørende og omstridte artikel: "Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den sätzen über das Wärmegleichgewicht." fra 1877.

Egentlig troede Boltzmann allerede i 1872, at have givet et entydigt matematisk bevis for entropiens stadige stigning ved irreversible processer. Denne matematiske udledning kendes i dag som Boltzmanns H-theorem, og bygger på betragtninger over molekylesammenstød. Udledningens pointe skal her blot skitseres, mens de nærmere matematiske overvejelser er at finde i appendiks A.

I sine beregninger begrænsede Boltzmann sig til at beskrive kollisioner mellem to molekyler, og opstillede herud fra et udtryk for den følgende hastighedsændring. I denne sammenhæng introduce-

rede Boltzmann funktionen H , hvis ændring i tiden, han kunne vise, altid vil være negativ eller nul: $dH/dt \leq 0$

"Hjælpe-funktionen" H tillagdes ikke i sig selv nogen direkte fysisk fortolkning, men Boltzmann kunne bevise, at funktionen ($-H$) er direkte proportional med entropien. Han kunne nu benytte denne sammenhæng som et matematisk argument for entropiens stadige tilvækst. Hvis størrelsen af H falder i tiden, må entropien nødvendigvis stige. Boltzmann tillod ingen variationer omkring en gennemsnitlig entropi-værdi, men konkluderede i stedet, at entropien altid vil stige jævnt til sin maksimale størrelse: "It is accordingly rigorously proved that, whether the initial distribution of kinetic energy may have been, it must always necessarily approach the Maxwellian after a very long time has elapsed." (Porter, 1986, s.211). Alle molekulære startbetingelser ville således medføre stigende entropi.

At det var sandsynligt med afvigelser fra H -theoremets blev først åbenlyst for Boltzmann i 1876, efter en diskussion med den østrigske kollega Josef Loschmidt. Loschmidt, der var en stor tilhænger af molekyle-teorien indvendte nu, at det aldrig ville være muligt, at udlede H -funktionens faldende værdier (entropiens stigning) v.h.a. mekanikkens reversible love. Hvis man som tankeeksperiment til et givent tidspunkt vendte enhver partikels hastighedsretning, ville systemet nu, ifølge mekanikken, bevæge sig tilbage mod sin udgangsposition. Alle molekulære begivenheder ville gentages - blot i modsat rækkefølge. Hermed havde man fundet molekulære startbetingelser, dannende stigende H -funktionsværdier - dvs. faldende entropi.

Boltzmann indså nu problemets art. Hvordan forenes varmestrøm, der afgjort afhænger af tidens retning, med mekanikkens love? Elastiske stød i et mekanisk system er altid reversible, mens varme altid bevæger sig fra det varme til det kolde område.

Boltzmann tog Loschmidts diskussion af det såkaldte "omvendingsproblem" meget seriøst, og så den som en kærkommen mulighed for at fremhæve sandsynlighedsregningens rolle i forståelsen af termodynamikkens 2. lov. Boltzmann udtalte således: "Alligevel synes Loschmidt's indvending at være af stor vigtighed, fordi den viser hvor intimt den anden hovedsætning er forbundet med sandsynlighedsregningen, mens den første hovedsætning er ganske uafhængig heraf." (Berning, 1989, s.145) Boltzmann pointerede nu, at hans bevis for H -theoremets ikke udelukkende var af rent mekanisk/deterministisk natur. Derimod var det baseret på en sammenkobling af mekanikkens love og statistiske/sandsynligheds-

teoretiske antagelser. F.eks. blev det i udledningerne antaget, at molekylerne var jævnt fordelt i gasrummet, selvom det måtte formodes, at fordelingen fluktuerede en smule i tiden. Det var på baggrund af denne diskussion, at Boltzmann i 1877 viste den tidligere omtalte sammenhæng mellem en tilstands sandsynlighed og dens entropi.

Loschmidt's argument beskrev, ifølge Boltzmann, en metode til at bestemme startbetingelserne for en entropi-faldende proces. Men sådanne startbetingelser ville være højest usandsynlige, idet antallet af mulige startbetingelser medførende stigende entropi altid vil være langt større. Følgelig kunne de entropi-faldende processer fuldstændig ignoreres. H-theoremet er i denne fortolkning ikke længere rent deterministisk, men tillader fluktuationer. Disse fluktuationer er mulige, men dog så usandsynlige, at de ikke er indeholdt i selve beregningerne.

Boltzmann anså i 1877, med sin reviderede formuleringen af H-theoremet, sin "livsopgave" (at bevise 2. hovedsætning) for afsluttet, og kastede sig over andre interessante arbejdsopgaver. Boltzmann fik dog meget lidt respons på sin teori, og selv i slutningen af det 19. århundrede plagedes mange fysikere stadig af den tilsyneladende modstrid mellem mekanikkens reversibilitet og H-theoremets irreversibilitet. Det skal her nævnes, at selv på dette sene tidspunkt, var Boltzmann en af de få kontinentale fysikere, der benyttede sig af statistiske argumentationer.

Det næste direkte angreb mod H-theoremet kom først i 1896 fra tyskeren Ernst Zermelo, student af Max Planck. Zermelos kritik tog udgangspunkt i et theorem, bevist af matematikeren Henri Poincaré i 1890. Heri blev det fastslået, at et hvert isoleret partikelsystem i almindelighed vil komme tilbage til - eller vilkårligt tæt på - enhver dynamisk tilstand. Zermelo mente, at dette var i direkte modstrid med H-theoremets irreversibilitet, og konkluderede, at man som fysiker derfor måtte vælge enten termodynamikkens eller også den reversible mekaniks opfattelse af naturen - ingen mellemvej var mulig...

Boltzmann svarede straks på dette "tilbagevendings-problem", irriteret og bitter over atter en gang at skulle fremhæve gaslovenes statistiske natur: "Now Mr. Zermelo's paper shows that my writings have not been understood, but I'm pleased with it in spite of that, because it is the first evidence that these writings have recieved any attention at all in Germany." (Klein, 1970, s.113)

Boltzmann betvivlede ikke rigtigheden af Poincares theorem, men fornægtede Zermelo's fortolkning. Boltzmann fremhævede, at den tilsyneladende irreversibilitet i naturen ikke er i modstrid med Poincares tilbagevendings-princip. Sandsynligheden for denne hændelse er blot forsvindende lille, hvorved den nødvendige tid, det ville tage et givent system at returnere til sin udgangsposition, bliver uendelig lang. F.eks. ville det tage $10(10^{10})$ år for en lille volume gas spontant at spalte sig i nitrogen og oxygen. For at illustrere problematikens art skrev Boltzmann: "One may recognize that this is practically equivalent to never, if one recalls that in this length of time, according to the laws of probability, there will have been many years in which every inhabitant of a large country committed suicide, purely by accident, on the same day, or every building burned down at the same time - yet the insurance companies get along quiet well by ignoring the possibility of such events. If a much smaller probability than this is not practically equivalent to impossibility, then no one can be sure that today will be followed by night and then a day. (Porter, 1986, s.214). Lovmæssigheder, der teoretisk kun har karakter af sandsynlighedslove, er derfor i praksis ensbetydende med de gældende naturlove.

I modsætning til Zermelo var Boltzman fuldstændig overbevist om mekanikkens og termodynamikkens overensstemmelse. Begge teorier skulle eksistere samtidig, og enhver indvending mod dette kunne kun skyldes misforståelser og manglende indsigt. Boltzmann afsluttede derfor sit svar til Zermelo på følgende måde: "Hvis man ikke formår at overvinde de vanskeligheder, som forståelsen af gasteoriens love byder på, skal man blot følge Zermelo's råd, og beslutte sig helt for at opgive dem." (Klein, 1970, s.197)

Boltzmanns ideer fik, som tidligere nævnt, først det videnskabelige miljøes interesse i slutningen af 1890'erne. På dette tidspunkt indså man f.eks nødvendigheden af sandsynlighedsbetragtninger ved beskrivelsen af radioaktive henfald, og senere anvendte Planck Boltzmanns matematik i sin behandling af sortlegemestråling. (Se kap.5)

De fleste videnskabsmænd forholdt sig tøvende eller direkte kritiske overfor Boltzmanns teorier. En af årsagerne til denne mistro var usikkerheden omkring ligefordelingsloven.....

4.2 Ligefordelingsloven.

Ligefordelingsloven kræver, som tidligere nævnt, at gassens energi er ligeligt fordelt på molekylernes "bevægelsesmåder" - også kaldet frihedsgrader. Hvis F betegner antallet af frihedsgrader pr. molekyle, kan den kinetiske energi af det enkelte molekyle beskrives ved: $E_{kin} = 1/2(FkT)$. (For en idealgas er der 3 frihedsgrader, hvorved vi netop får udtrykt formel 4.1.a). Følgelig må en gas bestående af N molekyler have den totale energi: $U = 1/2 (FNkT)$, hvor der her ses bort fra ydre potentiel energi.

Hvis denne sammenhæng skal eftervises eksperimentelt, kan gassernes totale energi ikke måles direkte. Derimod kan man måle energiens temperaturafledte, hvilket svarer til varmekapaciteten ved konstant volumen. Den specifikke varmekapacitet ved konstant volumen (C_v) er givet ved:

$$C_v = \frac{\delta U}{\delta T} \cdot \frac{1}{n}, \quad n = \frac{N}{N_A} \quad (4.2.a)$$

Det fundne udtryk for U kan nu indsættes, hvorved vi får en ny beskrivelse af varmekapaciteten:

$$C_v = \frac{FNk}{2n} = \frac{1}{2} (R F), \quad R = k N_A \quad (4.2.b)$$

Af denne sammenhæng ses det, at C_v bør være uafhængig af temperaturen. Dette kan absolut ikke eftervises eksperimentelt. For alle gasarter falder C_v stærkt i det lave temperaturområde, for til sidst at forsvinde helt ved det absolutte nulpunkt!! (Se fig. 4.2.a)

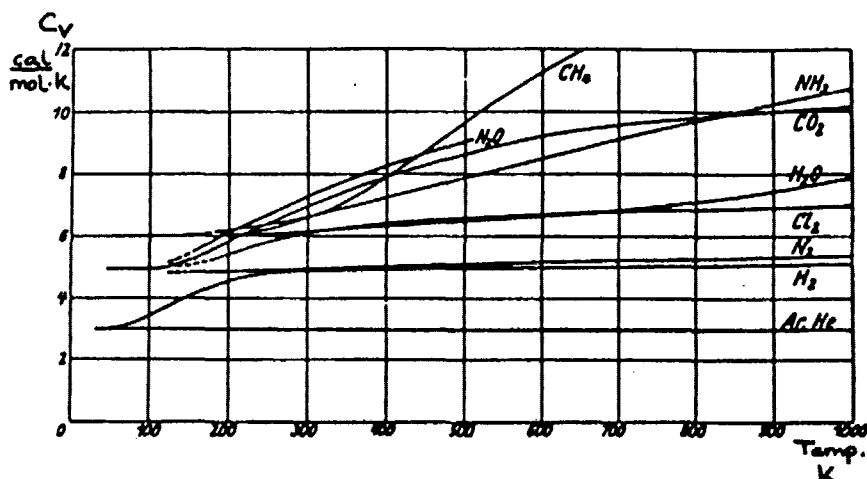


Fig.4.2.a: Varmekapaciteten, C_v , for forskellige grundstoffer.

Men ikke nok med det. For nogle grundstoffer afviger også størrelsen af C_v kraftigt fra teorien. De en-atomige molekyler kan bevæge sig translatorisk i x-, y- og z-aksens retning, og har dermed frihedsgraden 3. For de enatomige gasser, f.eks. Ar og He*, er der ved stuetemperatur fin overensstemmelse mellem teori og praksis. Den målte varmekapacitet kan aflæses til ca. $3 \text{ cal/mol K} \approx 12,5 \text{ joule/mol K}$, mens den beregnede C_v fås til: $C_v = 3/2 R \approx 12,5 \text{ joule/mol K}$.

For fler-atomige molekyler er antallet af frihedsgrader ikke umiddelbart indlysende. Nu kan både rotations- og vibrationsenergi gøre sig gældende. For mange to-atomige gasarter passer den målte C_v med 5 frihedsgrader. Boltzmann søgte at forklare dette fænomen ved at antage, at atomerne (ud over at bevæge sig translatorisk) også kunne rotere omkring hinanden. Han argumenterede nu for, at en rotation omkring den forbindende akse (Se fig.4.2.b) ingen energi skaber. Forklaringen lød som følger: Hvis atomerne tænkes at være små, hårde billard-kugler med en perfekt overflade, vil disse ikke kunne overføre energi til omgivelserne, når de blot roterer omkring forbindelses-aksen. Derfor vil rotation kun bidrage med en energi svarende til 2 frihedsgrader. Denne forklaring holder for grundstofferne N_2 og H_2 , men Cl_2 er problematisk. Hvis C_v for Cl_2 beregnes for $f=5$ fås $C_v=21 \text{ joule/mol K}$. Eksperimentelt findes C_v derimod til ca. 29 joule/mol K .

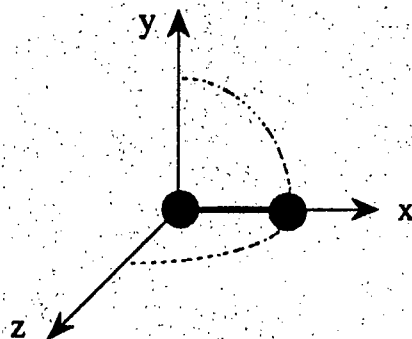


Fig.4.2.b: Rotationsenergi for et to-atomigt molekyle. Kun rotation omkring y- og z-aksen kan øge gassens energi.

Under tiden kunne de fundne varmekapaciteter forklares ved at justere antallet af frihedsgrader, men Maxwell fremhævede i 1875, at det til varmekapaciteterne korresterende antal af frihedsgrader under alle omstændigheder syntes for lavt. Hvis gassernes spektrallinier skulle forklares vha. molekyle-bevægelser, burde molekylerne have langt flere frihedsgrader.

* I slutningen af forrige århundrede benyttede man kviksølv damp ved undersøgelsen af en-atomige gasser. Først i 1894 findes den første ædelgas, nemlig Argon.

De nok så store afvigelser fra teorien, som vi her blot har set et par eksempler på, var ganske uforklarelige i det 19. årh. En del af datidens fysikere var alvorligt bekymrede, og Maxwell udtalte f.eks. allerede i 1875 efter et endt foredrag om problemstillingen: "I have now put before you, what I consider to be the greatest difficulty yet encountered by the molecular theory." (Berning, 1989, s.114). Et eksempel på fysikernes frustrationer i en periode, hvor normalvidenskaben svækkes...

Ligefordelingsloven forblev et påtrængende problem i de sidste 25 år af det 19. årh. - specielt i England. Her var interessen for problemstillingen så stor, at "British association for the advancement of science" nedsatte en komite, bestående af fysikerne Joseph Larmor og George H. Bryan. Denne komite skulle beskæftige sig specielt med: "The present state of over knowledge of thermodynamics, specially with the regard to the second law." (Kilde 2 s.110). Komiteen udsendte sin lange oversigtsrapport i to dele. Første del udkom i 1891 og omhandlede de forskellige forsøg på at forene 2. hovedsætning med mekanikkens love. Anden del fra 1894 behandlede netop problemet ligefordelingsloven.

Trods de mange ihærdige forsøg på at forklare paradokset ligefordelingsloven, var det umuligt at løse problemet inden for rammerne af den klassiske mekanik. Det blev Einstein, der i 1907, v.h.a. Plancks kvanteteori for en lineær oscillator, skulle opklare mysteriet. Princippet i løsningen skal her blot antydes...

En løsning.

Betragter vi en mængde fast grundstof bestående af N atomer, vil hvert atom kunne vibrere i tre dimensioner (atomerne er alle indbyrdes forbundne). Klassisk må dette svare til en energi givet ved :

$$U = 3 N k T,$$

idet en vibration indeholder en potentiel energi af samme størrelse som den kinetiske. (Den vibrationelle energi pr. frihedsgrad er kT).

Situationen kan i stedet opfattes, som om der i grundstoffet eksisterer N rumlige oscillatorer, med samme frekvens ν . Disse vil iflg. Plancks formel hver bidrage med den gennemsnitlige energi E_s pr svingningsretning:

$$\bar{E}_s = \frac{h \nu}{(e^{h\nu/kT} - 1)} \quad (4.2.c)$$

E_s erstatter dermed den tidligere ikke kvantiserede energimængde kT pr. frihedsgrad, hvorved et grundstofs energi (U) kan skrives som:

$$U = 3 N \bar{E}_s = 3 N \frac{h\nu}{(e^{h\nu/kT} - 1)} \quad (4.2.d)$$

Varmekapaciteten kan nu findes til:

$$C_v = 3 N \left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2 \cdot \frac{e^{h\nu/kT}}{(e^{h\nu/kT} - 1)^2} \quad (4.2.e)$$

hvilket i hvert tilfælde kan forklare, at C_v nærmer sig 0, når temperaturen går mod 0. (Nævneren $(e^{h\nu/kT} - 1)$ vokser stærkt). Debye har siden forbedret Einsteins teori, idet han nu regnede med en fordeling af frekvenserne svarende til de elastiske modes. (Se kap.5). Herved fandt han bl.a. at varmekapaciteten ved lave temperaturer er proportional med T^3 . Med denne forbedring havde man endelig et teoretisk udtryk, i tilfredsstillende overensstemmelse med målingerne.

4.3 Metafysiske aspekter.

Efter at have skitseret udviklingen af den statistiske termodynamik, vil vi nu fremhæve og opsumere nogle af de i udviklingen berørte metafysiske problemstillinger. Først undersøges den statistiske tankegangs betydning for datidens diskussion af determinisme.

Tilfældighedens nødvendighed.

Den deterministiske tankegang var særdeles udbredt i de videnskabelige miljøer i det 19. årh. Mekanikken havde stor succes, og mange videnskabsmænd troede, selv i slutningen af 1800-tallet, at universet kunne forklare udelukkende vha. mekanikkens grundprincipper. Peirce giver i "Undersøgelse af nødvendighedens doktrin" fra 1892 en rammende beskrivelse af denne deterministiske filosofi. Filosofien er baseret på antagelsen om, at "tingenes tilstand til hver en tid, sammen med visse uforanderlige love, fuldstændigt bestemmer tilstanden til enhver anden tid (for en begrænsning til fremtiden kan ikke forsvares)." Og han fortsætter: "Altså givet universets tilstand i urtågen, og givet mekanikkens love, vil en tilstrækkelig kraftig hjerne fra disse data kunne deducere den præcise form på enhver snirkel på hvert bogstav, jeg skriver nu." (Christiansen, CSP2, 1988, s.91). Denne tankegang, hvor alle begiven-

heder og enhver menneskelig vilje er underlagt mekanikkens love, vil vi, som Peirce, benævne den mekaniske filosofi.

Darwins evolutions-teori fra 1859 var i skarp modstrid med den mekaniske filosofi. Ifølge den mekaniske filosofi kan videnskabens udvikling under ingen omstændigheder styres af tilfældigheder - alt er på forhånd givet. Udbredelsen af Darwins teori var altså en direkte trussel mod den deterministiske tankegang, hvilket tydeligt ses af den fysiske verdens ofte bombastiske og katagoriske udtalelser. Således erklærede den engelske fysiker John Tyndall (1820-1893) i 1874, at: "1. From nothing comes nothing. Nothing that exists can be destroyed. All changes are due to the combination and separation of molecules. 2. Nothing happens by chance. Every occurrence has its cause from which it follows by necessity. 3. The only existing things are the atoms and empty space, all else is mere opinion. 4. The atoms are infinite in number and infinitely various in form; they strike together, and the lateral motions and whirlings which thus arise are the beginnings of worlds. 5. The varieties of all things depend upon the varieties of their atoms, in number, size, and aggregation." (Porter, 1986, s. 198).

Maxwell var yderst bekymret over, at hans speciale (atomteorien) kunne benyttes som argument for determinisme og materialisme. Han selv argumenterede for menneskets fri vilje, og søgte at vise at eksistensen af naturlove ikke var i modstrid med eksistensen af menneskelig frihed.

Maxwell var, som Boltzmann, af den overbevisning, at statistiske metoder er nødvendige for en makroskopisk beskrivelse af det molekylære univers: "But the smallest portion of matter which we can subject to experiment consists of millions of molecules, not one of which ever becomes individually sensible to us. We cannot, therefore, ascertain the actual motion of any one of these molecules; so that we are obliged to abandon the strict historical method, and to adopt the statistical method of dealing with large groups of molecules." (Berning, 1989, s. 362). Men han mente, i modsætning til Boltzmann, at molekylerne på det mikroskopiske plan ikke følger strengt deterministiske love.

De statistiske metoder giver, ifølge Maxwell, udelukkende et billede af molekylernes samlede opførsel. Det enkelte molekyles bevægelser behøver derfor ingen forbindelse at have til de observerede lovmæssigheder på makroniveau, men kan flukturere kraftigt fra disse. På mikroniveau eksisterer der altså ingen oplysninger om, eller bånd på, den enkelte partikels opførsel, hvorved individets frihed er sikret. Maxwell skrev i 1874: "It is therefore possible that

we may arrive at results which, though they fairly represent the facts as long as we are supposed to deal with a gas in mass, would cease to be applicable if our faculties and instruments were so sharpened that we could detect and lay hold of each molecule and trace it through all its course." (Porter, 1986, s.203).

Boltzmann, der ønskede en mekanisk forklaring i enhver henseende, var samtidig det 19. århundredes store fortæller for statistiske metoder. Et eksempel på, at den statistiske tankegang ikke i sig selv afviser determinismen. Men for at determinismen kunne afskaffes, var en statistisk argumentation nødvendig. Netop statistikken gjorde det muligt at forklare makroskopiske regelmæssigheder, uden dermed at antage, at de enkelte molekyler fulgte strengt deterministiske love. Følgelig var den statistiske metodes gennembrud en forudsætning for determinismens fald, hvilket igen var en forudsætning for kvantemekanikkens udvikling.

En anden medvirkende årsag til determinismens fald var det filosofiske miljøes begyndende interesse for den mekaniske filosofis begrænsninger. For som Kuhn påpeger, spiller filosofi og tankeeksperimenter en væsentlig rolle i opgøret mellem to paradigmer....

Charles S. Peirce var en af datidens få filosoffer, der argumenterede kraftigt og ihærdigt imod den deterministiske tankegang. Kendskabet til Peirces' filosofi må antages at have meget begrænset i det europæiske videnskabelige miljø, og videnskabsmænd har derfor ikke direkte kunne støtte sig til Peirces' teorier i deres faglige diskussioner. Alligevel kan Peirce med sin klarsynethed benyttes som indikator for datidens nye filosofiske strømninger.

Peirce så naturens irreversibilitet som et klart og indlysende bevis for, at mekanikkens love ikke alene kan beskrive universets udvikling. Han konkluderede derfor, at "der nok i naturen er en virksom faktor, som får kompleksiteten og diversiteten til at vokse, og at der derfor er noget som interfererer med den mekaniske nødvendighed." (Christiansen, CSP2, 1988, s.105). Den virksomme faktor beskriver Peirce som en tilfældig variation fra gældende love. Evolution og vækst kan derfor kun forklares som en konsekvens af spontane fluktuationer i universet. Denne overbevisning om absolut tilfældighed betegnes med Peirces ordvalg "tychisme".

Også Peirce var overbevist om nødvendigheden af sandsynlighedsberegninger i beskrivelsen af molekylære processer: "For nu ser vi klart, at den molekylære hypoteses særlige funktion i fysikken er at give adgang for sandsynlighedsregning." (Christiansen, CSP2, 1988, s.89). Men han delte på ingen måde Boltzmanns faste overbevisning

om, at mikro-processerne kan beskrives rent mekanisk. I 1891 kom Peirce f.eks. med følgende betragtning: "Der er grund til alvorlig tvivl om, at mekanikkens grundlæggende love gælder for enkelte atomer, og det virker ret sandsynligt, at de er i stand til at bevæge sig i mere end tre dimensioner." (Christiansen, CSP1, 1988, s.72). Peirces' kommentar illustrerer iøvrigt, hvor stor en rolle "ligefordelingsparadokset" må have spillet i forkastelsen af den mekaniske beskrivelse af atomerne. (De "tre dimensioner" refererer til antallet af frihedsgrader, hvilket igen er tæt forbundet med de uforklarlige resultater fra undersøgelsen af varmekapaciteter - Jvf. afsnit 4.2).

Videnskabens udvikling og status.

Videnskabens tilskrevne rolle ændres meget alt efter om man er tilhænger eller modstander af den mekaniske filosofi. Den mekaniske filosofi vil til en hver tid hævde, at alle fænomener i universet kan forklares entydigt vha. naturvidenskabens love. Videnskabens love har dermed status af at kunne beskrive den endegyldige og uomtvistelige sandhed. Eller med Tyndalls ord: "All schemes and systems which thus infringe upon the domaine of science must in so far as they do this, submit to its control, and relinquish all thoughts of controlling it." (Porter, 1986, s.197).

Det er klart, at denne overbevisning vil føle mekanikkens manglende evne til at forklare eksperimentelle data yderst enerverende. Det videnskabelige miljøes store interesse for både ligefordelingsloven og termodynamikkens tilsyneladende uoverensstemmelse med mekanikken skal derfor ses som eksempler på det klassiske paradigmes intense forsøg på at bibeholde den gældende mekaniske forståelse af universet - eller med andre ord: eksempler på normalvidenskabens indbyggede stædighed.

Maxwell var dog allerede i midten af det 19. årh. bekymret over den rolle hans samtid tilskrev videnskaben. Maxwell tvivlede på, at naturen hurtigt og effektivt kunne forklare en hver problemstilling, og bestræbte sig i stedet på at vise, at "it is the peculiar function of physical science to lead us to the confines of the incomprehensible, and to bid us behold and receive it in faith, till such time as the mystery shall open." (Porter, 1986, s.195). Maxwell er meget opmærksom på videnskabens begrænsninger, og giver her en karakterisering af videnskabens udvikling, der (med en god portion bagklogskab) kan siges at svare til Kuhns beskrivelse af normalvidenskabens arbejde. Den normalvidenskabelige forskning vil ofte udfordre et paradigmes yderste grænser, og vil ikke altid straks finde en løsning.

Denne overbevisning om naturvidenskabens begrænsninger var på dette tidspunkt ikke almindeligt udbredt. Først i slutningen af 1800-tallet, hvor de grundlæggende fysiske love for alvor blev draget i tvivl, skete der en radikal ændring i opfattelsen af videnskabens rolle.

I 1890'erne beskriver Peirce eksempelvis enhver videnskab som foreløbig og erfaringsmæssig. Naturlovene er, som tidligere nævnt, resultatet af en udvikling og ikke absolutte. Det er derfor vigtigt, at man konstant er åben over for nye iagttagelser og justerer den videnskabelige opfattelse efter disse. For som Peirce pointerer: "Det som har været utænkeligt i dag, har ofte vist sig indiskutabelt i morgen." (Christiansen, CSP2, 1988, s. 101).

Og i 1895 giver Boltzmann, formodentlig stærkt påvirket af det klassiske paradigmes svækkelse, en "Kuhn'sk" beskrivelse af videnskabens udvikling: "Lægmanden forestiller sig måske, at man føjer stadig nye tanker til de allerede eksisterende grundforestillinger og således gennem en kontinuerlig udvikling bedre og bedre forstår naturen. Denne forestilling er imidlertid fejlagtig, udviklingen i teoretisk fysik har altid været springvis. Ofte har man stadig mere udviklet en teori gennem årtier, ja gennem mere end et århundrede, således at den frembød et ganske overskueligt billede af en bestemt type forteelser. Så blev man bekendt med nye fænomener, som var i modstrid med denne teori, forgæves søgte man en tilpasning. Det kom til en kamp mellem tilhængerne af den gamle og af den helt nye opfattelse, indtil endelig den sidstnævnte trængte igennem. Man sagde da tidligere, at den gamle måde at forestille sig tingene på var forkert. Det lød som om, at den nye måtte være absolut rigtig og tilige, at den gamle (forkerte) måtte være fuldstændig nytteløs. For at undgå denne konflikt, siger man i vore dage blot: Den nye opfattelse er bedre, er en mere fuldstændig afspejling, en mere hensigtsmæssig beskrivelse af kendsgerningerne. Dermed er det klart udtrykt, at også den gamle forestilling var til nytte, i og med at også den gav et delvist billede af kendsgerningerne, således at det ikke er udelukket, at også den nye kan fortrænges af en endnu mere hensigtsmæssig beskrivelse." (Berning, 1989, s. 17).

Bevidstheden om det klassiske paradigmes utilstrækkelighed synes for alvor at have bredt sig omkring århundredskiftet. Vi skal hér fremhæve et sidste karakteristisk eksempel på den revolutionære fases forløb/udvikling.

Eksisterer atomerne ?

Inden for den klassiske fysik havde både termodynamikken og den kinetiske gasteori stor succes. Begge teorier kunne belyse mange af de i naturen observerede fænomener. Termodynamikken beskrev energitransporter på det makroskopiske plan, mens den kinetiske gasteori kunne forklare fænomener så som gstryk og temperatur. Men hvorledes sammenkædes de to teoridannelser? Dette problem havde den fysiske verdens store interesse, men kun meget få fysikere gav sig for alvor i kast med at forene det mikroskopiske og det makroskopiske beskrivelsesniveau.

Nogle fysikere anså enddog problemet for uløseligt, og valgte i stedet udelukkende at godtage en af de to teoridannelser. Herved opstod der i sidste halvdel af det 19. århundrede tre forskellige "skoler".

Enten var man, som f.eks. Tyndall og Loschmidt, en stærk tilhænger af atomteorien og den deterministiske tankegang, og mente dermed at en hver proces, kun kunne beskrives fyldestgørende på det mikroskopiske plan.

Eller man mente, som f.eks. Zermelo, at en beskrivelse af naturens processer kun giver mening på det makroskopiske plan. Denne overbevisning fik stor fremgang i slutningen af forrige århundrede, da de betydningsfulde fysikere Ernst Mach(1838-1916) og Wilhelm Ostwald(1853-1932) dannede en skole med navnet "energetik". Ifølge energetikken skal videnskaben udelukkende beskæftige sig med de umiddelbart sanselige fænomener. Det giver derfor ingen mening at indføre "hypotetiske" forestillinger om atomer, når man på ingen måde har iagttaget virkninger af et enkelt atom. Derimod er det videnskabens opgave at studere regelmæssigheder i observationerne på makroniveau, uden på nogen måde at søge indsigt eller forståelse for de bagvedliggende mikroskopiske mekanismer. Mach skrev således i 1883: "Atomer kan vi intetsteds sanse, de er tankeobjekter som alle andre substanser. Ja, atomerne tilskrives delvis egenskaber, som er i modstrid med alle hidtidige iagttagelser." (Kragh,1981,s.125)

Endelig kunne man, som Boltzmann, søge at få de to overbevisninger til at passe overens. Boltzmann var dybt foruroliget over energetikkens fremgang og søgte ihærdigt at modarbejde denne. Dog følte han sig meget alene i sin kamp, og opfattede sig selv som videnskabeligt isoleret.(Porter,1986). Fra omkring år 1894, med energetikkens fødsel, førte Boltzmann mange nedslidende og lange diskussioner med specielt Mach og Ostwald. Personligt var de tre fysikere udmærkede venner, men når det galdt faglige diskussioner, talte de fuldstændig forbi hinanden. De to parter diskuterede ud fra vidt forskellige teo-

retiske grundlag/metafysiske paradigmer, og kunne derfor aldrig nå til enighed.

Denne diskussion af atomernes eksistens samt af termodynamikkens og mekanikkens forening, illustrerer tydeligt svækkelsen af det eksisterende paradigme. Nye paradigmekandidater er dukket op, og forsøger uden held at overbevise hinanden. Et eksempel på konkurrerende paradigmers kommunikationsproblemer.

4.4 Delkonklusion.

Det har i den her beskrevne udvikling været karakteristisk i hvor høj grad opfattelsen af videnskabens rolle ændres i den revolutionære fase. Fra at have en uanfægtelige, evigt sand normalvidenskab, begynder videnskabsmændene i højere og højere grad at sætte spørgsmålstegn ved videnskabens evne til at løse givne problemstillinger. Denne tvivl bliver primært skabt pga. normalvidenskabens manglende evne til at forklare eksperimentelle data, og afspejles desuden i tidens nye filosofiske strømninger.

Samtidig er det interessant at se, hvorledes perioden præges af fremvæksten af adskillige konkurrerende paradigmer (f.eks. atomisterne og energetikerne), der på ingen måde kan diskutere sig frem til en enighed.

Den i dette kapittel vigtigste forudsætning for fremvæksten af det ny paradigme er afgjort opgøret med determinismen. Argumenter imod den deterministiske tankegang kan kun skabes via en erkendelse af statistiske metoders nødvendighed i fysikken, hvilket igen kræver en erkendelse af atomernes eksistens. En erkendelse, der, trods energetiker-diskussionen, blev almindeligt udbredt i begyndelsen af dette århundrede. Årsagen til dette var bla. opdagelsen af radioaktive stoffer og bestemmelsen af Avogadros tal - men mere herom i kap.7.

Udviklingen af den statistiske mekanik skal ses som et banebrydende arbejde for kvantemekanikkens dannelse. Den statistiske mekanik har først og fremmest leveret konkrete statistiske beregningsmetoder, men har derudover, med determinismens svækkelse, antydnet nye metoder til beskrivelsen af fysiske problemstillinger.

Kapitel 5

Termostatisk stråling.

Stråling er fra helt gammel tid kendt som lys i det synlige område (Planck,1932). Der var to forskellige teorier, til at forklare lyset. Den ældste var den Newtonske model, hvor lys var partikler, som bevægede sig i rette linier fra det legeme, som de udsendtes fra. Altså en stråle af partikler. Den anden var Huygens bølgemodel, som opfattede lyset som bølger, der udbredte sig. Denne model kunne forklare mange egenskaber ved lyset og har været fremherskende; men begge modeller har været benyttet i flæng uden en egentlig klar adskillelse. Desuden havde den danske fysiker og astronom Ole Rømer (1644 - 1710) i 1672 ved studier af Jupiters måner opdaget at "lyset tøver". Han bestemte lysets hastighed ud fra sine observationer med stor nøjagtighed. Dette gav en nogenlunde beskrivelse af, hvad lyset er, men ikke nogen egentlig forståelse af lyset.

5.1 Almen klassisk strålingslære.

Det første egentlige gennembrud for en abstrakt beskrivelse af lyset, kom ved studier af de elektriske og magnetiske kræfter (Keller,1983). På grundlag af disse studier opstiller James Clerk Maxwell (1831 - 1879) i 1873 de såkaldte Maxwells ligninger i vacuum:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (5.1.a)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (5.1.b)$$

hvor $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$, \mathbf{E} er det elektriske felt, \mathbf{B} det magnetiske, t er tiden, og konstanterne μ_0 og ϵ_0 er henholdsvis vacuum permeabiliteten og permittiviteten. Disse to af Maxwells ligninger angiver en sammenhæng mellem elektriske og magnetiske felter, således at en ændring af det magnetiske felt kan inducere et elektrisk felt, som så igen kan virke tilbage på et magnetisk felt, og derved danne en bølge, hvor \mathbf{E} og \mathbf{B} står vinkelret på hinanden og udbredelses retningen i rummet. Man kan ud fra bølgeligningen se,

Termostatisk stråling.

at en sådan elektromagnetisk bølge udbreder sig i vacuum med en bestemt hastighed c , som er bestemt ved :

$$c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \quad (5.1.c)$$

Denne teoretisk bestemte udbredelses hastighed lå meget nær den, som var blevet bestemt for lyset, så det var nærliggende for Maxwell at antage, at lys var elektromagnetiske bølger, som udbreder sig i rummet (Keller, 1983). For at vise rigtigheden af denne antagelse fremstillede den tyske fysiker Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894) i vinteren 1887-8 en lille elektrisk svingningskreds, som udsendte elektromagnetiske bølger i et andet område end lyset, og en lille modtager, som kunne opfange dem igen. For at vise at disse elektromagnetiske bølger havde lysets egenskaber, påviste han optiske egenskaber såsom refleksion, skygge virkning og gennemtrængning af visse stoffer ved radiobølgerne, som vi kalder dem idag. Desuden målte han deres udbredelses hastighed til at være lysets (Keller, 1983).

Hertz' forsøg har virket som et chok for den fysiske verden, da det var første gang, at optiske fænomener var forbundet med andet en lys (Planck, 1932). Fysikerne bliver hurtigt bevidste om, at der kommer stråling fra varme metaller, som har optiske egenskaber. Denne sammenhæng mellem lys og varmestråling bliver yderligere understøttet af, at det er muligt, at iagttage en kontinuerlig overgang mellem varmestråling og lys ved opvarmning af metaller. Det bliver med andre ord et væsentligt problem for fysikken at opstille en samlet teori for lys og varmestråling (Christiansen, 1893).

I det hele taget har fremkomsten af Maxwells ligninger virket opmuntrende på det fysiske samfund. Siden Ørstedes opdagelse af elektromagnetismen, havde fysikerne forsøgt at samle endnu flere af de på den tid kendte naturkræfter, såsom varme, lys, tyngde og elektromagnetiske kræfter, i en samlet teori. Med løsningen af Maxwells ligninger finder man ikke kun en sammenhæng mellem lys og elektromagnetiske kræfter, men også, som vi vil beskrive i dette afsnit, en sammenhæng med termostatikken. Dette har formentlig gjort, at de fleste fysikere har følt, at de var meget tæt på at være i stand til at beskrive alting. Således udtaler Albert Michelson i 1894: "Det ser ud til, at de fleste af de store tilgrundliggende principper er sikkert etablerede, og at videre fremskridt hovedsagelig består i at anvende disse principper på alle fænomener, vi bliver opmærksomme på [...] Fysikkens fremtidige sandheder skal søges på 6. decimal." (Thomsen, 1987).

Termostatisk stråling.

Når et varmt legeme udstråler varme, afgiver det energi. Derfor vil vi til at begynde med studere energien af elektromagnetisk stråling. Energitætheden af en elektromagnetisk bølge, der udbreder sig i vacuum er:

$$u = \frac{1}{2\mu_0} \mathbf{B}^2 + \frac{\epsilon_0}{2} \mathbf{E}^2 \quad (5.1.d.1)$$

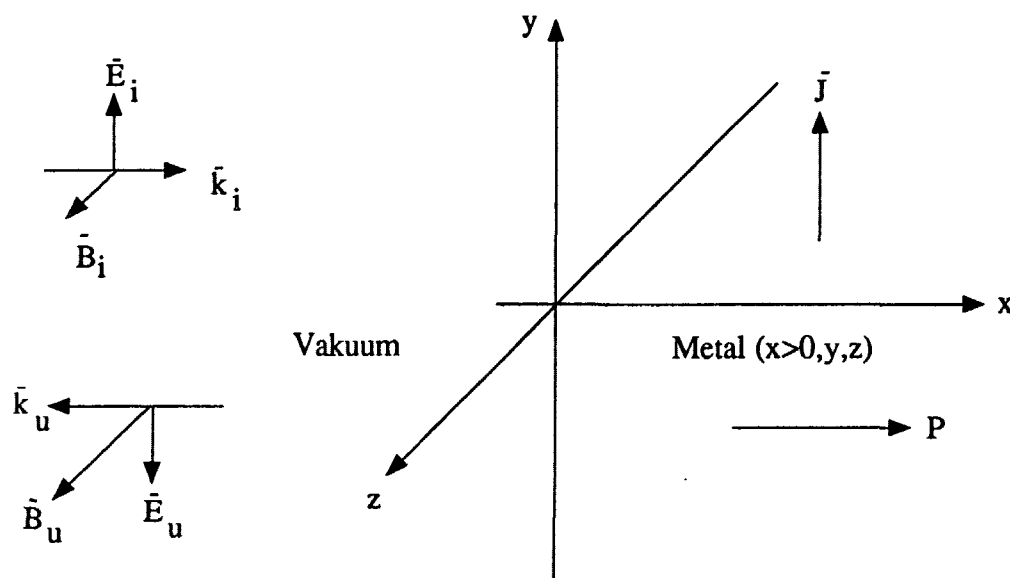
- og energistrømtæthedens \mathbf{s} er givet ved :

$$\mathbf{s} = \mathbf{E} \times \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} \quad (5.1.d.2)$$

\mathbf{E} og \mathbf{B} feltet udfører en harmonisk svingning, så hvis man midler energitætheden over en svingningstid, er energitætheden konstant. En anden vigtig parameter i termostatikken er trykket P . Det kan udledes, at sammenhængen mellem trykket og energitætheden er:

$$P = u = s/c \quad (5.1.e)$$

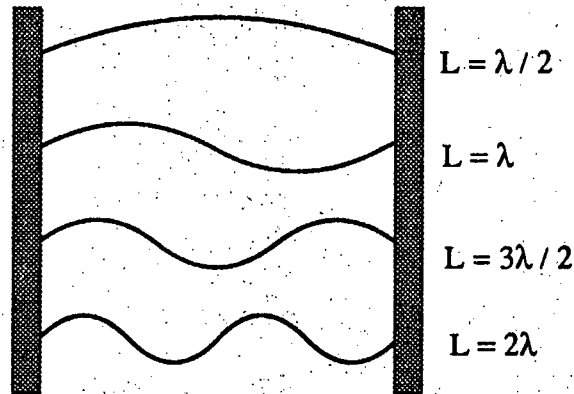
Hvor s er energistrømtætheden, c er lysets hastighed og P er trykket på en metaloverflade og u er energitætheden af en plan elektromagnetisk bølge, som falder vinkelret ind på overfladen. Den samlede energistrømtæthed s uden for metallet er $0 \text{ J/m}^2\text{s}$, idet energien i den indgående stråling skal være bevaret i den udgående stråling.



Figur 5.1.a. En plan elektromagnetisk bølge, som falder vinkelret ind på en overflade.

Termostatisk stråling.

I termostatikken vil man normalt se på elektromagnetiske bølger i en lukket metalkasse. Til at illustrere dette vil vi her kun behandle problemet endimensionalt, men i appendiks B er det behandlet tredimensionalt. Vi tænker os to metaloverflader på to legemer, hvor i mellem der står elektromagnetiske bølger. (Se figur 5.1.b)



Figur 5.1.b. Illustration af elektromagnetiske bølger mellem to metaloverflader.

Vi ved, at en elektromagnetisk bølge består, at et E- og et B-felt, som står vinkelret på hinanden. Hvis vi et øjeblik kun interesserer os for E-feltet, så vil dette kunne beskrives som en sinusfunktion. Da det elektriske felt parallelt om overfladen af en leder er 0 N/C, ved vi, at der kun er mulighed for at have stående bølger med knudepunkter ved de to metaloverflader. En sådan stående bølge kaldes også for en mode. Ved at regne lidt videre på (5.1.e) (se appendiks B), kan vi finde sammenhængen mellem tryk og energi i et hulrum med volumen V :

$$P = \frac{u}{3} = \frac{1}{3} \frac{U}{V} \quad (5.1.f)$$

hvor U er den samlede energi i hulrummet, og P er trykket.

5.2 Klassisk Hulrumstråling

Den tyske fysiker Gustav Robert Kirchhoff undersøgte i 1858 (før udviklingen af teorien for elektromagnetisk stråling afsnit 5.1) energistrømtætheden mellem et sort og et farvet legeme, som var i termisk ligevægt ved en temperatur T . En funktion $e_1(\nu, T)$ angiver energistrømtætheden af den stråling, som emitteres fra det sorte legeme med frekvensen ν . Funktionen $a_2(\nu, T)$ angiver den brøkdel af strålingen, som absorberes af det farvede legeme med frekvensen ν . Da systemet er i termisk ligevægt må det farvede

Termostatisk stråling:

legeme afgive den absorberede stråling igen i følge termodynamikkens 1. hovedsætning. Funktionen $e_2(\nu, T)$ angiver energistrømtætheden af den stråling, der udsendes fra det farvede legeme med frekvensen ν :

$$\begin{aligned} e_2(\nu, T) &= a_2(\nu, T) \cdot e_1(\nu, T) && \Leftrightarrow \\ e_1(\nu, T) &= \frac{e_2(\nu, T)}{a_2(\nu, T)} = K(\nu, T) \end{aligned} \quad (5.2.a)$$

Hvor $K(\nu, T)$ er en energifordelings-funktion, som beskriver fordelingen af energistrømtætheden på frekvenserne af stråling, som kommer fra et legeme. Hvis et legeme kan absorbere stråling på alle bølgelængder, så er $a(\nu, T)=1$, hvor ν er frekvensen af strålingen. $K(\nu, T)$ vil da kun afhænge af temperaturen, samt en generel fordeling på frekvenser, og legemet kaldes absolut sort. Denne fordelingsfunktion $K(\nu, T)$ defineres således, at :

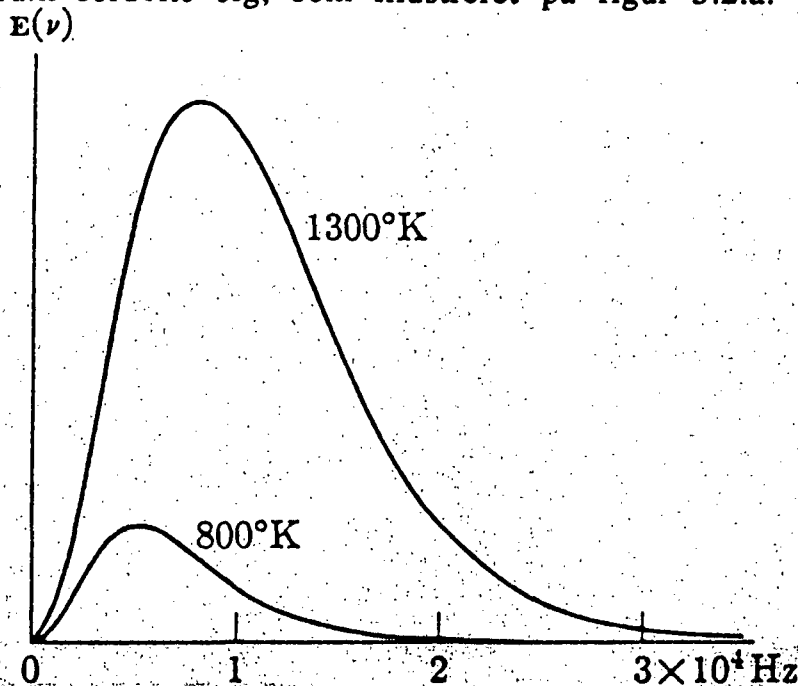
$$\begin{aligned} K &= \int_0^{\infty} K(\nu, T) d\nu && \Leftrightarrow \\ \frac{e_2(T)}{a_2(T)} &= K(T) = e_1(T) \end{aligned} \quad (5.2.b)$$

hvor K er den samlede intensitet af strålingen. Altså afhænger energistrømtætheden af strålingen fra et absolut sort legeme, kun af temperaturen og en universal energifordelingsfunktion $K(\nu, T)$. Formel (5.2.b) kaldes for Kirchhoffs strålingslov.

Et af problemerne ved at måle på et absolut sort legeme var, at et sådant ikke umiddelbart eksisterer. Normalt vil det være sådan af en del af strålingen reflekteres. Den danske fysiker C. Christiansen fandt på følgende løsning: Vi tænker os et hulrum, hvis sværtede vægge alle har samme temperatur T ; fjerner vi et lille stykke af hulrummets væg, vil det herved dannede hul set udefra være et legeme med absorptionsevnen 1, idet de udefra kommende stråler gentagende gange vil tilbagekastes fra hulrummets vægge og derved praktisk talt blive absorberede. Men når hullet således er absolut sort, må også den stråling, som ved den pågældende temperatur udstråles fra hullet, være udstrålingen fra et sort legeme. (Pihl, 1976).

Termostatisk stråling.

Man havde altså en sort støbejernscylinder, som var hul. Når cylinderen blev varmet op, blev der udsendt stråling fra cylinderen, og det antoges at der var termisk ligevægt inde i hulrummet (Kuhn, 1978). Intensitetsfordelingen af den stråling der kom fra et sådant hulrum fordelte sig, som illustreret på figur 5.2.a.



Figur 5.2.a illustrerer princippet for, hvorledes intensitetsfordelingen fordeles sig på de forskellige frekvenser ν , til forskellige temperaturer. Fordelingen er af samme karakter, som Maxwells hastighedsfordeling, men der er dog den væsentlige forskel, at arealet under kurverne ikke som for Maxwell-fordelingen er konstant, men derimod vokser med temperaturen.

Før det var muligt, at regne på denne stråling var der et andet problem, som måtte løses inden. Som vi tidligere har været lidt inde på, trænger stråling, med forskellig bølgelængde ikke lige langt ind i et metal. Dette betyder, at det er svært, at definere et helt præcist afgrænset system til at regne på. Vi kan følge tråden hos C. Christiansen. Hvis vi nu antager, at vi har en terning, hvis vægge er perfekte spejle; det vil sige, at de reflekterer al stråling, så vil systemet være afgrænset til overfladen på terningens indersider. Hvis vi nu har et lille hul i terningen, hvor vi slipper lidt stråling ind og skynder os at lukke igen, så kan vi sige at hullet har absorberet al strålingen. Hvis vi venter til der er termisk ligevægt inde i terningen, og derefter åbner hullet igen så strålingen i termisk ligevægt slipper ud, så kan vi sige, at hullet har emitteret stråling, og at hullet er absolut sort. Det næste problem er, at hvis al stråling kun reflekteres på siderne har systemet ingen chance for at komme i termisk ligevægt. Derfor er det nødvendigt, at antage, at der også er nogle kulstøvspartikler i terningen, nogle brownske partikler, som er så små, at det er muligt at se bort fra dem i beregningerne, men store nok til at absorbere lidt stråling, og på

den måde bringe strålingen i termisk ligevægt, efter noget tid. Det betyder ikke noget, at det tager lang tid, før strålingen er i termisk ligevægt, da vi kun interesserer os for strålingen, når den er kommet i termisk ligevægt. (Gamow,1966).

Boltzmann satte sig for at løse problemet om den samlede strålingsintensitets afhængighed af temperaturen. Da vi husker Kirchhoffs strålingslov (5.2.b), er den samlede intensitet K af strålingen, kun afhængig af temperaturen T .

Da det er rumfang V og temperatur T , som vi selv kan variere, og tryk P og entropi S er frie parametre, vil vi benytte helmholtzpotentialet :

$$\begin{aligned} F &= U - T S && \Leftrightarrow \\ dF &= dU - T dS - S dT \end{aligned} \quad (5.2.c)$$

indsættes værdien $dU = T dS - P dV$ fra termodynamikkens 2. hovedsætning i (5.2.c) fås :

$$dF = - P dV - S dT \quad (5.2.d)$$

Ved krydsdifferentiation fås Maxwell-relationen:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T \quad (5.2.e)$$

Indsættes udtrykket for P fra (5.1.f) i (5.2.e) fås :

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \frac{1}{3V} \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \quad (5.2.f)$$

Fra Termodynamikkens 2. Hovedsætning ved vi at varmekapaciteten ved konstant volumen er :

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V$$

Indsættes dette i (5.2.f) fås

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \frac{T}{3V} \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{S}{V} \quad (5.2.g)$$

da entropien S er en ekstensiv størrelse og proportional med rumfanget V , er forholdet mellem S og V et konstant forhold. Ved at

Termostatisk stråling.

reducere udtrykket, og integrere på begge sider af lighedstegnet fås:

$$\int \frac{\partial S}{S} = 3 \int \frac{\partial T}{T} + \text{konst.} \quad (5.2.h)$$

Den arbitrære konstant må blandt andet afhænge af rumfanget af terningen, så (5.2.h) giver :

$$S = V a' T^3 \quad (5.2.i)$$

hvor a' er en konstant. Dette udtryk tilfredsstiller Nernst sætning eller termodynamikkens tredje hovedsætning, som siger, at entropien er 0 J/K når temperaturen er 0K. Indsættes (5.2.i) i (5.2.g) fås :

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V &= 3 V a' T^2 = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \\ \Rightarrow U &= V a T^4 \end{aligned} \quad (5.2.j)$$

Denne lov kaldes Stefan-Boltzmanns lov*, og er fremsat af Boltzmann i 1884 (Kuhn,1978).

I begyndelsen af 1890'erne målte den tyske fysiker Wien på intensiteterne s og s_0 af strålingen med frekvenserne ν og ν_0 ved to forskellige temperaturer T og T_0 . Hvor ν og ν_0 er de frekvenser, hvor intensiteten $e(\nu, T)$ til den temperatur er størst. Han fandt sammenhængen mellem intensiteten og den tilhørende frekvens :

$$\frac{s}{s_0} = \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^4$$

Ved at tage hensyn til (5.2.j) finder Wien sin forskydnings lov (Mehra,1986):

$$\frac{\nu_0}{T_0} = \frac{\nu}{T} = \text{konst.} \quad (5.2.k)$$

Ved at diskutere dette resultat med Max Planck, kommer de i fællesskab frem til, at et sådant resultat må skyldes, at en mode med frekvensen ν må have en bestemt energi. Hvis det kan lade sig gøre, at finde en funktion $W(\nu, T)$, som beskriver energifordelingen

* Hvis k er Boltzmann's konstant, er $a = k / c$, hvor c er lyshastigheden.

Termostatisk stråling.

på de forskellige modes, til en vilkårlig temperatur, vil denne funktion $W(v,T)$ ganget med en funktion $m(v)$, som angiver modetætheden i frekvensintervallet $[v;v+dv]$ i et rumfang, være et udtryk for energitætheden:

$$u = m(v) W(v/T) \quad (5.2.1)$$

hvor $W(v/T)$ udtrykker energien af en harmonisk oscillator* med frekvensen v . (Rosenfeld,1976).

Denne lov, som kaldes Wiens lov, blev godt modtaget, og førte til, at mange fysikere begyndte at lave kurve fitning på intensitetsfordelingen, for at finde funktionerne i Wiens lov. Mange af disse forsøg har sikkert bygget på helt tilfældige kurvefitninger, mens andre har været mere teoretisk underbygget, men det lykkede ikke rigtigt at finde nogle funktioner, som passede både til korte og lange bølgelængder, samt høje og lave temperaturer. Et af problemerne ved at foretage en kurvefitning på hulrumstrålingen, var at det var næsten umuligt, at tilvejebringe den nødvendige empiri. Enten måtte man måle på store frekvensintervaller, og derved få for punkter at arbejde med, eller måle på små frekvensintervaller, hvor tilfældig variation var stor. Man må også huske på at det ikke var muligt, at måle strålingen i alle frekvensområder på den tid, så alt i alt var det ikke særligt let at foretage en sådan kurvefitning. Der var med andre ord nærmest uendeligt mange kandidater til funktionerne m og W . En genvej til at gætte funktionerne, er at udlede antallet af modes mellem v og dv i hulrummet teoretisk. På den måde fandt man funktionen $m(v)$ til (Se appendiks B):

$$M(v) = \frac{8\pi}{3} v^2 \quad (5.2.m)$$

En anden mulig genvej var at antage, at de harmoniske oscillatorer var atomer**, der svingende harmonisk i stoffet. Den kinetiske energi per frihedsgrad findes ved Maxwell-Boltzmanns ligefordelingslov (afsnit 4.2) til $kT/2$, hvor k er Boltzmanns konstant. Da der er tale om en harmonisk oscillation er den potentielle energi også $kT/2$, så den samlede energi er kT . Det vil sige at energitætheden er :

* Man har formentlig tænkt, at svingninger i ætheren skulle forklares, som noget i retning af molekylers svingninger i en gas.

** Men ikke nødvendigvis atomer, som vi opfatter dem idag.

Termostatisk stråling.

$$u = \frac{8\pi}{3} v^2 kT \quad (5.2.n)$$

Denne lov, der er kendt under navnet Rayleigh-Jeans strålings lov, som blev fremsat så sent som i 1905 (Kuhn,1978), er et sidste forsøg på at forklare hulrumstrålingen inden for det klassiske paradigme. Loven passer kun til de empiriske data i lavfrekvens området. Loven har kun været et problem for ganske få fysikere, som forsøgte at tilpasse loven til empirien, ved teoretiske forklaringer inden for "det klassiske paradigme". Boltzmann selv er heller ikke begejstret for denne brug af ligefordelingsloven: Hvordan kan molekylerne i en gas opføre sig som stive legemer? Er de ikke opbygget af mindre atomer [æther] (Kuhn,1978).

Det at loven først er offentliggjort i 1905 udelukker ikke at den har været kendt før. Det er højest sandsynligt at denne lov har været udledt mange gange inden, men er blevet gemt væk igen, fordi udtrykket giver en funktion af en helt anden kvalitet en den fysikere søgte.

Hvor det målte spektrum stiger til et maximum, hvorefter densiteten falder igen, forudsiger denne model, at strålingsdensiteten fortsætter med at stige, indtil uendeligt. Dette er en absurd påstand, som ville medføre, at f. eks. en isblok udsender hård gammastråling. Gamow illustrere det med et piano, hvis strenge ikke er dæmpede. Hvis en pianist tilfører energi til en dybeste tone på klaveret, ved at anslå den, vil energien forplante sig til de andre strenge. Efter et stykke tid vil alle strengene svinge med 1/88 af den tilførte energi, fordi der kun er 88 toner på klaveret. Denne model svarer til et volumen gas af 88 molekyler, og modellen holder. Da der udsendes stråling på uendeligt mange frekvenser fra et hulrum, opfinder Gamow "Lord Rayleigh & Sir James Jeans piano", som har uendeligt mange strenge. Hvis en pianist nu anslår en tone på dette piano, vil energien forplante sig til de lysere toner, end til det ultrasoniske område. Herefter vil klaveret give et hvin fra sig, og begynde at udsende radiobølger og infrarødt lys, og derefter fortsætte over hvidt lys til det ultraviolette og gammastråling. Til sidst vil der næsten ikke længere komme hørbar lyd fra pianoet, men næsten kun ultraviolet lys og hård gamma stråling. Dette fænomen kaldes "Den ultraviolette katastrofe" (Gamow, 1968). Naturligvis er dette kun et billede på, hvad der foregår i en Jeansk terning.

Det må desuden påpeges at funktionen kT umuligt kan være den funktion $W(v/T)$, da frekvensen ikke indgår. Det er altså klart, at det er nødvendigt med en ny naturkonstant, som knytter forholdet

mellem frekvens og temperatur sammen med energien af en oscillator. Det er med andre ord ikke muligt inden for den eksisterende fysik, at bestemme funktionerne i Wiens lov. Sammenfattende må vi sige, at Kirchhoffs strålingslov, kunne deduceres fra termodynamikkens 2. Hovedsætning og Stefan-Boltzmanns lov kunne ligeledes deduceres ud fra samme sætning, samt Maxwells ligninger. Ved at inducere en ny sammenhæng, kunne Wien finde yderligere karakteristika ved hulrumstrålingen, men ikke komme til en endelig strålingslov. Hvis man som flere formodentlig gjorde forsøgte at deducere en strålingslov fra Maxwell-Boltzmanns kinetisk gasteori, går det grumme galt. Her af kan man konkludere flere ting, og den mest almindelige konklusion har formodentlig været, at den kinetiske gasteori ikke var sand.

5.3 Kvantemekanisk hulrumstråling.

Som skrevet var Rayleigh-Jeans strålingslov et forsøg på at deducere en strålingslov ud fra allerede vedtagne sætninger, og dette forsøg gik galt. Dette betyder, at der i den positivistiske fysik kun er en metode tilbage, for at finde en strålingslov, nemlig ved induktion. Der blev foretaget en stor mængde målinger af intensitetsfordelingen på de forskellige frekvenser af strålingen fra et hulrum, med henblik på at blive i stand til at foretage en kurvefitning, som kunne beskrive hulrumstrålingen. Dette arbejde var, som vi tidligere har diskuteret, ikke nemt, og der fremkom en lang række modeller, som viste sig at være forkerte. En af de bedste kurvefitninger, som kom frem på denne måde i slutningen af 1800-tallet gav, at energitæthen af strålingen var

$$u(\nu, T) = b \nu^3 \exp(-a\nu/T) \quad (5.3.a)$$

hvor a og b er konstanter, som skulle kunne bestemmes eksperimentelt. Det er nu ikke rigtigt muligt, i praksis, da der er tale om en fitning, som kun gælder i højfrekvensområdet. Denne kurvefitning tillægges ofte Wien og kaldes også Wiens strålingslov, men den er egentlig fremsat af en anden tysk fysiker Friedrich Paschen (Kuhn, 1978). Denne lov regner Planck igennem. For at finde entropitætheden i hulrummet, hvis man kunne beskrive hulrumstrålingen som i (5.3.a), kan man til at begynde med dividere modestætheden ud af (5.3.a). Da modestætheden går med kvadratet på frekvensen må energien i middel per modes $W(\nu, T)$ med frekvensen ν , kunne udtrykkes som :

$$W(\nu, T) = h \nu \exp(-a\nu/T) \quad (5.3.b)$$

Termostatisk stråling.

hvor h er en konstant. Hvis Q er entropien af en mode med frekvensen ν og W er energien af samme mode, u er energitætheden i hulrummet, og s er entropitætheden i hulrummet så gælder der, at :

$$\frac{\partial Q}{\partial W} = \frac{\partial s}{\partial u} = \frac{1}{T} \quad (5.3.c)$$

hvor T er temperaturen i hulrummet, da man forlænger forholdet mellem entropien og energien i moden med modetætheden for at komme til forholdet mellem entropitætheden og energitætheden i hulrummet. Med andre ord er forholdet mellem energitætheden og entropitætheden uafhængigt af modetætheden. Vi kan nu få udtrykt $\partial s / \partial u$, idet :

$$\ln\left[\frac{W}{h\nu}\right] = -a \frac{\nu}{T}$$

↓

$$\frac{1}{T} = -\frac{1}{a\nu} \ln\left[\frac{W}{h\nu}\right] = \frac{\partial Q}{\partial W} = \frac{\partial s}{\partial u} \quad (5.3.d)$$

Her efter er det lidt svært at følge Planck. Han har formodentlig kun ønsket at finde en statisk lov for hulrumstrålingen, det vil sige at holde temperaturen konstant. Under denne forudsætning er :

$$\frac{\partial s}{\partial u} \approx \frac{s}{u}$$

hvis ikke man tilføjer for store energimængder til moden, sådan at entropitætheden ville være som løses til :

$$s = \frac{-u}{a\nu} \ln\left[\frac{W}{h\nu}\right] \quad (5.3.e)$$

Som det ses heraf opfylder den såkaldte Wiens strålingslov alle betingelser - det vil sige, at den er i overensstemmelse med termodynamikkens hovedsætninger, Stefan-Boltzmanns- og Wiens 1. strålingslov (5.2.1). Man kan sige, at det eneste, som (5.3.e) ikke stemmer med er empirien, hvilket er specielt uheldigt for en lov, som er fundet ved induktion. Årsagen skal findes der i, at der er næsten en uendelighed i matematiske udtryk, som kan beskrive målingerne mere eller mindre godt. Når vi forsøger af bestemme en funktion ved induktion, forsøger vi os frem med tilfældige simple matematiske udtryk, som kan beskrive fænomenet. Hvorfor så ikke gå den anden vej? I (5.3.f) er angivet en bestemt klasse af funktioner for entropitætheden af strålingen i et hulrum, af formen :

Termostatisk stråling.

$$s = \alpha(\nu) \cdot u \cdot \ln[\beta(\nu) \cdot W] \quad (5.3.f)$$

hvor α og β er funktioner. Planck begynder fra en ende af, og gætter på forskellige simple funktioner. Planck gætter nu ikke helt på må og få, men forsøger på lignende måde som vi har beskrevet oven for, at finde endnu flere nøgler til at gætte efter. Planck ser altså på forskellige funktioner og sammenligner dem med nogle udtryk fra fysikken som han kender, og tilpasser sine gæt til noget der ligner det allerede kendte. Dette arbejde er selvsagt meget svært at følge og vi vil ikke forsøge, at beskrive dem i detaljer. Det er selvfølgelig svært at sige noget bestemt om hvad Planck har tænkt. Men han siger selv, at han forsøgte at finde et pænt udtryk, og hvis dette var muligt, ville dette nok beskrive hulrumstrålingen (Planck,1949). Dette er dog ikke nok til at finde udtrykket, og han har nok haft ligefordelingsloven i bagehovedet. Han har formodentlig også opdaget, at forholdet mellem W og $h\nu$ er en dimensionsløs størrelse, og udtrykker nok noget med en statistik fordeling. Det vil derfor være nærliggende at antage, at dette tal enten er en sandsynlighed, eller et antal. Hvorom alting er, kommer han frem til et udtryk for entropien i lighed med :

$$s = \frac{h}{a} \ln\left[\frac{h\nu}{W} + 1\right]^{W/h\nu} \quad (5.3.g)$$

hvor a og h som før er konstanter. Ved at beregne energitætheden ud fra dette udtryk finder man :

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^3} \nu^2 \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{a\nu}{T}\right) - 1} \quad (5.3.h)$$

Hvilket er Plancks strålingslov, som han fremsætter i oktober 1900. Planck siger om sine overvejelser, at loven bygger på en heldig intuition (Planck,1949), og at det simpelt hen var det mest simple udtryk, som han kunne finde, som opfyldte alle de betingelser som han sætter op (Rosenfeld,1976). Det viste sig hurtigt, at dette udsagn var langt bedre end nogen tidligere fremsat model til at beskrive hulrumstrålingen. Så langt var dette intet andet end en matematisk formulering uden egentlig fysik mening, og blev hurtigt accepteret som den kvantitative løsning til Wiens strålingslov. Problemet for Planck var, at denne lov ikke baserede sig på empiriske data eller kunne deduceres ud fra nogen antagelser i den klassiske fysik. Planck ønskede at finde den sande fysiske betydning af modellen (Planck,1949) - hvad i fysikken kunne forklare at netop denne matematik beskrev hulrumstrålingen frem for al anden matematik,

Termostatisk stråling.

som man kunne finde på. Her er han formodentlig kommet i tanke om Boltzmanns arbejder. Entropien kan skrives som en abitrær konstant gange logaritmen til antallet af complexions også kaldet Boltzmanns lov :

$$S = k \ln(P) \quad (5.3.i)$$

Ved at sætte (5.3.i) og (5.3.g) lig hinanden finder han, at a kan udtrykkes som h/k . Herved bliver Planck i stand til at bestemme værdien af de to konstanter k og h . Han opdager nu, at k er en gaskonstant per molekyle. Planck beretter om sin opdagelse:

"Jeg fandt at [...] k repræsenterer den såkaldte absolute gaskonstant, som ikke referer til gram-molekyler eller mol, men til rigtige molekyler. Den er forståeligt nok ofte blevet kaldt Boltzmanns konstant. Men, det er et kompliment, da Boltzmann aldrig introducerede denne konstant, aldrig, så vidt jeg ved, overvejede han at bestemme dens normeriske værdi. Hvis han havde gjort dette, ville han have været nødt til at undersøge spørgsmålet om antallet af rigtige atomer - en tærskel, som han i middelertid overlod til sin kollega J. Loschmidt, mens han, i sine egne beregninger, altid holdt sig muligheden, at den kinetiske gasteori kun udgjorde et matematisk billede, for øje. Han var derfor tilfreds med at stoppe ved gram-molekyler." (Planck, 1949, s.42).

Det Planck lægger vægt på, er at Boltzmanns konstant, nu for første gang optræder i en model, hvor det ikke er nødvendigt at antage atomer for at komme frem til modellen, desuden er det pludselig muligt, at bestemme k uden at kende antallet af molekyler i en mol gas.

Planck giver sig til at undersøge, hvorledes antallet af complexions kan forklares. Til dette anvender han Boltzmann-statistik, og kommer på en underlig bagvendt måde, som vi ikke vil behandle her, frem til at antallet af complexions kan forklares ud fra en simpel antagelse af, at der er stor sandsynlighed for, at en såkaldt Planckske oscillator modtager eller afgiver et kvantum energi svarende til hf . Det vil sige, at middelenergiændringen af en oscillator kan skrives som et helt antal n gange hf :

$$E(n) = n h \nu \quad (5.3.j)$$

Dette betyder, at energikvanterne ikke fordeler sig i lige store antal, på modes med forskellige frekvenser. Sandsynligheden for at have n kvantum energi $P(n)$ i en mode med frekvensen ν . $P(n)$ finder vi ved at indsætte (5.3.f) i Maxwell-Boltzmanns fordelingen (4.1.n):

$$P(n) = \frac{1}{Z} \exp\left(\frac{-nh\nu}{kT}\right) = \frac{1}{Z} q^n \quad (5.3.k)$$

Hvis vi sætter $q = \exp(-h\nu/kt)$, kan Z bestemmes først, idet vi benytter :

$$\sum P(n) = 1 = \frac{1}{Z} \sum q^n = \frac{1}{Z} \frac{1}{1-q}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{Z} = 1 - q \Rightarrow P(n) = (1-q) q^n \Rightarrow$$

$$\sum_n P(n) = (1-q) \sum_n q^n = (1-q) q \sum_n q^{n-1}$$

$$= (1-q) q \frac{\partial}{\partial q} \sum q^n = (1-q) q \frac{\partial}{\partial q} \frac{1}{1-q}$$

$$= (1-q) q \frac{1}{(1-q)^2} = \frac{q}{1-q} = \frac{1}{\frac{1}{q} - 1}$$

Ved at indsætte udtrykket for q fås :

$$\sum_n P(n) = \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad (5.3.l)$$

Ved at gange med energikvantumet fås at middelenergien af en mode :

$$W(\nu, T) = h\nu \sum_n P(n) = \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad (5.3.m)$$

Vi ser at Plancks udtryk går mod Rayleigh-Jeans loven i lavfrekvensområdet, og mod Wien loven i højfrekvensområdet, som den også skal. Dermed forbinder Plancks strålingslov de to "klassiske" udtryk for hulrumstrålingen med hinanden. Planck konkluderer blandt andet på grundlag af dette arbejde:

"Gennem denne opfattelse bliver varmeteoriens anden hovedsætning med et slag fjernet fra sin isolerede stilling. Det hemmelighedsfulde ved naturens forkærlighed forsvinder, og

Termostatisk stråling.

entropiprincippet knytter sig som en velfunderet sætning i sandsynlighedsregningen til indførelsen af atomteorien i det fysiske verdensbillede.

Det kan ganske vist ikke nægtes, at dette skridt i foreningen af verdensbilleder har kostet mange ofre. Det fornemste offer er vel den afståelse fra en virkelig fuldstændig besvarelse af alle spørgsmål vedrørende enkelthederne i en fysisk proces, som enhver statistisk betragtning indebærer. Når vi kun beregner middeltal, lærer vi intet om de enkelte elementer, af hvilken de er dannet." (Berning,1989,s.257-58).

Planck lægger her vægt på, at det for første gang er muligt, at frembringe en model på grundlag af den statistiske gasteori, som er i fuld overensstemmelse med de empiriske data, hvilket gør, at den statistiske mekanik må betragtes som værende bevist.

Det er værd at bide mærke i, at det ikke bare er den kinetiske gasteori, som Planck beviser, men han udvikler samtidig en helt ny version. Boltzmann havde foreslået, at det ikke var lige sandsynlig at finde de enkelte molekyler med samme energi, men Planck udvider beskrivelsen til også at indeholde en betragtning om at alle værdier af energi ikke er lige sandsynlige for en given oscillation, men at energien falder i klumper eller kvanter. Selv om disse overvejelser blev fremsat af Planck allerede i 1900, er han ikke selv i stand til at komme videre med det han kaldte kvantemekanikken i første omgang, og henlagde problemet til senere løsning (Heilbron,1986). Overvejelserne om h'et i strålingsloven, blev enten ikke forstået eller accepteret, så i perioden frem til omkring 1908, blev Plancks teori i bedste fald accepteret som en kvantitativ løsning af Wiens strålingslov. Dette gav sig blandt andet udslag i at Wien fik Nobel prisen i 1908 - Planck kunne ikke selv modtage den med den begrundelse, at han "bare" havde bevist en allerede fremsat teori (Heilbron,1986). En gruppe fysikere, her iblandt Lorentz, var dog generet af strålingslovens a priori karakter, og søgte at deducere den fra klassiske begreber, men uden held. I 1908 kom Lorentz med et bevis for, at h·v på ingen måde hørte hjemme i den klassiske fysik (Heilbron,1986). Planck havde dog allerede i 1906, bestemt, at h var invariant, på linie med lysets hastighed (Heilbron,1986). Det blev med andre ord mere og mere tydelig, at Planck med sin strålingslov, havde tilført noget helt nyt til verden, som ikke var kendt før.

5.4 Delkonklusion.

Fremkomsten af Plancks strålingslov var andet og mere end blot en løsning af hulrumstrålingen, og en hypotese om energiens kvantisering. Samtidig med fremkomsten af modellen skete der et enormt skift i det metafysiske paradigme og i værdisættet i det tyske fysik miljø, fra et positivistisk orienteret værdisæt (se kap.3) til det man kunne frestes til at kalde tysk-pragmatisk. Planck kalder sig selv for pragmatiker (Planck,1932), men dette må skyldes, at han har fået kendskab til den amerikanske pragmatisme. Så vidt vi har kunne finde ud af, udvikler tyskerne denne videnskabsteori uafhængigt af den amerikanske, ved at diskutere Kant og Leibniz. Den Tyske Pragmatisme adskiller sig en smule fra den amerikanske. Forskelle ligger nok deri, at den amerikanske lægger sig op ad Kant, mens den tyske ligger tættere på Leibniz. Man kan nok undre sig over at det overhovedet var nødvendigt at bryde så kategorisk med "det gamle paradigme", som det var tilfældet, men det kan skyldes Plancks juridiske baggrund, som må være inspireret af Leibniz, og selve dømmekraften har interesseret Planck, tillige med at Planck var op mod ingen ringere end Mach.

(Et argument for at skifte værdisæt under løsningen af hulrumstrålingen er, at det overhovedet ikke er muligt, at løse problemet inden for "Det Klassiske Paradigmes" værdisæt, hvilket dog ikke nødvendigvis betyder at man gør sig det bevidst. Positivisterne troede som det kommer til udtryk i Michelsons citat i afsnit 5.1 at man kunne danne langt de fleste fremtidige love, ved deduktion fra de allerede vedtagne love - Hvilket forøvrigt også er tilfældet, så længe man holdt sig fra de mekaniske love, som på det tidspunkt nok blev betragtet som de aller mest velunderbyggede og sande love. Årsagen er ikke en fejl ved deduktionen, men en mindre fejl i mekanikken, som bare endnu ikke er blevet registreret. Eksemplet med Rayleigh-Jeans strålingslov tjener det formål, at illustrere styrken ved deduktion. Ud fra simple vedtagne grundantagelser (aksiomer) slutter man ved deduktion så meget som muligt, om hvilke iagttagelser man kan forvente at se i en given situation. Dette arbejde karakteriserer den normalvidenskabelige periode, og fortsætter indtil der fremkommer en iagttagelse, som ikke er forudsagt. Dette er tilfældet med Rayleigh-Jeans loven, som kun er gyldig i lavfrekvens området. I så tilfælde ved vi, at en eller flere af de grundantagelser, som vi er startet med er forkerte. Spørgsmålet er bare hvilke aksiomer der er sande og falske; dette kan deduktionsmetoden ikke svare på.

Termostatisk stråling.

I dette tilfælde må vi, hvis vi er positivister, gribe til induktion, for at finde den eller de falske grundantagelser. Her er metoden omvendt af før ; nu skal vi studere vores empiriske data - "læse" i verdensaltet. Vi må måle på intensitetsfordelingen af den stråling, som kommer ud fra et hulrum, for derefter at plote vores punkter ind i et koordinatsystem. Punkterne vil ganske givet ligge sådan, at det er komplet umuligt at finde en matematisk kurve, som går igennem alle punkterne på grund af måleusikkerheder. Derfor må vi gøre det næst bedste, at finde den matematiske kurve, som beskriver punkterne bedst. Det vil sige, at der skal være størst mulig sandsynlighed for at punkterne kommer til at ligge på kurven næste gang vi måler. På denne måde kom man frem til Wiens strålingslov. Nu skete bare det for positivisten uforklarlige at vi havnede i den stik modsatte situation end før. Wiens lov gælder kun i højfrekvens området? Denne gang skyldes det ikke fejl i vores grundantagelser, da disse udelukkende er ad hoc og dem kan der ikke laves om på. Der er altså fejl i induktionen.

Lad os nu være pragmatiske og undersøge vores metode en gang til, for at finde det sted, hvor det gik galt. Vi har vores måleresultater og plottet dem ind i et koordinatsæt og ønsker nu at finde en matematisk kurve, som er god til at beskrive punkterne. Vi har allerede erkendt at vi ikke kan finde en kurve som går igennem alle punkterne på grund af måleusikkerheder. Hvad består så måleusikkerhederne så af ? Dels grovheder i måleudstyret som påvirker vores målinger systematisk, men også en god del tilfældighed. Vi ved at ligegyldig hvilken kurve vi vælger, vil der altid kun være en given sandsynlighed for, at punkterne kommer til at ligge på kurven. Som da Vinci skulle have udtalt noget i retning af: I naturen er det kun i mekanikken at vi høster den matematiske frugt. Vi bestemmer os nu for den kurve, som vi synes er den bedste til at beskrive vores punkter. Vores slutning er ikke som vi først troede syntetisk a posteriorisk, men syntetisk a priori - vi slutter at hulrumstrålingen henhører til en bestemt matematisk funktion. Problemet er bare, at det ikke er den eneste mulige kurve, men der er en kontinuert uendelighed af kurver, der kan beskrive hulrumstrålingen. Vi kan altså ikke bare vælge tilfældige kurver og forsøge os frem, for på den måde kan det tage evigheder inden vi finder den rigtige, og det har vi ikke tid til at vende på.

Her benytter Planck sig af den tredje slutningsform, som er speciel for pragmatismen: Abduktion. Planck sidder og pusler med Wiens strålingslov, og lader sig vejlede af sin intuition. Planck ved, at entropien er additiv og sandsynligheden for et given energikvantum er multiplikativ, så det ville være smukt om entropien kunne skrives som en konstant gange logaritmen til

sandsynligheden, som Boltzmann havde gjort (se kap.4). Dette er så igen syntetisk a priori, idet vi henfører hulrumstrålingen til en bestemt klasse af funktioner. Vi kan altså med intuitionen som turistfører vandre rundt i matematikken ind til vi støder på et udtryk, som er så smukt, at vi mener at dette bestemt må udtrykke hulrumstrålingen. Dette er selv sagt en meget usikker slutningsform, så den må efterfølges af induktion. Vi spørger nu naturen, og denne model er en god model. Som sortlegemestrålingen illustrerer har vi altså brug for tre værdikriterier: Det smukke, det gode og det sande. Dette i modsætning til positivismen, som kun har to værdikriterier: det gode og det sande.

Planck bemærker rigtigt at ideerne ikke springer fuldvoksne ud af hovedet, som Pallas Athene sprang ud af hovedet på Jupiter (Planck,1932). - Archimedes sprang op af badet en morgen og råbte "Eureka!" (Jeg har det), men kunne ikke med det samme holde et foredrag om den specifikke massefylde. På samme måde kunne Planck ikke med det samme fortælle om virkningskvantet, men først efter flere forsøg lykkedes det ham at finde de grundantagelser, som var falske i den klassiske fysik. Undervejs må han have hørt sine kollegers bebrejdende bemærkninger: "Det havde jeg da fortalt dig.", for han nævner det som en væsentlig del af den pragmatiske arbejdsform (Planck,1932). Endvidere bemærker Planck meget apropos, at netop denne metode ikke resulterer i en retlinet videnskabelig udvikling, men snarer en zig-zag udvikling, hvor videnskaben fra tid til anden må foretage spring, og gå tilbage til sit udgangspunkt - sine grundantagelser - for at revidere sig selv.

Med hulrumstrålingen har vi ikke alene det slag, som udvikler sig til kvantemekanikken, men også et storslået eksempel på normalvidenskab. Under forsøgene på at løse sortlegemestrålingens gåde, presses den klassiske til den yderste grænse, og måske lidt mere. På den måde fremkommer der to strålingslove, Rayleigh-Jeans som kan beskrive lavfrekvensstrålingen og Wiens som kan beskrive høfrekvensstrålingen, men tilbage bliver et hul i miden, hvor strålingen klassisk ikke kan beskrives. Dette er samtidigt et hul i paradigmet - en ting som burde kunne beskrives, men ikke kan det. Dette kommer til at betyde, at videnskaben må revidere sig selv, og opstille nye antagelser, som også kan siges er mere simple; og en ny metafysik blomstre frem på den jomfruelige jord. Men af størst betydning er nok det skift i værdisættet, som afgøre, hvad der er rigtigt og forkert. Uden dette værdisæt er det simpelt hen umuligt, at drive fornuftig videnskab.

Kapitel 6

Den fotoelektriske effekt og lysets kvantisering.

Siden Huygens og Newton i midten af 1600-tallet fremkom med deres teorier for lys, henholdsvis bølgeteori og partikelteori, levede de to teorier nogenlunde fredeligt med hinanden. Fysikerne accepterede at teorierne hver for sig kunne redegøre for forskellige lysfænomener. Således kunne bølgeteorien bruges ved beskrivelsen af interferens, diffraktion og polarisation. Tilsvarende benyttede man Newtons korpuskular teori, som opfattede lyset som en strøm af partikler, ved beskrivelsen af refleksion og refraktion.

Men Maxwell's omfattende elektromagnetiske bølgeteori fra 1864, kunne på overbevisende måde forklare lysfænomenerne. En serie eksperimentelle resultater de følgende år, underbyggede troen på Maxwell's bølgeteori. Bl.a. påviste Hertz eksistensen af elektromagnetiske bølger i 1886.

6.1 Opdagelse af den fotoelektriske effekt.

Da Heinrich Hertz i 1887 eksperimenterede med elektriske udladninger mellem to elektroder, observerede han at intensiteten af uladningen øgedes hvis man belyste elektroderne med ultraviolet lys. (Annalen der Physik, 1887)*. Tilsvarende opdagelser blev samtidigt gjort af andre fysikere, bl.a. englænderen A. Schuster og svenskeren S. Arrhenius, uafhængigt af Hertz's forsøg. Denne proces kaldes for den fotoelektriske effekt, idet det er den elektromagnetiske stråling (lyset) der frigør ladningerne i metaloverfladen.

Hertz undlod at give en ordentlig forklaring på fænomenet, fordi han mente at der var brug for langt flere undersøgelser, før man kunne sige noget præcist. I de følgende år blev der da også foretaget en lang række forskellige målinger, for at indkredse fænomenet. Gennem disse mange undersøgelser, udført af mange

* Fra Jämmer, 1966.

forskellige fysikere, var man omkring århundredeskiftet nået til følgende egenskaber ved den fotoelektriske effekt :

Tyskerne E. Wiedermann og H. Ebert opdagede i 1888, at indfalden lys aflader en negativ ladet elektrode, men ikke en positiv.

Tyskeren Hallwachs fastslog i 1888 at temperaturen af det metal der lyses på, har ringe indflydelse på den fotoelektriske effekt, samt at rødt og infrarødt lys ikke kan frembringe fænomenet.

Den første fotocelle blev udviklet året efter af franskmændene A. G. Stoletow. Cellen kunne ved lysets påvirkning skabe en fotoelektrisk strøm. Han fandt at denne fotostrøm var strængt proportional med lysets intensitet. Tyskerne J. Elster og H. Geitel påviste samme år, at jo mere elektronegativt (evne til at fastholde elektroner) et metal er, jo dårligere er dets fotoelektriske følsomhed.

I 1899 bekræfter P. Lenard eksperimentelt et forslag fra J.J.Thomson, om at ladningsbærerne af den fotoelektriske strøm, er elektroner. Endvidere kunne Lenard påvise, at der fandtes en minimal frekvens ν_0 for lyset (tærskelfrekvens), for at det overhovedet kunne være i stand til at løsrive elektroner fra en metaloverflade. Han påviste også at de emitterede elektroners maksimalenergi, var uafhængig af lysets intensitet, men steg i takt med forskellen på lysets frekvens ν og metallets tærskelfrekvens ν_0 :

$$E_m \propto \nu - \nu_0 \quad (6.1.a)$$

6.2 Fortolkning af den fotoelektriske effekt ifølge den klassiske fysik.

Ifølge den klassiske elektrodynamik indeholder den elektromagnetiske stråling energi, som kan overføres til elektronerne på metaloverfladen, som herved kan frigøres. Fotostrømmen bør altså vokse med intensiteten af strålingen, hvilket passer med resultaterne.

Derimod virkede det uforståeligt ifølge den klassiske fysik, at fotoelektronernes maksimale kinetiske energi E_{\max} er uafhængig af lysintensiteten, samt at langvarig stråling med langbølget lys ikke formår at løsrive elektroner fra overfladen, ligemeget hvor høj intensiteten måtte være. Hvis lysintensiteten er meget svag, kan man dog alligevel iagttage elektronemission (hvis lysets bølgelængde er kort nok).

I 1902 indså Lenard, ud fra sine eksperimentelle resultater, at der ikke var overensstemmelse mellem den klassiske lysteori og hypotesen om, at der skete energitransmission ved den fotoelektriske effekt. Han mente ikke at fænomenet skyldtes energioverførsel fra

lyset til metallets elektroner, men snarere skulle forklares ud fra strukturen af metallets atomer. (Kragh, 1982).

Lenards hypotese var at atomet indeholdt et antal elektroner, med hver deres karakteristiske hastighed og tilhørende frekvens. Når lyset rammer atomet vil lyset udløse eller "trigge" en allerede eksisterende bevægelse, der så giver sig til kende ved udsendelse af fotoelektronerne. Trigningen sker kun ved en bestemt lysfrekvens, der er i resonans med elektronens frekvens i atomet. Den fotoelektriske effekt ansås altså for at være et resonansfænomen, og ikke en egentlig energioverførsel. Man kan tilsvarende forestille sig at man slår forsigtigt (lille energi) til en sammenpresset fjeder, hvorved denne frigøres øjeblikkeligt og afgiver en stor energi. Da atomets elektroner har forskellig energi, vil fotoelektronernes maksimal kinetiske energi E_m afhænge af metallet og lysets spektralfordeling, hvilket stemte overens med resultaterne. På lignende måde vil fotoelektronernes hastighedsfordeling afspejle lysets spektralfordeling, fordi denne så at sige udvælger lige netop de elektroner i atomet hvis bevægelse kan triggere. På denne måde kunne man altså ifølge Lenard få adgang til en del af de atomare elektroners hastighedsfordeling, og derved ad eksperimentel vej få adgang til atomets struktur.

Det bør i denne forbindelse nævnes at Lenards triggerhypotese ligger tæt op ad Thomsons "plumkage"-atommodel, som var almindeligt accepteret fra 1900-1911. (Kragh, 1982).

6.3 Einsteins lyskvante hypotese.

Frem til 1905 blev energikvantehypotesen kun anset for at være brugbar, i forbindelsen med beskrivelse af vekselvirkningen mellem stråling og stof. Planck bruger kvantehypotesen, som beskrivelse af en materiel oscillator med frekvensen ν , som kun kunne optage og afgive energi i diskrete værdier i multipla af $h \cdot \nu$.

Men i 1905 fremkommer Einstein med sin artikel "On a heuristic viewpoint concerning the production and transforming of light", hvori han fremkommer med hypotesen om lysets kvantisering. I artiklen stiller Einstein et stort spørgsmålstejn ved den generelle gyldighed af den eksisterende elektromagnetiske teori for lys.

Einsteins artikel var ikke blot et forsøg på at forklare den fotoelektriske effekt, som det er hævdet i flere lærebøger (Alonso & Finn, 1976 og Lindgren, 1971 m.fl.), men derimod en teori af langt større betydning. Nemlig en teori for eksistensen af lyskvante.

Den fotoelektriske effekt og lysets kvantisering.

I sin teori tager Einstein udgangspunkt i Wien's strålingslov fra 1896 (se kapitel 5), som giver et rigtigt udtryk for hulrumstrålingens energitæthed for høje frekvenser og lave temperaturer :

$$u_v = \alpha v^3 e^{-\beta v/T} \quad (6.3.a)$$

hvor α og β er eksperimentelt fastlagte konstanter. Når Einstein ikke brugte Plancks strålingslov som udgangspunkt for sin teori, så skyldtes det, at han anså denne for værende i modstrid med hans egen teori. (Annalen der Physik, 1906)*.

Einstein betragter et hulrum med volumen V med en stråling med en given spektralfordeling $u(v)$. Han beregner entropien for strålingen i et frekvensinterval fra v til $v + dv$, med energien $E_v = V u_v dv$ og får :

$$S = \frac{-E_v}{\beta v} \left(\log\left(\frac{E_v}{\alpha V v^3 dv}\right) - 1 \right) \quad (6.3.b)$$

Hvis en given hulrumstråling tænkes at gå fra en tilstand med volumen V_0 til en tilstand med volumen V , udregner Einstein entropiændringen til at være :

$$\begin{aligned} S - S_0 &= \frac{-E_v}{\beta v} \left(\log\left(\frac{E_v}{\alpha V v^3 dv}\right) - 1 - \log\left(\frac{E_v}{\alpha V_0 v^3 dv}\right) + 1 \right) \\ \Leftrightarrow S - S_0 &= \frac{-E_v}{\beta v} \log\left(\frac{V_0}{V}\right) \end{aligned} \quad (6.3.c)$$

For et øjeblik vender Einstein sig til den kinetiske gasteori, og betragter et delvolumen V af et totalt gasvolumen V_0 . Sandsynligheden for at finde den samme partikel i et delvolumen V , efter en given tid, er givet ved udtrykket (V/V_0) . Idet sandsynligheden for at finde en hvilken som helst partikel i et givent delvolumen, må være proportional med størrelsen af delvolumenet. Forudsat at partiklerne antages at være ligeligt fordelt i rummet. Tilsvarende må sandsynligheden for at finde de samme n partikler i et delvolumen være $(V/V_0)^n$. Entropiændringen for et sådant system, idet P angiver sandsynligheden for en given tilstand, bliver da :

$$S = k \log(P) \Rightarrow S - S_0 = k \log\left(\frac{V}{V_0}\right)^n = \frac{R}{N} \log\left(\frac{V}{V_0}\right)^n \quad (6.3.d)$$

* Fra Jammer, 1966.

Den fotoelektriske effekt og lysets kvantisering.

For at sammenligne dette udtryk, med entropiændringen for hulrumsstrålingen omskrives formel 6.3.c, således at kvotienten til logaritmen for de to udtryk bliver ens, nemlig (R/N) :

$$S - S_0 = \frac{E_v}{\beta v} \log\left(\frac{V}{V_0}\right) = \frac{R}{N} \log\left(\frac{V}{V_0}\right)^{NE_v / \beta v R} \quad (6.3.e)$$

Den matematiske lighed mellem de to udtryk 6.3.d og 6.3.e, fik Einstein til at foreslå at strålingen, ligesom gassen, kan opfattes som bestående af n uafhængige partikler. Hver af disse strålingspartikler, strålingskvanter, har energien $(R\beta v / N)$, idet :

$$n = \frac{NE_v}{\beta v R} \Rightarrow E_v = n \left(\frac{R\beta v}{N} \right) \quad (6.3.f)$$

Udtrykt ved Plancks konstant h , er β givet ved (h/k) , hvorved E_v kan omskrives til :

$$E_v = n \left(\frac{R}{N} \beta v \right) = n k \frac{h}{k} v \Rightarrow E_v = n h v \quad (6.3.g)$$

Dette fører til Einsteins postulat, at strålingen består af et endeligt antal lokaliserede energikvanter, senere kaldet fotoner, hver med energien $h\nu$.

Denne hypotese om lysets kvantisering, satte Einstein i stand til at give en simpel forklaring på bl.a. den fotoelektriske effekt.

Fænomenet kan opfattes som udveksling af energien $R\beta v / N (=h\nu)$ fra lyskvanterne til løsrivelse og bevægelse af fotoelektronerne. Man kan nu opstille en formel til beskrivelse af den fotoelektriske effekt :

$$E_m = h\nu - \phi \quad (6.3.h)$$

ϕ udtrykker den minimale energi, der skal tilføres metallet for overhovedet at emmitere elektroner. ϕ svarer til løsrivelsesarbejdet, også kaldet for arbejdsfunktionen.

Einsteins beskrivelse kræver altså, at lyset opfattes som en strøm af partikler, samt at elektroner i metaloverfladen kun kan optage energi i kvanter. Rammes en elektron af en foton med mindre energi end ϕ , vil elektronen ikke optage denne energi. Det er enten eller, så der sker ikke ophobning af energi i metallets elektroner, ved belysning af metallet med for energifattige lyskvanter ($E_v < \phi$).

Frem til Einsteins 1905 hypotese, var den fotoelektriske effekts afhængighed af frekvensen ikke undersøgt. Men ud fra sin ligning kunne Einstein forudsige en lineær sammenhæng mellem E_m og ν .

6.4 Udviklingen efter lyskvante hypotesens fremsættelse.

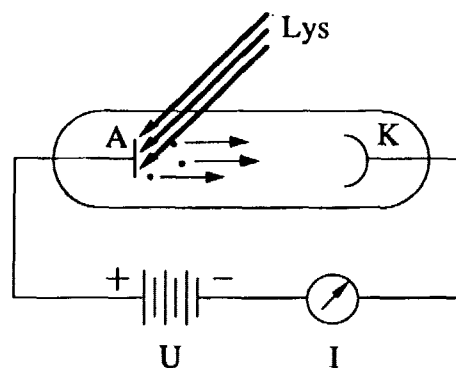
Som beskrevet i indledningen til kapitlet, var den udbredte holdning hos fysikere i slutningen af 1800-tallet, at lys var elektromagnetiske bølger der udbredte sig i en æter. For at imødekomme Einsteins teori, måtte man altså opgive den elektromagnetiske bølge teori for lys, og vende tilbage til Newtons korpuskular teori. Det var der ikke mange fysikere der var parat til, ikke mindst fordi Einsteins teori ikke ved sin fremkomst var eksperimentelt underbygget.

Derudover havde man andre forklaringer på den fotoelektriske effekt, eksempelvis Lenards triggerhypotese, som redegjorde herfor i klassiske termer.

Einstein havde ved fremsættelsen af sin teori, indrømmet at den elektromagnetiske bølge teori for lys, var så fast etableret at den formentlig aldrig ville blive afløst af nogen anden teori. Men han påpegede samtidigt at, optiske undersøgelser kun redegjorde for lysets opførsel i et givent tidsrum. Det kunne ikke udelukkes at en bølge teori for lys var utilstrækkelig, når den øjeblikkelige værdi af bølgefunktionen skulle tages i betragtning. For eksempel ved vekselvirkning mellem stof og stråling, som emission og absorption. (Jammer, 1966).

Indtil 1908 var der ikke foretaget systematiske målinger, der belyste sammenhængen mellem fotoelektronernes maksimale kinetiske energi E_m og frekvensen ν af det lys, som forårsagede elektronemissionen. Men fra dette år frem til 1916 foretog den engelske fysiker Robert A. Millikan en lang række omhyggelige målinger, for at fastslå $E_m(\nu)$ -sammenhængen.

For at bestemme fotoelektronernes kinetiske energi, konstruerede Millikan et glasrør som vist på figur 6.4.a. Ved hjælp af en udvendig spændingskilde opnår man et spændingsfald fra anoden A til katten K på U volt.



Figur 6.4.a. Millikans rør til fastlæggelse af fotoelektronernes maksimale kinetiske energi.

Den fotoelektriske effekt og lysets kvantisering.

Belyser man nu anoden med UV-lys vil nogle af elektronerne få tilstrækkelig nok kinetisk energi til at slippe over til katoden, og der vil give anledning til en fotostrøm I . De elektroner der ikke har tilstrækkelig kinetisk energi, vil blive tilbageholdt af den positive anode. Den spænding der lige netop tilbageholder selv de mest energirige elektroner, kaldes for stoppotentialet. På denne måde kunne Millikan bestemme fotoelektronernes maksimale energi E_m , idet $U \cdot q_e = E_m$, hvor q_e er elektronens ladning.

Ved at eksperimentere med forskellige metaller og lyskilder, kunne Millikan i 1916 fastslå den lineære sammenhæng mellem E_m og v . Han fastlagde proportionalitetsfaktoren til $6,57 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, hvilket stemmer godt overens med den værdi for h , som Planck udregnede i 1900. Millikan fastslog også at proportionalitetsfaktoren var uafhængig af overfladematerialet.

På alle måder var Millikans resultater altså en eftervisning af Einsteins ligning for den fotoelektriske effekt: $E_m = hv - \phi$. Men selv om de eksperimentelle data talte for Einsteins ligning, var man ikke parat til at acceptere Einsteins lyskvantehypotese. Fysikere som Compton, Richardson og Hughes, der alle arbejdede eksperimentelt med den fotoelektriske effekt, ville ikke acceptere Einsteins lyskvantehypotese. Millikan tog i 1916 også afstand til "Einsteins bold, not to say reckless, hypothesis, which has now been pretty generally abandoned". (Kragh, 1982). Så sent som i 1923 var Millikan ikke overbevist om rigtigheden af Einsteins hypotese, selv om hans ligning for den fotoelektriske effekt var generelt accepteret.

6.5 Delkonklusion.

Einsteins teori for lysets kvantisering er et godt eksempel på nogle af problemerne en forsker støder ind i, når man fremkommer med nye tanker der er i klar modstrid med det almindeligt accepterede. Einstein abducerede sig frem til sin lyskvantehypotese, ud fra kendskab til entropiændingen for hulrumsstrålingen, og ved at kæde dette sammen med sin viden fra termodynamikken, om eksistensen af molekyler. Han ser en lighed i de matematiske udtryk for entropiændringen, for to vidt forskellige fænomener, og gætter på en ensartethed for disse. Men han må også have haft en god fornemmelse for at han gættede rigtigt. Hans hypotese førte til enklere forklaringer på f.eks. den fotoelektriske effekt, frem for mere og mere indviklede ad hoc løsninger.

Ikke destomindre er det først med påvisningen af Comptonspredningen i 1922, at Einsteins lyskvanter vandt almindelig accept. (Kragh, 1982). Comptons forsøg viser jo netop at lyskvanter bærer såvel energi som impuls, hvilket jo netop er typiske partikel-egenskaber. Den sene accept skyldes givetvis også, at Einsteins hypotese antydede en ubegrænset brug af kvantiseringsmodellen. (Jammer, 1966). Det har formentlig også spillet ind, at de eksperimentelle data for den fotoelektriske effekt, var sparsomme frem til omkring århundredeskiftet.

Når det har været svært at tro på Einsteins hypotese for hans samtidige fysikere, skyldes det også, at han fremkommer med fundamentalt nye ideer, som har været umuligt at forklare i klassiske termer. Kuhn beskriver normalvidenskaben blandt andet ved begrebet om fælles eksempler. (Se afsnit 2.1) "Videnskabsmanden løser gåder ved at følge tidligere gådeløsninger". Men dette er netop ikke muligt i en revolutionær fase, som ved udviklingen af kvantemekanikken. Einstein har været nødsaget til at benytte nye gådeløsninger, for at komme til sin hypotese.

Da Einstein i 1913 blev indstillet til optagelse i det tyske videnskabelige akademi, hed det blandt andet i en anbefaling fra Planck, Warburg, Nernst og Rubens: "Summing up, we may say that there is hardly one among the great problems, in which modern physics is so rich, to which Einstein has not made an important contribution. That he may sometimes have missed the target in his speculations, as, for example, in his hypothesis of light quanta, cannot really be held too much against him, for it is not possible to introduce fundamentally new ideas, even in the most exact sciences, without occasionally taking a risk." (Jammer, 1966).

Heri ligger måske også en anderkendelse af, at man ved introduktionen af nye ideer og tanker, må benytte sig af abduktion. Turde tage en chance og tro på den.



– Oprindeligt var sproget et middel til forståelse – men efterhånden er det blevet et middel til misforståelse.

Kapitel 7

Historien om atomets identifikation.

Atomteoriernes udvikling skal nu rides op. Vi begynder vores beskrivelse helt tilbage i antikken, men vil fokusere på teoriernes fremkomst i slutningen af forrige århundrede.

7.1 Atomteori frem til 1800-tallet.

Begrebet "Atom" blev så vidt det vides, første gang anvendt med en vis udbredelse til følge af grækeren Leukippos og hans elev Demokrit omkring 400 fvt. Det filosofiske grundlag var groft sagt ideen om, at verden var bygget op af uendeligt mange, evige, udelelige, uforanderlige mindste bestanddele, evigt svævende rundt i et tomrum, uden nogen gud eller anden styrende magt. Universet var ikke skabt af noget eller nogen, det var evigt. I følge Demokrit eksisterer der ingen gud. Den eneste udvikling, forandring, der finder sted, skyldes sammenstød mellem atomerne. Action at a distance, i Newton-mekanisk forstand, er ikke et begreb Demokrit benytter sig af. Selve navnet atom hentyder til en af atomernes tænkte egenskaber, idet det betyder udeleligt.

Atomteorien, der var af rent spekulativ natur, vandt en vis udbredelse i antikken. Men med Platon og Aristoteles som modstandere måtte dens tilhængere kæmpe en ulige kamp, og teorien fik på længere sigt kun marginal indflydelse. I denne sammenhæng skal det retfærdigvis nævnes, at Aristoteles giver en fyldig, om end ikke altid helt korrekt, fremstilling af Leukippos og Demokrits tanker. Faktisk er Aristoteles en af vor tids bedste kilder til Leukippos og Demokrits tanker. Det, der gjorde Aristoteles til modstander af Demokrits verdensopfattelse, var ikke ideen om atomer forstået som naturens mindste byggestene. Aristoteles introducerer selv et sådant begreb under navnet "minima naturalis". Det, der falder Aristoteles specielt for brystet, er det rent mekanistisk/deterministiske syn, Demokrit lægger for dagen, hvor mennesket ikke har en sjæl, hvor der ikke er en gud til og hvor universet er uendeligt og kaotisk.

At atomerne yderligere skulle bevæge sig rundt i ingenting, gjorde ikke situationen bedre, idet Aristoteles argumenterer for, at vakuum slet ikke kan eksistere. Hans *minima naturalis*, er nok at opfatte som naturens mindste dele, men tilsammen danner de et kontinuum, i modsætning til atomernes diskretiserede verden. Endelig kolliderer Aristoteles og Demokrit, når det gælder kemiske forbindelser. Ifølge atomteorien er kemiske forbindelser sammenknytninger af atomer, der hver for sig bevarer deres oprindelige egenskaber, men tilsammen skaber nye. Ifølge Aristoteles vil et antal *minima naturalis*, der indbyrdes reagerer, omdannes til en ny *minima naturalis*, uden nogle af de oprindelige egenskaber indbygget. For Aristoteles var der altså ikke noget i vejen for, at et stof helt omdannedes til et andet; bly til guld for eksempel. Denne opfattelse var i høj grad medvirkende til senere tiders forsøg på at lave guld.

En sidste opblomstring oplevede atomteorien, da romeren Lucretius skrev det store digt *De rerum natura*, der var stærkt inspireret af, og byggede på, atomtanken.

Middelalder.

Fra Lucretius skrivelser på Asterix og Cæsar tid ca. 50 fvt, er det ikke just de store spekulationer angående eksistensen af en atomiseret verden, der præger billedet. Frem til ca. 1200 er kirken meget skeptisk overfor næsten alt og alle. Det, der var interessant, var spørgsmål om Guds almagt, sjælens udødelighed m.m. I denne periode, hvor et meget platonisk inspireret verdensbillede blev forkyndt og praktiseret af kirken, ansås naturfilosofiske spørgsmål ikke for passende. Araberne anvendte dog op gennem middelalderen i ny og næ atombegrebet, specielt indenfor kemien. Noget de kunne tillade sig, da de ikke var underlagt samme strenge dogmer, hvad naturfilosofien angik. I slutningen af 1200-tallet holder Aristoteles så sit indtog, efter så sent som i midten af samme århundrede at have været erklæret kættersk.

Renæssancen.

Frem til renæssancen og i begyndelsen af 1600-tallet er den Aristotelanske skole nærmest enerådende indenfor den katolske kirkes rækker. Så sent som i 1624 erklærede det Parisiske parlament det under dødsstraf forbudt, at docere nogen lære, der stred mod Aristoteles, herunder atomteorien. På trods af disse forhold, hvor Paris nok må siges at udgøre en af skolastikkens mest reaktionære højborge, var der rundt om i Europa forskellige, der talte højt om, hvad de mente; også selv om det stred mod kirken. Omkring år 1500 identificerer italieneren Agostino Nifo, stærkt inspireret af araberne Avarröes, de af Aristoteles definerede

Historien om atomets identifikation.

"minima naturalis" som værende de bestanddele, der indgår i kemiske reaktioner, Tyskeren Sennert identificerer i samme periode Aristoteles' Minima naturalis med Demokrits atomer. Atomideen stiftede Sennert bekendtskab med gennem genopdagelsen af "de rerum natura" i 1417. En genopdagelse der gav et rimeligt samlet alternativ til den aristotelanske fysik og verdensopfattelse. Et alternativ der dog blev undertrykt af kirken, i det omfang det lod sig gøre, jvf. den parisiske praksis halvandet århundrede senere.

Det blev franskmændene Gassendi, der i begyndelsen af 1600-tallet fik modificeret Demokrits tanker til en form, acceptabel for kirken. Argumentet var enkelt; Det var oprindeligt Gud der havde skabt alle atomerne, hvis antal var endeligt, og indgivet dem deres bevægelse. Altså var Gud stadig verdens skaber og almægtig; i modsætning til Demokrits ateistiske billede, der end ikke gav nogen plads til sjælen.

Denne udlægning gav sammen med Descart og Boyles arbejder og tanker, en fremragende platform for senere tiders tro på det mekanistiske verdensbillede, som de tre herrer da også selv var ivrige tilhængere af. Et yderligere incitament til at betragte verden som mekanistisk, var Newtons indførelse af infinitesimalregningen og den newtonske mekanik. Newton havde en enorm indflydelse på sin samtid, hvorfor hans teorier og hans fulde overbevisning om atomernes eksistens for alvor satte gang i den videnskabelige verdens diskussion af atomteorier.

Newtons tyske kollega Leibniz's indflydelse i denne sammenhæng er meget svær at vurdere i detaljer. Hans arbejdsfelt var enormt, omfattende næsten alle tænkelige discipliner. Han opstillede et sindrigt system til forklaring af verdensopbygningen, den såkaldte monadeteori. Teorien blev, sammen med en lang række andre forhold, diskuteret ivrigt med samtidens kapaciteter, herunder i høj grad Newton. Den vandt kun ringe tilslutning, da den er meget spekulativ og vanskelig forståelig, og dens indflydelse er i hovedsagen begrænset til esoterisk og alkymistisk orienterede kredse. I korrespondancen med Newton, er et af stridspunkterne, hvorvidt de mindste partikler, enheder, har en størrelse, hvilket Newton er overbevist om. Oven i købet har han en, om end vag, idé om denne størrelse. Ved at studere lysbrydningen i sæbeboblers overflade, mente han at kunne konkludere, at sæbeboblepartiklerne ikke kunne være over 10^{-6} cm.

Monadeteorien, der godt nok ikke er atomistisk, indbyder i sin opbygning til at blive stillet op mod et atomistisk syn. At det bliver

med en englænder Leibniz diskuterer sine ideer, ligger godt i tråd med den daværende geografiske fordeling af overbevisninger. På de britiske øer var kirkens stilling langt svagere og mere splittet, end det var tilfældet på kontinentet, hvilket medførte et meget friere miljø for åben diskussion af emner, gående på tværs af kirkens interesser. Dette forhold er af afgørende betydning for Englands forskningsmæssige førestilling indenfor atomfysikken helt op i vort århundrede.

Boskovich.

Et halvt århundrede efter Leibniz og Newtons brevveksling ophører, som følge af sidstnævntes død, udgiver den kroatiske naturfilosof Boskovich sit hovedværk, *Theoria Philosophiae Naturalis*. Heri gør han sig til talsmand for, at atomer er punktformede udstrækningsløse størrelser. Boskovich antager, at der over længere afstande virker tiltrækkende kræfter mellem atomerne. Disse kræfter afløses, efterhånden som afstanden mindskes, af frastødende kræfter. Han antager da, at atomerne binder sig til hinanden, ved at ligge i hinandens kraftfelter, i den afstand, hvor de to modsat rettede kræfter ophæver hinanden. Det er på denne måde, at de udstrækningsløse atomer alligevel får en rummelig udstrækning. Det lykkedes med denne model at give en rimelig deduktiv forklaring på en række forhold som krystalformer, gnidningsmodstande, tilstandsformer m.m.

At beregningerne ikke er umiddelbart brugbare, set fra en ingeniørs synspunkt, forhindrer på ingen måde teorien i at få en plads, som rig inspirationskilde for senere forskere. Arbejdet er konceptmæssigt fremsynet på en lang række punkter. Af særlig interesse i dag er Boskovich overvejelser om, hvorvidt verden opfører sig på samme måde på mikroniveau som på makroniveau. Han finder ingen grund til at antage, at dette er tilfældet, og allerede i selve grundlaget for teorien ser vi da også et kraftbegreb anvendt, som næppe finder sin lige i makroverdenen. At der er tale om et kraftbegreb, understreger Boskovich selv, ligesom han understreger, at hans teori er en model. Han anser kun sine tanker som en mulig vej til, rent konceptmæssigt, at kigge mikroverdenen i kortene.

7.2 Atommodeller frem til 1900.

Det næste store spring i atomteoriernes lange skabelse, kommer med Dalton. Man ved ikke præcis, hvad der inspirerede Dalton til i 1808 at udgive en bog om atomer og kemiske reaktioner. Det forekommer dog sandsynligt, at det er hans mangeårige arbejde med meteorologien, der i sidste ende leder læreren fra Manchester på sporet. Allerede hans tidligere arbejder har høstet anerkendelse, og følgelig var Dalton ingenlunde noget ubeskrevet, blad da hans store værk kommer i 1808.

Allerede i 1793 argumenterede han uigendriveligt for, at atmosfærisk luft er en blanding af forskellige gasser, snarere end det er en homogen kemisk substans. Senere, i 1801, udarbejder han, hvad eftertiden kalder, Daltons lov. Dvs. påstanden om, at for en ideel gasblanding, vil totaltrykket være en sum af de forskellige gassers partialtryk. Året efter, samtidig med Gay-Lussac, påviser han, at forskellige luftarter udvider sig lige meget ved isobar opvarmning. Og endelig i 1805 finder han, at opløseligheden for forskellige gasser i en væske er proportional med den enkelte gas partialtryk.

I sit værk om atomer bruger Dalton Lavoisiers definition af et grundstof, sammen med antagelsen om, at de enkelte grundstoffer altid indgår i en given kemisk forbindelse, med de samme vægtforhold. Ud fra disse antagelser udarbejder han en tabel over en lang række grundstoffers relative vægt. Relativ i forhold til brint, som han sætter lig 1. Det medfører for eksempel, at ilt får vægten 7. Grunden til denne fejls opståen ligger i, at Dalton antager, at gasser er enatomige, og dermed at for eksempel ilt og brint reagerer i forholdet 1:1 under dannelsen af vand. Resultatet var bl.a. at vands formel langt op i århundredet var HO og ikke H₂O. Når Dalton antog, at gasser var enatomige, skyldtes det hans tro på, at alle kemiske forbindelser er simpelst mulige.

Berzelius.

Med udgangspunkt i Daltons arbejder og antagelsen om at lige rumfang gas indeholder lige antal molekyler/atomer, udfører svenskeren Berzelius analyser af mere end 2000 kemiske forbindelser de kommende 30 år og bestemmer i den forbindelse en lang række stoffers atom- og molekylvægte. Forøvrigt med en nøjagtighed, der sely i dag, må anses for rimelig.

I løbet af sin karriere nåede Berzelius frem til den konklusion, at de kræfter, der holder de enkelte atomer sammen i et molekyle, måtte være af elektrisk natur. Denne antagelse var med til at undertrykke Avogadros teori om, at ens atomer kunne danne diatomige moleky-

ler. Der ville ikke mellem de to atomer optræde elektriske forskelle, der kunne forklare tiltrækningen mellem dem.

Faraday.

I de næste ca. 30 år frem til 1860, hvor den første internationale standardisering af atomvægt finder sted, hersker der aldeles anarkistiske tilstande indenfor den del af den videnskabelige verden, der beskæftiger sig med atomernes relative masser. Enhver brugte sit eget noteringssystem og sine egne fysiske enheder, med det forudsigelige resultat til følge, at ingen umiddelbart var i stand til at læse hvad de andre skrev. Ofte var det simpelthen umuligt at oversætte et system til et andet.

Berzelius var tidligt på den, da han påstod at elektricitet og kemiske forhold havde noget med hinanden at gøre, men han var ikke alene. Så tidligt som 1833 udformede Faraday elektrolyseloven på ren kvantitativ basis.

Loven kan udtrykkes som : $M = I \cdot T \cdot A / V$

M; massen af udfældet eller frigjort stof.

I; Strømstyrken.

T; Tiden.

A; Atomvægten.

V: Valensen af det opløste stof.

Ved at sætte forholdet A/V lig 1 for brint, udregnede Faraday, hvad han kaldte, den relative elektrokemiske ækvivalent for en lang række stoffer. Faraday pointerede, at ligningen lige så godt kan vendes om, således at det er den samlede ladning, der har passeret elektrolysebadet som måles. Rent faktisk konstruerede Faraday en lang række instrumenter til måling af den samlede passerede ladning, for på denne måde at måle mængden af frigjort stof fra opløsningen. Faradays arbejder gav ikke nogen endelig afklaring på spørgsmålet om, hvorvidt verden var opbygget af atomer eller ej. Men hans resultater blev af mange opfattet som et vigtigt indicium for, at dette var tilfældet.

På trods af de opnåede resultater var der endnu ved vægtstandardiseringen i 1860, langt fra enighed om, at atomer rent faktisk eksisterede. Specielt Ostwald og hans fæller angreb atomteorien kraftigt. De ønskede at opbygge fysikken og kemien på rent fænomenologiske forhold. Det vi i dag vil kalde makroskopiske forhold. Specielt termodynamikken udgjorde det materiale, Ostwald ønskede de fysiske og kemiske videnskaber bygget op om. På trods af Ostwald og senere andre indflydelsesrige menneskers

Historien om atomets identifikation.

indvendinger mod atomteorien, var tilslutningen bred og tenderede ikke til at mindskes. Dertil var triumferne indenfor bla. den kinetiske molekyleteori og den strukturelle organiske kemi for overbevisende i det lange løb.

Maxwell.

På dette tidspunkt har Maxwells ligninger længe været kendt. At den elektromagnetiske stråling stammer fra accelererede elektriske ladninger, og dermed skulle være elektromagnetisk stråling, giver dog visse forståelsesproblemer for samtiden. Der er f.eks. ikke meget, der tyder på, at der eksisterer frie, elektriske ladninger i en glødende jernstang. Maxwell havde selv visse betænkeligheder angående sin teori om elektriske ladninger. Han selv var fortalere for, at elektriciteten måtte forstås som en kontinuert strøm af æther, og altså ikke som en diskretiseret strøm. En holdning som forøvrigt fastholdes af A.A. Michelson så sent som i 1902.

I 1881 holder Helmholtz foredrag i London og gør sig her til talsmand for, at hvis der eksisterer molekyler, må der ud fra de erfaringer Faraday gør sig, også eksistere kvantiseret elektricitet. Der råder omkring 1880 stor uenighed og forvirring i fysikernes rækker. Det eneste, de fleste er enige om, er, at der må eksistere atomare partikler, måske endog subatomare partikler, der er elektrisk ladede, og som på en eller anden måde er i stand til at bevæge sig mellem hinanden.

Lys.

Omkring 1885 udfører Hertz så de forsøg, der endelig skal give Maxwell den eksperimentelle støtte, som hidtil ikke har været mulig. Hertz ønskede specielt at undersøge den forudsagte udsendelse af lyslignende elektromagnetisk stråling fra accelererede elektriske ladninger. Forsøget påviste, som bekendt, til fulde Maxwells forudsigelser. Efter Hertz's forsøg blev det almindeligt accepteret, at lys rent faktisk er elektromagnetisk stråling.

I fortsættelse heraf udførte den hollandske fysiker Zeeman i 1896 en række forsøg, hvor han anbragte en lyskilde, f.eks. natriumdamp i en gasflamme, i et kraftigt magnetfelt. Han fandt ikke nogen forandring af spektralliniernes bølgelængde, når han slog magnetfeltet til eller fra. Han fortsatte først eksperimenterne efter at have stiftet bekendtskab med et identisk forsøg udført af Faraday. Zeeman, der var en stor beundrer af Faraday, mente, at hvis Faraday havde ofret nogen interesse for dette forsøg, ville han ikke selv affærdige det, men anstrenge sig yderligere. Resultaterne begyndte at vise sig, i form af en udtværet D-linie i spektret, da han

indførte et langt stærkere magnetfelt end tidligere. Zeeman søgte da hjælp hos Lorentz, der i længere tid havde arbejdet med problemerne vedrørende elektrisk ladede partiklers interaktioner. I løbet af forbløffende kort tid viste Lorentz, at spredningen af D-linien kunne forklares, hvis man antog, at de elektrisk ladede partikler, der var ansvarlige for udsendelsen af den pågældende spektrallinie, bevægede sig i meget små, cirkelformede baner. Der ville i så fald gælde, at banen ville undergå en indsnævring eller udvidelse, afhængigt af magnetfeltets placering, med en påfølgende udtværing eller indsnævring af den afgivne spektrallinie til følge. Ud fra disse arbejder konkluderer Lorentz, at det er partikler med masse, der er bærere af elektriske ladninger. Den mere præcise forudsigelse af ændringen i forhold til det ydre magnetfelts styrke, kom an på forholdet mellem de ladede partiklers masse og ladning. De påviste et forhold, der var meget lig det, Thompson kort før havde påvist for ladede partikler i katodestråling.

J.J.Thompson.

Det ladning/masse-forhold som Lorentz og Zeeman hentyder til, stammer fra J.J.Thompsons mangeårige arbejder med elektriske udladninger i fortyndede gasser. Hans arbejder tager i 1880-erne sin begyndelse.

Kontinentale fysikere, specielt tysksprogede, har beskæftiget sig en del med emnet, og er nærmest alle af den overbevisning, at katodestrålerne er af elektromagnetisk natur. At de er en forstyrrelse af æteren. (Michelson og Morleys forsøg i 1881, havde ganske vist vist, at lysets hastighed ikke afhænger af observatørens hastighed i forhold til lyskilden. På trods af de problemer, det giver i forhold til at forsvare ætherteorien, levede denne videre i bedste velgående en snes år endnu.) Thompson mente derimod, at der var tale om en form for partikelstråling. Umiddelbart skulle man mene, at det var nemt at skelne mellem to så forskellige typer stråling. Men den lange diskussion om emnet viser det modsatte.

Man fandt, at alle former for katodestråler har visse fælles egenskaber, uanset hvilke materialer der bruges som katode og indstrålingsflade; De bliver udsendt i evakuerede rør, gennem hvilke en strøm løber, har rette baner, kan få glas til at fluorescere, afbøjes i magnetiske felter, udsendes generelt vinkelret fra katodens overflade, kan forårsage kemiske reaktioner, kan når de fokuseres opvarme tynd metalfolie til dette er rødglødende, er bærere af moment, og endelig er alle egenskaberne uafhængige af katodematerialet. Der forligger altså en lang række egenskaber som, uanset materialevalg, er identiske.

Historien om atomets identifikation.

Gennem sine eksperimenter bestemmer Thompson det før nævnte masse/ladnings-forhold. Det gør han for såvel katode-partikler som for fotoelektriske partikler, og de forhold han når frem til, er meget lig hinanden. Lorentz og Zeeman er heller ikke længe om at identificere partiklerne som værende identiske.

Der udføres i perioden 1897 til 1906 over tyve eksperimenter til belysning af e/m forholdet. Resultaterne er meget varierende, gående fra $0,56 \cdot 10^{11}$ coulomb per kg til $1,865 \cdot 10^{11}$ coulomb per kg. Nu var det ikke længere kun Thompson, der fandt partiklerne. Partiklerne blev fundet snart sagt alle steder, man rettede blikket hen; Bequerel fandt, at beta-partiklerne var elektroner, og Thompson fandt selv, at partikeludsendelsen fra hvidglødende metaller, den såkaldte Edison-effekt, bestod af elektroner. I alle tilfælde skete identificeringen ved bestemmelse af masse/ladningsforholdet.

Thompson antog meget tidligt, at elektronen havde universel karakter, at den var at finde alle steder. Det er primært på baggrund af denne antagelse, at Thompson i dag står som opdageren af elektronen. Andre kunne for så vidt godt ud fra tilsvarende arbejder, have postuleret som Thompson, de gjorde det blot ikke.

Thompson begyndte da for alvor at beskæftige sig med muligheden for at opstille en troværdig atommodel. På dette tidspunkt er der faktisk ikke, siden Newton, sket så meget med hensyn til hvordan man i praksis betragtede atomet. Rutherford skal på et tidspunkt have beskrevet situationen som: "Jeg er opdraget til at betragte atomet som en lille hård fyr, rød eller grøn alt efter smag".

Thompsons første model var det såkaldte elektronatom, hvor han antog, at atomerne var opbygget udelukkende af elektroner. Med elektronens ringe masse, på daværende tidspunkt sat til ca. $1/1000$ af brintatomets, ville de ikke helt heltallige vægtforhold mellem brint og andre grundstoffer, kunne forklares. Hvad der ikke lod sig forklare med denne model, var stoffernes elektriske neutralitet. Et punkt, Thompson selv var klar over, var afgørende for, at modellen ikke kunne holde på længere sigt. Hans egen formulering angående opretholdelsen af den elektriske neutralitet var: "et eller andet, som får den kugle, hvori kornene er spredt, til at virke som om, den havde en positiv elektrisk ladning". (H.Krag.1973).

I perioden frem til 1903 viderudvikler Thompson sin model, bl.a. inspireret af Kelvin. Den endelige model beskrev atomet som en nærmest masseløs, homogent positivt ladet kugle, hvori

elektronerne var spredt i velordnede mønstre. Modellen led stadig af svagheder, både med hensyn til sædet for og naturen af den positive ladning. Men også med hensyn til stabilitet i tiden. Grundlaget for modellen er klassisk, og med et blik på Maxwells ligninger og elektrostatikken, regnede Thompson på mulige stabile elektronfordelinger. Af nemhedshensyn dog kun i to dimensioner. Analysen førte frem til en model, der indeholdt en række koncentriske cirkelbaner indeni den positivt ladede kugle. Hver af disse baner indeholdt et antal hurtigt kredsende elektroner, færrest i de inderste, flest i de yderste.

Modellen fik, sine oplagte mangler til trods, en god modtagelse i det fysiske miljø. Den var bl.a. i stand til at forklare Zeeman-effekten, idet den jo netop indeholder de, af Lorentz forudsagte, kredsende elektroner. Blandt de fænomener, den ikke kunne forklare, var balmerformlen nok den mest tungtvejende. Efterhånden som arbejdet med forskellige sider af atomernes opførsel fortsatte, blev det klart, at elektronerne kun udgør en meget lille del af atomets samlede masse. I 1906 finder Thompson selv, at antallet af elektroner i hvert atom, ligger mellem $1/2$ og 3 gange atomvægten. Dette forhold betød, at grundlaget for Thompsons egne beregninger af atomets stabilitet, var brudt sammen. Yderligere betød det, at den masseløshed der var tillagt den positivt ladede kugle, heller ikke kunne have hold i virkeligheden. Begge dele er forhold der mærkværdigvis ikke kom til at præge debatten.

7.3 Rutherford og Bohr.

Lige efter århundredskiftet blev der forslået en række modeller, der dog ikke fik nogen synderlig betydning. Disse var alle bygget op på koncepter hentet fra astronomien gennem tiderne. Franskmanden Perrin foreslog i 1901 en planetmodel, med en positiv kerne og derom kredsende elektroner. Japaneren Nagaoka foreslog en model i næsten Kopernikansk ånd, idet han lavede samme antagelser som Perrin med hensyn til selve opbygningen, men herudover antog at lysudsendelse skyldtes perturbationer i elektronernes baner.

I samme periode, som Thompson udfører sine arbejder med elektronen, gøres der rundt om i Europa en lang række iagttagelser hidrørende fra radioaktivitet. Disse er tilsammen med til at underbygge atomteorien, da deres natur kun lader sig forklare ved hjælp af antagelsen om atomernes tilstedeværelse. Soddy og Rutherford fremsætter omkring 1902 teorien for radioaktivt henfald. Denne

Historien om atomets identifikation.

indeholder erkendelsen af henfaldsrækkerne, henfaldslovene og af at henfald er spontane enkeltatomare processer.

Den egentlige årsag til den konstaterede radioaktivitet er der dog ikke nogle slagkraftige bud på. Ydermere er det umuligt at forklare, hvor oprindelsen til de to forskellige former for stråling, alfa og beta skal søges. Thompsons atommodel er stadig den eneste alment kendte, og denne var blot accepteret som en midlertidig løsning.

Rutherford.

Mysteriet ved radioaktive henfald var, at man ikke vidste hvor partikeludsendelsen præcist stammede fra. Problemet løses heller ikke med det næste store skridt på vejen mod en endelig model: New Zealanderen Rutherfords atommodel.

Gennem sine arbejder med afbøjningen af alfa- og beta-partikler, ved disses passage gennem tynde folier, finder Rutherford, at fordelingen af ladningerne og masserne, må være væsentligt anderledes, end de af Thompson foreslåede fordelinger. Under arbejdet bliver det langsomt tydeligere. Men et enkelt meget væsentligt incitament til denne overvejelse, lader til at stamme fra et forsøg, hvor Rutherfords gruppe bombarderede et tyndt guldfolie med alfa-partikler.

Ordet bombarderede, er iøvrigt meget sigende for Rutherfords forhold til alfa-partikler. Han har ved en del lejligheder udtrykt, at han betragtede dem som en form for atomernes haubitsergranater; små tunge fyre med stor gennemtrængningsevne og retningsstabilitet. Med denne indstilling kan det derfor ikke undre, at det omtalte forsøg gav anledning til adskillige spekulationer, da det til alles overraskelse, utvetydigt viste sig, at nogle af alfa-partiklerne kom tilbage, som når en gummibold rammer en mur. Rutherfords egen kommentar år senere var; "Jeg var lige så forbløffet, som havde jeg beskudt et stykke silkepapir med en 15" granat, og det sendte granaten tilbage". (Thomsen,1987).

Thompsons forklaring på afbøjningerne som helhed, er at spredningen er multipel, d.v.s. er et resultat af mange gentagne små afbøjninger, hver for sig forårsaget af de kredsende elektroner, eller de næsten masseløse positive kugler. Rutherfords opfattelse, indtil den famøse tilbagekastning, var ikke blankt afvisende overfor Thompsons forklaring. Om end han i stigende grad mente, den trængte til videre afklaring. Imidlertid beregnede Geiger og Marsden, der arbejdede sammen med Rutherford, at dette ikke kan være tilfældet. Såvel de observerede spredninger, som de deciderede tilbagekastninger, kan i praksis kun stamme fra enkeltammen-

stød. Sandsynligheden for at spredningen er multipel er så lille, at den uden risiko for fejltolkning, kan afskrives. Men hvis spredningen hidrører fra enkeltsammenstød, må det betyde, at det er yderst usandsynligt, at en alfapartikel overhovedet rammer noget, den kan blive afbøjet af, endsige tilbagekastet fra, da langt de fleste af partiklerne passerer næsten uforstyrret gennem folien. Den mest sandsynlige afbøjning for en alfa-partikel, der passerer et $4 \cdot 10^{-7}$ m tykt guldfolie, viser Geiger, er ca. 0,87 grader.

På dette tidspunkt, ca. 1909-10, havde man ikke nogen egentlig idé om størrelsen af alfa-partikler. Rutherford havde i 1909, sammen med Royds, påvist at alfa-partiklen var en dobbeltladet heliumion. Og det var stort set, hvad man vidste. Under de videre arbejder opstiller Rutherford en atommodel, der adskiller sig kraftigt fra Thompsons. Det er den, der offentliggøres i 1911.

Rutherford's atommodel.

Rutherford går ud fra, at atomet er opbygget af en centralt placeret positiv kerne, indeholdende hele atomets masse, og med en dimension så lille, at den regneteknisk kan betragtes som punktformet. Om denne kerne kredser et antal elektroner i et antal, hvis samlede ladning modsvarer den positive ladning i kernen. Således at atomet udadtil fremtræder elektrisk neutralt. Under de videre regninger, antages også alfa-partiklens udstrækning at være af punktstørrelse. Med denne model er det muligt, rent matematisk, at redegøre for den spredning, som observeres. Simpelthen ved at regne på de elektriske felters indbyrdes påvirkninger.

Rutherford var under udarbejdelsen af atommodellen bekendt med Nagaokas atommodel, og troede fejlagtigt at den, under klassiske forudsætninger, havde vist sig stabil ved visse elektronfordelinger. Det er interessant at bemærke, at mens Rutherfords model, dog med en del besvær, vinder anerkendelse som en bedre model end Thompsons, havde den tilsvarende model fremsat af Perrin 11 år tidligere, næsten ingen indflydelse. Imidlertid viser der sig hurtigt at være et meget afgørende problem med modellen: Den er ikke stabil. Med et så alvorligt handicap påhæftet sin egen model, kan det derfor undre at Rutherford i et brev til Boltwood benævner Thompsons model, som en der "kun egnede sig til et museum for videnskabelige kuriositeter". (Kragh, 1973). At Rutherford's model ikke var stabil, krævede ikke de store regnetekniske evner at demonstrere, hvilket da også hurtigt blev gjort.

Beregning af atomets levetid ifølge Rutherford.

Hvis man regner med at elektronen har en cirkulær bane, med radius r , må den, for at være i dynamisk ligevægt, være påvirket af en coulombkraft, der er lige så stor som centrifugalkraften, blot med modsat rettede fortegn :

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = m \omega^2 r \Leftrightarrow a = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{mr^2} \quad (7.3.a)$$

hvor vinkelfrekvensen $\omega = 2\pi\nu$, r er baneradius og a er her accelerationen rundt i cirkelbanen. Det gælder, at det er ændringen i accelerationen, da/dt der medfører stråling.

Skeler man til den klassiske elektrodynamik, der på nuværende tidspunkt er uomtvistelig, også hvad ladede partiklers elektromagnetiske bølgeudsendelse angår, ses, at den accelererede elektron må udsende stråling. Ifølge Larmor er energitabet ved den elektromagnetiske udsendelse for en ladning e , med accelerationen a , per tidsenhed lig med:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e^2 a^2}{3c^3} \Leftrightarrow \frac{-1}{(4\pi\epsilon_0)^3} \frac{2e^6}{3m^2 c^3 r^4} = \frac{dE}{dt} \quad (7.3.b)$$

Idet udtrykket for accelerationen a i formel (7.3.a) indsættes.

Den samlede energi af systemet er givet ved summen af den potentielle energi mellem de to ladninger og den kinetiske energi, elektronen besidder.

Den potentielle energi fås ved at integrere coulombkraften over afstanden mellem elektronen og kernen, d.v.s. radius i banen, r . Den kinetiske energi fås fra udtrykket for et cirkulende legeme. Den potentielle og den kinetiske energi er henholdsvis:

$$E_p = -\int_r^\infty \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} dr = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (7.3.c)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2 = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (7.3.d)$$

Historien om atomets identifikation.

Det medfører, at den samlede energi er:

$$E_p + E_k = E = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{2r} \Leftrightarrow \frac{dE}{dr} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{2r^2} \quad (7.3.e)$$

Formindskelsen af baneradius per sekund bliver da :

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{dE} \frac{dE}{dt} = \frac{-1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{4e^4}{3m^2 c^3 r^2} \quad (7.3.f)$$

Ved at sætte r , ved $T=0$, til $10^{-10}m$ fås den samlede tid, T , som elektronen er om at falde ind i kernen. Dette kan udtrykkes som:

$$T = \int_{r_0}^0 \frac{dt}{dr} dr = (4\pi\epsilon_0)^2 \frac{c^3 m^2 r_0^3}{4e^4} \quad (7.3.g)$$

hvilket efter indsættelse af de kendte værdier for de forskellige konstanter, giver en samlet levetid på ca. 10^{-10} sekunder. Denne udregning blev oprindeligt foretaget af nogle af Thompsons studerende og viste definitivt, at Rutherfords model måske nok kunne forklare alfa-partikelspredning, men at den som helhed ikke kunne være blot tilnærmelsesvis sand. (Kragh,1973)

Bohr's atommodel.

Man stod nu med to atommodeller, begge med alvorlige handicaps, men også med operationelle sider, som pegede i retning af, at de hver især havde fat i noget rigtigt. Problemet blev løst i 1913, da Niels Bohr får publiceret sin artikel "On the Constitution of Atoms and Molecules" i tidsskriftet *Philosophical Magazine*.

Bohr havde siden 1911 opholdt sig i England. Først en kort periode som studerende under Thompson, hos hvem han havde svært ved at finde forståelse for sine ideer, senere i Manchester sammen med Rutherford. Af ukendte årsager fik Bohr ikke noget særligt at gøre med Rutherfords atommodel. Det lader først til at være i begyndelsen af Juni 1912, at han bliver fuldt opmærksom på den.

Anledningen var en artikel i *Philosophical Magazine* skrevet af Manchester-fysikeren Charles Darwin, oldebarn til "Den rigtige Darwin" som Bohr udtrykte det. Artiklen handlede om en model for alfa-absorbtion i stof. Indholdet havde Bohr ikke tidligere diskuteret med Darwin, men under læsningen konstaterede Bohr, at

Historien om atomets identifikation.

der var brugt for dårligt underbyggede antagelser. Ved den efterfølgende snak med Darwin om artiklen, slog det Bohr, at det måtte være muligt, at opstille en mere detaljeret model end Rutherford's. Han blev hurtigt klar over dens mangler og svagheder, men var dybest set overbevist om rigtigheden af modellens rent rummelige overvejelser.

Det han derimod ikke var overbevist om, var muligheden for at bruge den klassiske fysik til korrekte og meningsfulde beskrivelser af subatomare størrelser og fænomener. Den klassiske fysik er, vil de fleste nok kunne enes om, udviklet på baggrund af systematiske iagttagelser af virkeligheden, som har givet det indtryk, at denne er kontinuert og sammenhængende. Men i følge Bohr var spørgsmålet, om vi rent faktisk kender "virkeligheden" så godt, at det berettiger til en beskrivelse af det subatomare niveau.

Ved at kombinere de rummelige overvejelser i Rutherford's model og Plancks kvantisering, nåede Bohr frem til det konceptmæssige hovedindhold i den førnævnte artikel, senere kendt som hhv. "Bohr's postulater" og "korrespondensprincippet":

1. Et atom kan eksistere i visse stationære tilstande uden at udsende stråling.
2. Når et atom går fra en stationær tilstand, med energien E_2 , til en anden stationær tilstand, med energien E_1 , sker dette under udsendelse af et kvantum elektromagnetisk stråling, hvis frekvens ν , er bestemt ved: $h\nu = E_2 - E_1$.

Korrespondensprincippet går ud på, at en ny teori enten skal indeholde den gamle, eller skal ligge i forlængelse af denne. Således at den ny passer overens med den gamle i deres fælles grænse.

Reaktioner på Bohr's atommodel.

Alle tre udsagn kan virke besnærende enkle at overskue i første omgang, men der følger noget mere med. At atomerne var stabile var man egentligt ikke i tvivl om. Men derfra og så til at formulere det, var der langt. Alle havde været enige om, at Rutherford var på "glatis", men ingen skrev som konsekvens "atomet er stabilt", det var en selvfølge. Bohr's påstand nr.1 vækker således ikke noget videre postyr i sig selv. Postulat nr.2 kunne for så vidt også godt accepteres, hvis ikke det var for Bohr's antagelse om, at elektronerne ikke er nogen steder, mellem springene. Ifølge Bohr var de enten i en bane med energien E_2 eller i en bane med energien E_1 , derimellem var der intet, hverken i tid eller rum. Det medførte en del fødselsvanskeligheder for teorien. En meget tidstypisk

kommentar finder man nok i Rayleighs svar til sin søn Robin, da denne spørger, hvad Rayleigh mener om Bohr's papir :

" Jeg kunne se at det er ubrugeligt for mig.... Jeg siger ikke, at nye opdagelser ikke kan gøres på denne vis, men det passer mig slet". (Anderson,1964).

Sommerfeld hæfter sig ved Bohrs brug af Plancks konstant, og er glad derved. Denne mærkelige størrelse er efterhånden ved at være accepteret af det tyske videnskabelige samfund, men det har holdt hårdt. Derfor er det ekstra rart at se, at en udlænding har brugt tankegangen.

På universitetet i Göttingen er man mindre begejstret. Faktisk blev der grinet højt af disse "fantastiske" og "vidtløftige" ideer. De fleste, som Harald Bohr snakker med på denne tid, er dog ikke i tvivl. De mener, at det meget vel kan vise sig, at hans bror Niels, objektivt set, har ret. Blot er de antagelser, der følger, for fantastiske. En anden grund til Göttingens reaktion, skal søges i det forhold, at en del af Europas førende spektralanalytikere havde deres arbejdsplads netop her. De følte sig stødt, da Bohr påstod, at spektrallinier, de havde fundet, og identificeret som stammende fra brint, i virkeligheden stammede fra helium. En påstand, der yderligere forekom håbløs, når den kom fra en mand, der notorisk var ude af stand til at begå sig i et laboratorium i længere tid af gangen, uden at ødelægge et eller andet. At Bohrs teori faktisk stemte overens med senere eksperimenter, betegnede folk som Runge, som rent held, hvilket han ikke undlod at fortælle Harald Bohr.

Bohr var selv meget i tvivl i den efterfølgende periode, med hensyn til nødvendigheden af at drage så mange og vidtrækkende konsekvenser, som han havde gjort. Debatten varede ved i mere end et år, men intensiteten mindskedes dog mærkbart efter det ny års begyndelse. Flere og flere var blevet overbevist af den formidable overensstemmelse, der var at finde mellem modellens forudsigelser og de eksperimentelle data, der dukkede op. Enkelte ville sågar gerne dele æren med Bohr. Japaneren Nagaoka skriver f.eks. i et brev til Bohr, at de tanker som Bohr gør sig er : " intimt forbundne med den saturniske atommodel, som jeg var optaget af for ti år siden ".(Anderson,1964).

Noget af det, der overbeviste mange om modellens rigtighed, var dens forklaring af Balmer-serien, og senere af stellare spektrallinier stammende fra dobbeltioniseret helium.

7.4 Delkonklusion.

Når man kigger på atomteoriernes historie, kan man nemt forledes til at tro, den er lavet for at verificere Thomas Kuhns essay, om en videnskabsgrens udvikling. Hvilket dog næppe er tilfældet, kronologien taget i betragtning. Omvendt, er det helt sikkert, at Kuhn har kigget grundigt på denne del af historien, som på så mange andre, før han fældede sine deskriptive teorier på papir. Overensstemmelsen er iøjnefaldende god.

Ligeledes gælder det i forhold til Peirces normative videnskabsteori. Her må man sige, at historien har opført sig eksemplarisk. Abduktion på abduktion viser sig i den springvise udvikling af atomteorien, eller atomteoriene, som der egentligt er tale om. For nok har de haft afgørende indflydelse på hinanden, men deres filosofiske grundlag er af vidt forskellig natur. Også hér forholder udviklingen, set i efterrationaliseringens lys, sig smukt til Peirce, thi på mange måder knudret og konservativ i sin udvikling, har atomteoriens udvikling mange eksempler på, at inspirationen er hentet fra felter langt fra hinanden. At Peirce ydermere fik ret i, hvad der på dansk er kaldt, "tilfædighedens nødvendighed" er en "gren i hatten", som er med til at cementere hans ry som særdeles forudseende og værende i besiddelse af en forbløffende intuition.

Hvis man skal opdele atomteoriernes historie efter Kuhnsk mønster, kan dette først med rimelighed ske efter, at Dalton opstiller sin atommodel. Fra Demokrits tid og op til Dalton, er den praktiske mulighed for at verificere de forskellige teorier ikke til stede på noget niveau, hvorfor muligheden for at drive en eksperimentel normalvidenskab heller ikke er til stede. Først i tiden op til Daltons model, begynder kemien at manifestere sig så kraftigt, at der er tale om egentlige, omend grove, muligheder for at afprøve nogle af atomteoriens konsekvenser i praksis. Specielt arbejderne med luftarternes opførsel, var i denne sammenhæng givtige. Selvom de efterlod væsentligt flere spørgsmål end svar.

Fremkomsten af Daltons ideer er meget dårligt belyst og diskuteres stadig intenst. At han havde en tradition at bygge på, væsentligst ud fra Newtons ideer, har givet været af afgørende betydning. Men hvorledes han selv er kommet på tanken, får vi næppe klarlagt. Ikke destomindre kan der, på baggrund af hvad der ellers vides om Dalton og hans samtid, gives et kvalificeret bud på, gennem hvilken slutningsproces, ideen er fremkommet.

På forhånd kan deduktionen udelukkes af den simple grund, at der ikke på Daltons tid forelå data, hvorfra en deduktion kunne lede til

erkendelsen af atomernes eksistens. Af samme årsag kan heller ikke induktionen ligge til grunde, det empiriske grundlag er ikke af en kvalitet, der kvalificerer til statistisk funderede slutninger. Af den grund må det være abduktion, der leder til den principielle nytænkning, der ligger i at koble atomtanken, som mere eller mindre abstrakt begreb, sammen med de meget håndfaste data fra kemien. Det er et kvalificeret gæt, der, når det prøves induktivt/deduktivt efter, giver gode muligheder for at forklare diverse observationer.

I de næste 50 år er der livlig aktivitet, og noget nær kaos, inden for de fysiske og kemiske rækker. Der mangler fælles eksperimentelle udgangspunkter, der kan give en anden indfaldsvinkel, end blot det bekvemme i at antage atomernes eksistens ud fra grundstoffernes konstante proportioner i kemiske forbindelser. Et fælles udgangspunkt kommer først i forbindelse med den store kemikerkonference i Karlsruhe i 1860. Her fremlagde italieneren Cannizzaro sin landsmand Avogadros antagelser om, at lige rumfang gas under samme tryk, indeholder et lige antal molekyler.

Også Avogadros ide må oprindeligt være opstået via abduktion, af samme grund som nævnt under Dalton. Der eksisterer simpelthen ikke data, der via deduktion eller induktion, kan retfærdiggøre resultatet. Først i det øjeblik teorien ligger på bordet, kan disse slutningsformer bringes ind i billedet og være med til at verificere ideen. En underlig form for tautologi: Først når teorien ligger der, kan den med udgangspunkt i sig selv, verificere eller falsificere sig selv.

Antagelsens historie er iøvrigt et klart eksempel på, at en ide ikke automatisk vinder frem, blot fordi den er rigtig. Da Avogadros teori bliver fremlagt i 1860 er den 49 år gammel og dens ophavsmand har været død i fire år. Når ideen ikke før blev bredere anerkendt, skyldtes det hovedsagelig Berzelius. Konsekvensen af hypotesen var nemlig bl.a. at formlen for ilt ville være O_2 . Det ville være i klar modstrid med Berzelius teori om, at kemiske bindinger skyldtes elektriske tiltrækninger atomerne imellem. Følgen var, at Berzelius brugte sit navn, som den fremragende kemiker han var, til at undertrykke teorien. En yderligere medvirkende årsag til Avogadros teoris lange vej til berømmelsen, skal findes i, at Berzelius bindingsteori var den eneste, der gav en rimelig mulighed for at forklare de kemiske bindinger. Så ved at acceptere Avogadros teori, ville man samtidig have spillet sig en vigtig, illustrativ teori-bygning af hænde. Endelig var budskabet i Avogadros originalartikel svært tilgængeligt, idet han bruger en lang række forskellige begreber for molekyler.

Historien om atomets identifikation.

Op gennem den videre del af attenhundredetallet, etableres tre paradigmer, med tilhørende faglige matricer, der alle har atomteorien som en af deres mærkesager og som alle allerede i 1860 trådte deres børnesko.

Først var der de kinetiske molekyleteoretikere, der var for atomets eksistens. Uden at gøre sig nogle fastere forstillinger om dets struktur, kunne de ud fra antagelsen om dets eksistens som en lille hård billardkugle, forklare en lang række fænomener, på en måde, der gav atomet en central, men rent billedlig, fysisk mening.

På samme proatomare hold var kemikerne. Antagelsen om atomernes eksistens, gav mulighed for en kvantitativ forklaring af de konstante proportioner mellem grundstoffernes forekomst i kemiske forbindelser. Yderligere førte teoretiske spekulationer med udgangspunkt i atomets eksistens til en begyndende forståelse af fænomener så som reaktionshastigheder. At atomerne blev accepteret som virkelige genstande, var dog ikke ensbetydende med, at man kunne mene om dem, hvad man ville. Hollænderen van't Hoff blev således latterliggjort af en af samtidens store kemikere, Kolbe, da han i 1873 postulerede kulstofatomets tetraediske bindingsstruktur. Ironisk nok, blev han Kolbes afløser som kemiprofessor i Leipzig 11 år senere.

Endelig var der energetikerne, de tidlige positivister, groft sagt. For dem var troen på atomet som en reelt eksisterende størrelse et vanartet og uintelligent tankespind, man måtte bekæmpe. Men langt de fleste betragtede alligevel atomet som en nyttig, regneteknisk hjælpeantagelse.

Der var tale om tre paradigmer, hver drivende deres specielle normalvidenskab. Hvad der havde vægt indenfor et paradigme, behøvede ikke at medføre andet end et hånligt fnys inden for et andet. Således også indenfor det enkelte paradigme, hvad eksemplet van't Hoff viser. Han skaber splittelse, ved at angribe de vedtagne værdier og normer indenfor den faglige matrix. Hvorved han egentligt lægger op til et nyt paradigme, omfattende det synspunkt, at atomerne har en rummelig struktur indenfor de kemiske bindinger.

Men på trods af paradigmernes forskellighed og ofte store problemer med at kommunikere, såvel indbyrdes, som indenfor det enkelte paradigmes matrix, fandt kemien og molekylekinetikerne med udgangspunkt i Avogadros teori, sammen i noget, der med lidt god vilje, kan kaldes en fælles tro på atomernes reelle fysiske eksistens.

Det må dog ikke forveksles med en fælles faglig matrix, da deres årsager til at have denne tro, er af vidt forskellig karakter.

Videre gennem slutningen af det nittende århundrede fremkommer så mange oplysninger om naturens besynderlige opførsel, at mange, men langt fra alle, efterhånden er rede til at acceptere endog særdeles radikale brud med de hidtidige forestillinger. Allerede konstateringen af lysets konstante hastighed udgjorde en kamel, det var svært, men uomgængeligt, at sluge. I 1900 kommer så Plancks formel til forklaring af sortlegemestråingen, hvilket var en yderligere udfordring af det traditionelle syn på verden og dens opførsel.

Et par år inde i det ny århundrede fremkommer så Thompson med sin atommodel - og selvfølgelig er Thompson fra Storbritannien. Selvfølgelig, fordi det i flere hundrede år, her har været muligt at filosofere over atomernes eventuelle eksistens, uden at man risikerede at blive sat i pinligt forhold af kirken. Der eksisterede en righoldig tradition, som Thompson kunne bygge videre på. En tradition, der samtidig betød, at hans kolleger var velbekendt med ideen og derfor havde nemmere ved at acceptere den, end det var tilfældet med de kontinentale kolleger. Gennem muligheden for åben dialog og debat mange discipliner imellem, var der skabt mulighed for, med en vis empiri i baghånden, at skabe en model over atomets struktur.

Det er Thompson, der med hjælp og inspiration fra mange tidligere mennesker, har brudt brechen med hensyn til at turde beskrive den subatomare struktur. Han havde samtidig et navn der var stort nok til, at det kunne hjælpe med til at promovere teorien i omverdenen. Den side af sagen må ikke undervurderes. Teorien må på een gang fremsætte ny kontroversielle synspunkter, understøttes af tidligere iagttagelser eller teoribygninger og støttes af folk, hvis ord tæller indenfor det berørte miljø. Hvis de, der har noget at skulle have sagt, alle som en, vedtager at noget er sandt, så er det i lang tid ligegyldigt, om det nu rent faktisk er i overensstemmelse med virkeligheden eller ej. Thompson var stor nok i Storbritannien, til at kunne overbevise det videnskabelige miljø om, at hans teori var, om ikke sand, så dog en god tilnærmelse. Han var langt fra så stor en mand på kontinentet.

Det erkendelsesmæssige grundlag for atommodellen ligger i høj grad at finde indenfor Thompsons arbejder med katodestråling. Gennem sin antagelse af elektronens universalitet, giver han sig samtidig den mulighed i hænde, at der kan være tale om en partikel, der har forbindelse med en andet principielt allestedsnærværende størrelse;

Historien om atomets identifikation.

atomet. Antagelsen om elektronens universalitet er et gæt. Han finder den godt nok mange steder. Men derfra, og så til at påstå, at han inducere sig frem til, at den er allestedsnærværende, er lige modigt nok. Og en deduktion, der på det tidspunkt, kan komme frem til dette resultat, kan næppe findes. Konklusionen må da være, at der er tale om to abduktioner, hvor den første, antagelsen om elektronen, giver mulighed for den anden, antagelsen om at elektroner udgør atomernes byggestene. De principielle erkendelsesmæssige nytænkninger Thompson fremkommer med, er ganske enkelt for fantastiske til, at man ud fra erfaringen alene, kan komme frem til dem.

Rutherford, der trods sin fjerne herkomst er opvokset i den britiske tradition, fortsætter for så vidt blot hvor Thompsons model ikke længere slår til. Med Rutherfords arbejder følger der få principielt ny erkendelser. Og følgelig er der kun få, der får bragt sindene i kog. Thompson fortsætter klart nok med at få sin model til at kunne forklare Rutherfords observationer, det er han næsten nødt til. Det er trods alt en verdensberømt model der, godt nok med kraftige begrænsninger, har domineret atomteoriens billede i henved ti år. Man forlader ikke blot sin tro, sit paradigme - man kæmper for det.

Når der, med Rutherfords model, er så få principielt nye erkendelser, skyldes det, at den ligger så forholdsvis tæt op af Thompsons model. Det er i hovedtrækkene en induktiv viderudvikling af denne. På baggrund af sine beregninger kan Rutherford konkludere, at chancen, for at Thompsons model holder, er forsvindende. Men i sit forslag til hvordan atomet så må se ud, holder han sig snævert inden for den klassiske fysiks mekaniske analogier, hvilket da også er nok til at forklare partikelspredningen, men ikke når meget videre end det. At den bringer så få sind i kog, grunder i, at de der diskuterer forskellene på modellerne, alle er atomister. Atomister, der for en dels vedkommende, udmærket har været klar over manglerne og svaghederne i Thompsons model. Der er blot sket en justering af atomisternes faglige matrix, således at modellen er i bedre overensstemmelse med observationerne. Det store slag står stadig mellem atomisterne og energitikerne/positivisterne, og her ændrer Rutherfords model ikke noget, set fra energitikernes synspunkt. Atomer er ikke direkte bevist, man har ikke positivt erfaret deres eksistens. At mange indirekte observationer påpeger atomets eksistens, udelukker for energitikerne ikke, at der kan være tale om en helt anden årsagssammenhæng, hvorfor man ikke ønsker at forklare. Man må nøjes med at beskrive.

Da Bohr så kort efter fremsætter sin teori for atomets struktur, bliver endnu et paradigme rodet ind i polemikken om atomet, idet atomet her for alvor, kobles sammen med energiens kvantisering. I den situation splittes atomisterne op i to lejre, de der er villige til at acceptere Bohrs postulater, og de der ikke er. Atter er der rodet så kraftigt op i atomisternes faglige matrix, at det giver anledning til et nyt paradigmes etablering. Et paradigme hvis grundelementer står den dag i dag.

At Bohrs postulater giver anledning til røre, er der ikke noget at sige til. Ideerne er ganske enkelt revolutionerende. De er et frontalangreb på næsten alle tidligere etablerede lovmæssigheder. At de bagefter viser sig at kunne forklare meget, der tidligere var uforklarligt, giver et solidt fingerpeg om slutningsmetoden, som må have været abduktionen. Tanken om at en elektron, når den springer, ikke gør det i tid og rum, men enten er i besiddelse af een energi eller en anden og ikke er at finde noget sted imellem, er utænkelig, indtil tanken een gang er tænkt. Når først den er det, viser den sig at være utrolig anvendelig. Set i bagklogskabens lys er kombinationen af Rutherford's model og Plancks kvantiserings-ide måske ikke så fantastisk. Men set, så at sige forfra, er det en kombination, der ikke giver mening. Først når de bizarre og utænelige konsekvenser for elektronens opførsel tages med i billedet, giver det mening.

Som helhed kan det ud fra atomteoriens historie konkluderes, at hvis man vil videre rent erkendelsesmæssigt, må man lade de tilsyneladende irrationelle ideer og sammenhænge komme til orde. Kombinere det man ikke tror lader sig kombinere. Først når man kan begynde at overskue konsekvenserne af disse skridt, er det muligt at vurdere hvorvidt resultatet af ens anstrengelser er brugbare eller ej. Det er ikke på forhånd muligt kvalificeret at afvise noget, blot fordi sammenstillinger og ideer ser umulige ud.

Et udmærket eksempel er de arbejder Wolfgang Pauli og C.G. Jung har lavet sammen, omhandlende de fælles beskrivelsesproblemer der er indenfor københavnerfortolkningen af kvantemekanikken og den analytiske psykologi. Uden på nogen måde at have noget med hinanden at gøre, har disse to fagområder alligevel fælles problemstillinger. Kun ved at være åben og nysgerrig kan man nå de overraskende og banebrydende resultater. En påstand, der underbygges af, at det oftest er unge og utraditionelt tænkende mennesker, der når at kunne gøre det "umulige" muligt.

Når dette er sagt, må man ikke glemme, at det næsten altid er kvalificerede gæt fra fagligt meget kompetente folk, der resulterer i

Historien om atomets identifikation.

de erkendelsesmæssige nye indsigter. Det er af stor betydning at kunne vurdere konsekvenserne af sine overvejelser.

I det følgende vil positivismens syn på den ny fysik tankegang blive nøjere beskrevet.



- Han var en mand, som var forud for sin tid. Havde han levet nu, ville han sikkert have udrettet alt det, han ikke fik gjort i sin tid.

Kapitel 8

Den nye fysiks opgør med positivismen.

Positivismen er en filosofisk skole, der oprindeligt udsprang af en afstandtagen til forklaringer af uforståelige sammenhænge, ved hjælp af metafysiske eller religiøse termer. Den anerkender udelukkende de fænomener, der positivt kan erfares. Da positivistene kun anerkender det fysisk erfarbare, bringes de, i de første 30 år af dette århundrede, gennem en lang række kriser, og i slutningen af tyverne opløses den positivistiske skole, Wiener-skolen. De logiske modsætninger er blevet for store, både indenfor matematikken og fysikken.

Den gryende accept af atomernes eksistens var for mange positivistisk indstillede naturvidenskabsfolk, nærmest det endegyldige bevis på, at mange af deres kollegaer var mindrebegavede. At formuleringen ikke er overdrevet, ses af Ostwalds kommentarer i forbindelse med atomdiskussionen. Ostwalds reaktion kan sammenfattes til noget i retning af: Atomer kan da være meget godt, som arbejdshypotese for de, der ikke er i besiddelse af et tilstrækkeligt abstraktionsniveau, når det gælder naturvidenskabeligt arbejde.

Den klassiske fysik.

Positivismen var helt opbygget på grundlag af den klassiske fysik. Dengang var der, på trods af enkelte problemer, ikke noget til hinder for at antage, at verden var kontinuert, såvel m.h.t. energi som stof. Den klassiske mekanik stod, med de meget præcise beregninger indenfor astronomien, på højden af sin formåen.

Termodynamikken var færdigudviklet, og kunne forklare langt de fleste fænomener inden for sit fagområde. Endelig var der elektrodynamikken. Ligesom de to andre hoveddiscipliner havde den vist sig uhyre brugbar, både som ingeniørens værktøj, men også som fysikerens teoretiske grundlag, når et fænomen skulle forklares og anskueliggøres. Med disse enorme triumfer, havde den positivistiske naturvidenskab stort set sit fundament i orden. Det var ikke for ingenting, at positivistene kunne hævde deres metodes overlegenhed.

Problemerne begynder at melde sig med den kinetiske molekyleteori og tager for alvor fat med indførelsen af Plancks virkningskvant. Bedre bliver det ikke med Einsteins forklaring af først den fotoelektriske effekt og senere de brownske bevægelser. I forklaringen af de brownske bevægelser viser Einstein, at diffusionskonstanten D , kan udtrykkes som Boltzmanns konstant, k , gange den absolutte temperatur T , gange mobiliteten μ , af det pågældende stof :

$$D = k \cdot T \cdot \mu$$

Franskmanden Perrin efterviser Einsteins forklaring ved hjælp af en opslemning af små partikler, hvilket medfører at Boltzmanns konstant dukker op, ud fra rent makroskopiske størrelser. Ostwald bliver af netop dette forsøg overbevist om den statistiske mekaniks fortræffeligheder, hvorfor hans skarpe pen ikke yderligere lader høre fra sig i denne sammenhæng. Selvom der længe bliver kæmpet hårdt mod de nye, fysiske teorier, står det efterhånden klart, at verden hverken er kontinuert med hensyn til energi eller stof.

Kvantemekanikken.

Når Bohr hævdede, at en elektron, når den hopper fra een energitilstand til en anden, ikke på noget tidspunkt er at finde mellem disse, var det ensbetydende med et opgør med de mest stivnakkede positivistiske. For der er, i følge dem, på intet tidspunkt, observeret hverken atomer eller elektroner. Når så oven i købet denne "mærkelige dansker", begynder at udtale sig ganske ulogisk om ikke påviste partiklers opførsel, sætter det kun sindene endnu mere i kog.

At det er muligt at forudsige en masse observable størrelser ud fra antagelsen om atomer og elektroners eksistens, gør ikke sagen bedre for de standhaftige positivistiske. Det er stadig blot at betragte som mindrebegavedes desperate forsøg på at kompensere for manglende evner. Forudsigelserne skulle kunne postuleres ud fra ren matematik, logikkens formelle manifestation. Posivismen var opbygget ud fra antagelsen om, at man kunne konstruere et modsætningsfrit sprog. Mange forsøg blev gjort, men med Gödels teorem, fra 1930, brast drømmen om den altomfattende, modsætningsfri verdensbeskrivelse i matematisk regi. En drøm, der kun tre år før, var postuleret opfyldt af Hilbert.

De første tredive år af århundredet viste, at verden er mere kompleks end af positivisternes troet muligt. Den lader sig ikke, heller ikke rent principielt, beskrive fuldt ud. Med Bohrs københavnerfortolkning af kvantemekanikken, introduceres et principielt laveste erkendtbart niveau. Dette betyder, at man indenfor den del af fysikken, der beskæftiger sig med atomer og kvantemekanik, ikke kan udtale sig om enkeltbegivenheder; f.eks. henfald af atom-

kerner. Har man tilstrækkelig mange kerner, er det derimod muligt, at udtale sig om lovmæssighederne for deres sandsynlige opførsel, således som Rutherford gjorde allerede i 1902. Men har man kun ét atom, er henfalds-sandsynligheden den samme for hvert minut, uanset hvor længe man venter.

Bohr drog i trediveerne den yderligere konklusion, at vi under ingen omstændigheder kan udtale os om, hvorledes tingene tager sig ud under det niveau, som matematikken lader os stifte bekendtskab med. Der er ingen mulighed for, at der eksisterer et yderligere detaljeret niveau, som kan beskrive mikroverdens opførsel. En holdning, der har fristet en del, til derved at postulere Guds eksistens; thi nogen må da til syvende og sidst holde styr på verden. Dette ønske om en genindsættelse af Gud i fysikken, må have været særdeles generende for tidens positivister.

Med indførelsen af det lavest erkendtlige niveau, er der samtidig rokket ved et af positivismens grundlæggende dogmer; der er een årsag til een manifestation. Med andre ord; der er rokket ved dogmet om den principielt deterministiske monokausale verdensopfattelse, endda på det rent fysiske plan. Vi er ikke i stand til, helt præcist, at forudsige hvad der sker hvor. Der er indført et grundlæggende niveau, under hvilket kun tilfældigheden råder. En tilstand som C.S Peirce allerede omkring 1885 gjorde sig til talsmand for. Han var, som Bohr 25 år senere, meget i tvivl om, hvorvidt det overhovedet var muligt, at ekstrapolere den makroskopiske verdens tilsyneladende kontinuerte lovmæssigheder, ned på det mikroskopiske niveau.

Som om det ikke skulle være nok, at man ikke kan forudsige årsagerne til verdens forskellige hændelser, viste udviklingen desuden, at man ikke kan forudsige en bestemt manifestation, selv om udgangsbetingelserne kendes. Hertil er der to årsager.

For det første viste det sig med Heisenbergs usikkerhedsrelation, at det til enhver tid, er umuligt præcist at kende et systems udgangssituation. Enten kan man bestemme dets impuls, eller dets position. Men det er umuligt at bestemme begge dele samtidig. Dette vil igen sige, at den af positivisterne så højt besungne, principielle reversibilitet, nu ikke længere kun kan betragtes som usandsynlig, set ud fra den statistiske mekanik. Den er under angreb fra det principielt umulige i, blot at overskue et et-partikelsystem, helt præcist.

For det andet opfører materien sig slet ikke som forudsat af et andet af positivismens dogmer; En genstand er karakteriseret ved

summen af dens egenskaber. Eller som Wittgenstein udtrykker det i *Tractatus Logico-Philosophicus*, paragraf 1.21: "Et kan være tilfældet eller ikke være tilfældet, og alt andet forbliver det samme". Sagt på en anden måde; En ting, en genstand, vil altid, uanset omverdenen, f.eks. måleopstillingen, være i besiddelse af de samme egenskaber og opføre sig derefter.

Komplementaritet.

Men nej ! Med indførelsen af De Broglies bølgemekanik, blev der åbnet for en inspirationskilde til undersøgelse af partiklers natur i en retning, som ingen positivist ville have kunnet forestille sig, førte til noget som helst reelt fysisk fænomen. Ikke desto mindre viste det sig, at partikler faktisk også har bølgenatur. At de under visse omstændigheder er i stand til f.eks. at danne interferens. Men kun under visse omstændigheder. Det er måleopstillingen, der sætter den scene, der bestemmer hvilke af de potentielle egenskaber, der kommer til udtryk. Vel og mærke egenskaber, der ifølge den klassiske fysik, er ganske uforenelige. Her er partikler een ting, bølger noget ganske andet. Wittgensteins paragraf 1.21, er altså ikke gyldig; det gør en forskel på resten af verden, om et er tilfældet eller ej. For eksempel den forskel, der ligger i, om en elektron manifesterer sig som selvinterfererende bølge, eller som partikel.

Man taler om, at de forskellige, i den klassiske fysik uforenelige, potentielle egenskaber er komplementære. At noget er komplementært, vil sige, at det kun kan beskrives dækkende, ved at beskrive det i termer, der gensidigt udelukker hinanden.

Første gang begrebet blev præsenteret for en større kreds, var da Niels Bohr holdt et foredrag ved fysikerkongressen i 1927 i den Italienske by Como. Her redegjorde Bohr begejstret for det synspunkt, at : " uanset hvor langt fra den klassiske fysiks termer (de kvantemekaniske) fænomener bevæger sig, må der redegøres for dem, inden for den klassiske fysiks rammer. "(Schlipp,1970) idet han pointerer, at det er umuligt, i en målesituation, at bestemme hvad der er den atomare egenopførsel, og hvad der er interaktion med måleudstyret. Hvad der er målt med een opstilling, er en manifestation af potentielle egenskaber hos objektet, og hvad der er målt i en anden opstilling, er en anden manifestation af andre potentielle egenskaber. Observationerne er ikke sammenlignelige. De må lægges til hinanden, for derved at give et helt billede af den information, det er muligt at hive ud af det undersøgte objekt.

En væsentlig pointe er, at vi i den klassiske fysik kan måle på objekter, uden at lave interaktion med disse. I kvantemekanikken er det derimod umuligt at foretage målinger uden at påvirke objekterne, når de involverede energier er sammenlignelige med virk-

ningskvantet. Her vil vi ved enhver måling påvirke genstanden på en sådan måde, at har vi målt een ting, er det ikke længere muligt at måle på nogle af de andre. Derfor additionen af resultater fra de forskellige måleopstillinger, for at få et helt billede.

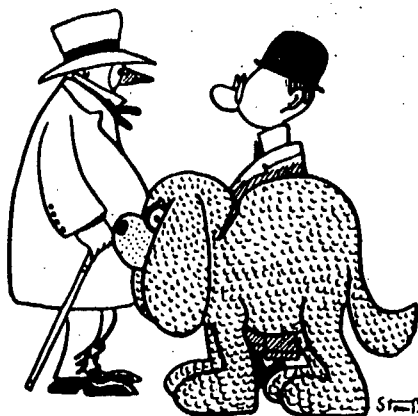
Når Bohr her siger "helt billede", skal det forstås som et helt billede af en enkelt detalje indenfor en disciplin. Når det gælder de større sammenhænge, videnskaben i bred forstand, mener han, at det er umuligt at få alle problemer belyst fuldt ud. Her er det ikke kun det førømtalte laveste niveau for erkendelse, der gør sig gældende. Frem for at være en principiel tanke, er det nok snarere en pragmatisk anskuelse af samme skole, som den filosofen Harald Høffding er eksponent for. Høffding bruger begrebet "The infinality of cognition". Pointen hermed er, at for hvert svar vi finder i naturen, viser empirien, at der altid rejser sig mindst ét nyt spørgsmål.

Høffding havde i begyndelsen af århundredet været gæst hos den amerikanske filosof William James, der var nær ven af og til tider økonomisk støtte for Charles Peirce. Så Høffdings opfattelse af pragmatismen, må ses som værende stærkt påvirket af begge de herrer, der tilsammen formulerede den amerikanske pragmatisme. Bohr lader til at have taget Høffdings pragmatisk filosofi til sig, idet han som ung, omkring 1905, deltog i et filosofikursus, med Høffding som underviser. Der forlyder dog intet om, at Bohr skulle have kendt noget til Peirce's originale arbejder. Men Peirces og James' tanker får alligevel stor opmærksomhed gennem Høffdings undervisning på Københavns universitet.

I forbindelse med Høffdings filosofiundervisning, oprettede 12 studerende fra holdet en studiekreds ved navn "ekliptika". Her lader begrebet "infinality of cognition" til at have været diskuteret indgående. I samme forum, der ud over brødrene Bohr, talte folk som den senere psykoanalytiker Rubin, matematikeren og senere rektor for Kbh's Universitet N.E.Nørlund, diskuteredes også komplementaritetsbegrebet. Ikke i dets senere til fysikken nært knyttede betydning, men i den betydning, at en manifestation ikke, hvis den skal være dækkende, kan beskrives med een årsag alene. F.eks. vil et spørgsmål om, hvorfor blodet bevæger sig rundt i kroppen, ikke kun kunne besvares med "Det er fordi hjertet pumper det rundt", det er også "Fordi blodet skal bringe ilt og næringsstoffer rundt til kroppens celler" o.s.v. Mange beskrivelser, især inden for medicin og biologi, kan ikke kun være årsagsbeskrivelser, eller kun være finalistiske beskrivelser, hvis de skal være dækkende. Der må elementer af begge dele til.

Fysiologiens komplementaritetsbegreb havde i tiden omkring århundredskiftet en ivrig fortaler i fysiologiprofessoren Christian Bohr, Far til Niels og Harald Bohr. Allerede på dette tidspunkt er komplementaritetsbegrebet i skarp modsætning til den positivistiske, monokausale årsagssammenhæng. Komplementaritet har altså på ingen måde været noget nyt begreb for Niels Bohr, da han udtalte sig om dette i Como. Blot har han modificeret det, så det passede bedre til den aktuelle, fysiske situation. Det afholdt ham dog ikke fra senere at bruge denne udgave på mange andre fagområder. Således beretter Rosenfeld, at Bohr var meget lykkelig over, at have kunnet overføre sin udgave af komplementariteten til biologien. Det var i 1932. Rosenfeld fortsætter: "Han var dybt påvirket af sin fars syn på emnet, og han var tydeligvis lykkelig over nu at være i stand til at tage det op og give det en mere dækkende formulering". (Fysisk Tidsskrift, 1963))

Komplementaritetsprincippet vandt kun ringe almen tilslutning i de følgende årtier efter foredraget i Como. Men efterhånden er det ved at være et begreb som tages alvorligt og diskuteres i mange sammenhænge. At det har denne aktualitet, skyldes ikke mindst dets modsætning til den positivistiske tankegang.....



- Går De altid med hunden?
- Næh - vi skiftes, somme-
tider går den med mig!

Kapitel 9

Diskussion.

Efter at have gennemgået de 4 cases, er det muligt, at fremhæve de karakteristiske kendetegn for den betragtede brydningsfase. De 4 udviklingsforløb har mange fællestræk, hvilket vi i det følgende vil redegøre nærmere for. Dernæst vil vi kort diskutere, i hvor høj grad det kvantemekaniske paradigme har ændret positivismens/determinismens samfundsmæssige status.

Eksperimentelt observerede fænomener, der, trods gentagne forsøg, ikke lader sig forklare inden for rammerne af den klassiske fysik, er første synlige tegn på det klassiske paradigmes svækkelse. Her kan de allerede gennemgåede eksempler, dvs. varmekapaciteter, hulrumsstråling og fotoelektrisk effekt, fremhæves. Samtidig vil der i de berørte videnskabelige miljøer brede sig en forvirret og frustreret stemning. Videnskabsmændene prøver ihærdigt at opstille teorier i fuld overensstemmelse med iagttagne lovmæssigheder - men uden succes.

I stedet fremkommer diverse ad hoc antageleser. Ad hoc antagelser, der er kendetegnet ved kun at kunne beskrive visse af de uforklarlige fænomener, og som dermed ikke leverer en tilfredsstillende, fuldstændig løsning. Man kan her fremhæve Lenards triggerhypotese, der kan forklare væsentlige dele af den fotoelektriske effekt, men som ikke evner at belyse, hvorfor stråling med stor bølgelængde ikke løsriver elektroner. Et andet, mere klassisk eksempel, er Rutherford's atommodel. Her er elektronernes og atomkernens placering i overensstemmelse med eksperimentelle data, men samtidig vil hvet atom uheldigvis kun kunne overleve ca. 10^{-10} sek!

I denne udviklingsfase kan der sågar opstå flere modstridende videnskabelige skoler og deraf følgende modstridende ad hoc antagelser. Dette kan eksempelvis illustreres ved energetikernes og atomisternes diskussion af varmekapaciteter. Atomisterne forsøgte sig forgæves med en beskrivelse af frihedsgraderne for det enkelte atom, mens energetikerne stædigt hævdede, at fænomenet kun kunne beskrives på det makroskopiske niveau. Atomisternes manglende succes i denne sammenhæng, blev opfattet som et klart modbevis for atomernes eksistens.

Diskussion.

Trods forskernes store frustrationer, som vi bl.a. har set Maxwell give eksplicit udtryk for i diskussionen af varmekapaciteter, fortsætter undersøgelsen af de "sære" fænomener. Videnskabsmændene udfordrer konstant den klassiske fysiks evne til at løse "gåder" - og fremprovokerer herved selv det endelige brud med det klassiske paradigme. Jvf. f.eks. det engelske, fysiske miljøes store interesse for problemet varmekapaciteter.

Givet visse startbetingelser og "sande" naturlove burde man i den klassiske fysik kunne forudsige et eksperiments udfald. Denne deduktive metode fører bl.a. i hulrumsstrålingen, til udledningen af Rayleigh-Jeans lov. En lov, der klassisk burde give den fuldstændige løsning, men som i praksis kun er dækkende for lavfrekvent stråling.

Når videnskabens problemer efterhånden bliver overordentligt enerverende og påtrængende, begynder enkelte videnskabsmænd at betvivle selv grundlæggende fysiske love. Det er hér, at abductionens rolle for alvor tydeliggøres. Når både den deduktive og den induktive metode giver mangelfulde eller direkte forkerte resultater, er kun det kvalificerede gæt tilbage. Vi har tidligere set eksempler på, hvorledes både Planck, Einstein og Bohr gør brug af denne slutningsform.

At få en god ide er dog langt fra ensbetydende med omverdens øjeblikkelige anerkendelse. Einsteins lyskvante-hypotese accepteres ikke af hans samtid, og Boltzmanns statistiske beregningsmetoder er i mere end 20 år stærkt omdiskuterede. Også Bohr må efter fremsættelsen af sine postulater mærke en skarp kritik fra samtidens fysikere. En kritik der dog, efter blot et enkelt år, bliver ganske ubetydelig. Alt i alt må den videnskabelige verden betegnes som usandsynlig stædig og ofte meget konservativt indstillet.

Bruddet med determinismen og positivismen har tidligere været fremhævet som en forudsætning for udviklingen af det kvantemekaniske paradigme. Men dette brud skal opfattes som begrænset til en meget lille skare - primært bestående af teoretiske fysikere.

Meget få vil i dag hævde at tilhøre den mekaniske filosofi. Men modsat vil de færreste acceptere den absolutte tilfældighed (tychismen). Det er stadig en udbredt holdning, at blot startbetingelserne kendes, eller blot måleudstyret er præcist nok, kan et eksakt svar findes.

Også positivismen er stadig meget indflydelsesrig. Dette skyldes primært, at teknologi og statistik i stadig højere grad bliver en inte-

Diskussion.

greret del af vores hverdag. Begge områder lader sig let dominere af en positivistisk præget tankegang - også hvor denne ikke har det fjerneste at gøre. Således bruges positivistiske termer tit i forbindelse med afvisning af problemstillinger, som de reelt ikke er kompetente til at behandle. Oftest er dette tilfældet inden for discipliner, der af positivismen ikke anerkendes som videnskabeligt funderede. Det drejer sig om f.eks. sociologi, psykologi og dele af medicinen; discipliner, hvor der er store fortolkningsmuligheder i datamaterialet og hvor en sammensat/komplementært betonet beskrivelse derfor er nødvendig.

Positivismen er uholdbar som verdensopfattelse og kan end ikke tjene som et dækkende filosofisk grundlag inden for sin hoveddisciplin, fysikken. Alligevel har positivismen vist sig at være et formidabelt værktøj, når det gælder de eksperimentelt baserede discipliner. Resultater opnået her, har vi alle gavn af i hverdagen.

En filosofisk retning, der er i stand til at afføde så store materielle fremskridt, er trods alt noget der får de fleste til at acceptere, at autoriteten har ret. Det er meget svært at trænge igennem med kritik, når "modstanderen" benytter sig af uigennemskuelige statistiske metoder, flotte referencer, etc. Autoriteten har nok trods alt ret, når nu tallene viser det. At tallene så ikke viser den fulde sandhed, er et synspunkt, der oftest overses.

Mange betragter da også stadig positivismen som en konsistent verdensopfattelse, hvilket må siges at være dybt beklageligt. For det første lukker denne holdning af for en lang række muligheder, som nu bliver henvist til en hensygnende tilværelse, langt fra bevilgende instansers åsyn. Dernæst forhindrer den reelt befolkningen i at turde stole på sin egen sunde fornuft, og dermed i at kunne tage stilling i en lang række af de sager, som omgiver os i samfundet, lokalt som på landsplan.

Vi er temmelig overbevist om, at verden ville se noget anderledes og bedre ud, hvis der i enhver uddannelse var indlagt filosofi og erkendelsesteori. Som en selvfølgelig del af stoffet, ville det give den enkelte mulighed for at tage stilling til de værktøjer han/hun bruger i hverdagen. Dermed ville det også være muligt at få en mere åben og detaljeret stillingtagen til samme værktøjers begrænsninger og forcer.

Appendiks A

I dette appendiks skal det skitseres, hvorledes Boltzmann ad matematisk vej viste overensstemmelse mellem molekyleteorien og termodynamikken. De anvendte symboler og indeks er de samme som anvendt i kap. 4. Vi starter med at betragte overensstemmelsen med de reversible termodynamiske processer, for derefter at gå over til udledningen af Boltzmanns H-theorem.

I Boltzmanns betragtninger er den samlede energi (U) givet ved: $U = \sum n_i E_i$. Hvis temperaturen og en ydre faktor, så som rumfanget, ændres ganske langsomt, vil man få en energiændring, δU , givet ved:

$$\delta U = \sum_i n_i \delta E_i + \sum_i \delta n_i E_i \quad (\text{A.a})$$

Ændringerne er infinitesimale, hvorved systemet hele tiden er i ligevægt. Hermed har vi sikret os, at fordelingsfunktionen udledt i kap.4 ($n_i = A g_i e^{-E_i / \beta}$) stadig gælder.

Første led i formel A.a fortolkes nu som det på systemet udførte reversible arbejde (δW), idet ændringen af energien i den i'te tilstand udelukkende kan skyldes en ændring af ydre faktorer (rumfanget):

$$\delta W = \sum_i n_i \delta E_i \quad (\text{A.b})$$

Andet led kan nu, i overensstemmelse med termodynamikkens 1. lov, fortolkes som den til systemet tilførte varme (δQ):

$$\delta Q = \sum_i \delta n_i E_i \quad (\text{A.c})$$

Hvis det antages, at entropien (S) kan skrives på formen: $S = -k \sum n_i \ln n_i$, fås en entropiændring givet ved:

Appendiks A

$$\delta S = -k \left(\sum_i \delta n_i \ln n_i + \sum_i n_i \frac{1}{n_i} \delta n_i \right) = -k \sum_i \delta n_i \ln n_i - k \sum_i \delta n_i$$

Fordelingsfunktionen indsættes nu i udtrykket, hvorved vi får sammenhængen:

$$\begin{aligned} \delta S &= -k \sum_i \delta n_i \ln(Ag_i e^{-\beta E_i}) - k \sum_i \delta n_i \\ &= -k \sum_i \delta n_i [\ln(Ag_i) - \beta E_i] - k \sum_i \delta n_i \\ &= k\beta \sum_i \delta n_i E_i - k \sum_i \delta n_i \ln(Ag_i) - k \sum_i \delta n_i \end{aligned}$$

De sidste to led vil forsvinde, da systemets samlede antal partikler er bevaret ($\sum \delta n_i = 0$) - jvf. iøvrigt kapitel 4. Entropiændringen kan derfor skrives som:

$$\delta S = k\beta \sum_i \delta n_i E_i$$

hvilket igen, vha A.c og vha. sammenhængen $\beta = 1/kT$, kan omskrives til:

$$\delta S = \frac{k}{kT} \delta Q = \frac{\delta Q}{T} \quad (\text{A.d})$$

Hermed er det vist, at Boltzmanns fordelingsfunktion og termodynamikkens love for reversible processer passer fint overens. (Når man vel at mærke beskriver entropien som $S = -k \sum n_i \ln n_i$).

Boltzmanns H-theorem.

Boltzmann betragtede i sin udledning af H-theoremet sammenstød mellem molekyler i en fortyndet gas. Grundet den lave gas-koncentration kunne han se bort fra molekulære sammenstød mellem 3 eller flere molekyler. Derudover blev det, som tidligere nævnt, antaget, at molekylerne var jævnt fordelt i gasrummet, hvorved effekten af sammenstødene kunne beskrives udelukkende ved en iagttagelse af molekylernes fordeling i impulsrummet.

Et sammenstød mellem en molekyle fra tilstanden i og en molekyle fra tilstanden j vil bevirke, at molekylerne, pga. hastighedsændringer, overføres til tilstandene k og l. Antallet af sådanne sammenstød i tidsrummet Δt betegnes $A_{ij}^{kl} \cdot \Delta t$, og er givet ved sammenhængen:

Appendiks A

$$A_{ij}^{kl} \Delta t = a_{ij}^{kl} n_i n_j \Delta t \quad (\text{A.e})$$

Denne sammenhæng er baseret på antagelsen om, at molekylerne bevæger sig fuldstændig uafhængigt af hinanden. Først da kan antallet af sammenstød beskrives som produktet af molekylernes antalsmæssige fordeling i de to betragtede tilstande. En situation, hvor molekylebevægelserne er totalt ukoblede er ensbetydende med "molekylært kaos".

"Molekylært kaos" er Boltzmanns hovedantagelse i udledningen af H-theoremet. Denne antagelse blev af mange af datidens fysikere anklaget for at være uforenelig med den deterministiske, mekaniske fysik. Boltzmann opfattede dog ikke selv determinisme og "molekylært kaos" som modstridende begreber. "Molekylært kaos" var blot en hensigtsmæssig, statistisk korrekt antagelse, når et stort antal molekyler skulle beskrives. Hvis bevægelserne derimod blev regnede som koblede, ville det være nødvendigt at beskrive hver enkelt molekyles bevægelse nøjagtigt. Dette ville hurtigt gøre de matematisk udtryk ganske uhåndterlige.

Antallet af sammenstød gående den modsatte vej i tiden Δt (dvs. fra k og l til i og j), kan nu skrives som:

$$A_{kl}^{ij} \Delta t = a_{kl}^{ij} n_k n_l \Delta t \quad (\text{A.f})$$

Størrelserne a_{ij}^{kl} og a_{kl}^{ij} svarer til sandsynlighederne for de givne sammenstød. Boltzmann opererede i sin udledning med betingelsen "mikroskopisk reversibilitet", hvilket vil sige, at sandsynligheden for de to processer (A.e og A.f) er den samme:

$$a_{ij}^{kl} = a_{kl}^{ij} \quad (\text{A.g})$$

Boltzmann betragtede nu en del af udtrykket for entropien nøjere, og benævnte denne del for H-funktionen:

$$H = \sum_i n_i \ln n_i \quad (\text{A.h})$$

Bemærk, at funktionen med undtagelse af konstanten k, er et udtryk for den negative entropi! En undersøgelse af H-funktionens ændring i tiden, vil derfor også direkte give et indblik i entropiens udvikling. Følgelig differentieres H mht. tiden(t):

$$\frac{\delta H}{\delta t} = \sum_i \frac{\delta n_i}{\delta t} \ln n_i + \sum_i \frac{\delta n_i}{\delta t} = \sum_i \frac{\delta n_i}{\delta t} \ln n_i \quad (\text{A.i})$$

Ændringen i antallet af molekyler i den i'te tilstand kan opfattes som differensen mellem antallet af molekyler, der tilføres pr. tidsenhed, og antallet af molekyler, der fjernes pr. tidsenhed. Dvs:

$$\frac{\delta n_i}{\delta t} = \sum_{jkl} (A_{kl}^{ij} - A_{ij}^{kl}) \quad (\text{A.j})$$

Hvis H-funktionen skal udtrykkes vha. molekylernes antal i tilstanden i, vil A.h få følgende form:

$$\frac{\delta H}{\delta t} = \sum_{ijkl} (A_{kl}^{ij} - A_{ij}^{kl}) \ln n_i = \sum_{ijkl} (a_{kl}^{ij} n_k n_l - a_{ij}^{kl} n_i n_j) \ln n_i, \quad (\text{A.k})$$

hvilket kan omskrives en smule, idet vi benytter at $a_{ij}^{kl} = a_{kl}^{ij}$:

$$\text{I} \quad \frac{\delta H}{\delta t} = \sum_{ijkl} a_{ij}^{kl} (n_k n_l - n_i n_j) \ln n_i$$

Et tilsvarende udtryk, af samme størrelse, fås, hvis vi i stedet betragter den j'te tilstand:

$$\text{II} \quad \frac{\delta H}{\delta t} = \sum_{ijkl} a_{ij}^{kl} (n_k n_l - n_i n_j) \ln n_j$$

Når vi beskriver $\delta H/\delta t$ i forhold til tilstandene k og l bliver udtrykket en smule anderledes. Molekylernes antals-ændring pr. tid er nu givet ved: $A_{ij}^{kl} - A_{kl}^{ij}$. For k-tilstanden fås:

$$\text{III} \quad \frac{\delta H}{\delta t} = \sum_{ijkl} a_{ij}^{kl} (n_i n_j - n_k n_l) \ln n_k = \sum_{ijkl} a_{ij}^{kl} (n_k n_l - n_i n_j) (-\ln n_k)$$

- og endelig for tilstanden l fås:

$$\text{IV} \quad \frac{\delta H}{\delta t} = \sum_{ijkl} a_{ij}^{kl} (n_k n_l - n_i n_j) (-\ln n_l)$$

Da I-IV, hver for sig, giver entropiændringen, kan sammenhængen i stedet skrives som middelværdien af de fire udtryk:

Appendiks A

$$\begin{aligned} \frac{\delta H}{\delta t} &= \frac{\text{I} + \text{II} + \text{III} + \text{IV}}{4} \\ &= \frac{1}{4} \sum_{ijkl} a_{ij}^{kl} (n_k n_l - n_i n_j) (\ln n_i + \ln n_j - \ln n_k - \ln n_l) \\ &= \frac{1}{4} \sum_{ijkl} a_{ij}^{kl} (n_k n_l - n_i n_j) (\ln[n_i n_j] - \ln[n_k n_l]) \end{aligned}$$

Vi har altså nu et udtryk af formen:

$$\frac{\delta H}{\delta t} = a_{ij}^{kl} [(\ln x - \ln y) (y - x)]$$

Da \ln er en voksende funktion, vil $(\ln x - \ln y)$ og $(y - x)$ altid have modsat fortegn. Samtidig ved vi med sikkerhed, at a_{ij}^{kl} aldrig er negativ, hvoraf det må konkluderes at: $\delta H / \delta t \leq 0$

Hermed er det vist, at H-funktionen er aftagende i tiden, og dermed at entropien (S) er stigende. Entropien vil vokse jævnt til $x=y$ ($\delta H / \delta t = 0$), dvs. indtil $n_i \cdot n_j = n_k \cdot n_l$. I denne situation vil det for alle sammenstødene samtidig gælde, at $E_i + E_j = E_k + E_l$. Ved maksimal entropi er der derfor følgende bånd på fordelingerne:

$$\text{a: } n_i \cdot n_j = n_k \cdot n_l$$

$$\text{b: } E_i + E_j = E_k + E_l$$

hvilket viser, at sammenhængen mellem n_i og E_i må være af formen: $\ln n_i \propto E_i$. Dette forhold er i overensstemmelse med Maxwell-Boltzmann-fordelingen:

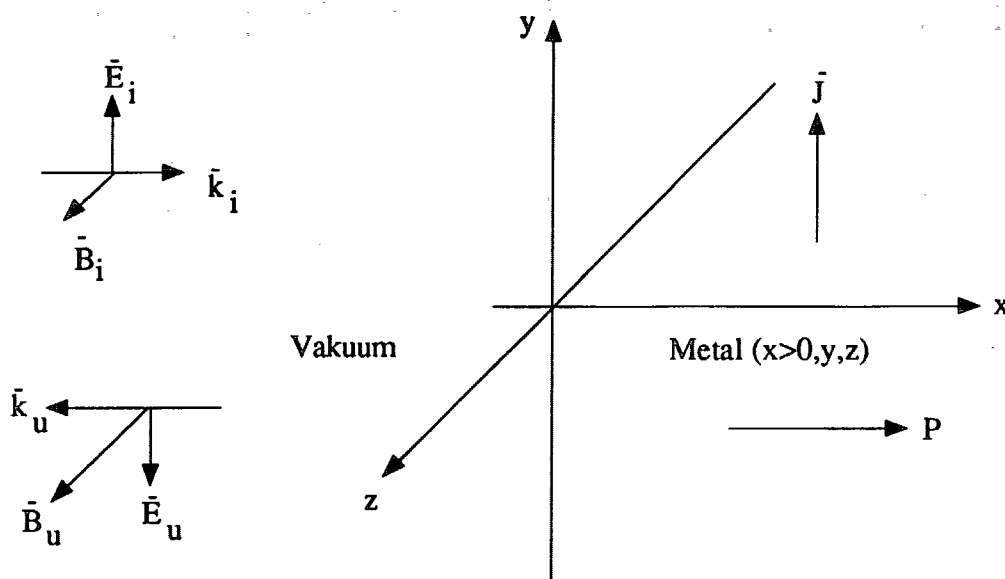
$$n_i = A g_i e^{-\beta E_i}$$

Hermed har vi vist, at tilstanden med maksimal entropi (dvs. den mest sandsynlige tilstand) netop svarer til Maxwell/Boltzmann-fordelingen...jvf. Boltzmanns udtalelse i kapitel 4. En given molekylær start-tilstand vil i følge denne udledning altid udvikle sig hen imod Maxwell/Boltzmann-fordelingen og entropien vil under denne proces stige jævnt.

Appendiks B

Strålingstryk og modestæthed.

Vi ønsker først at finde en sammenhæng mellem impulsstrømtætheden og energistrømtætheden for en plan bølge, der falder ind mod en metaloverflade.



Figur B.1 En plan elektromagnetisk bølge falder ind mod en metaloverflade. Se tekst.

Vinkelrette indfald.

Vi betragter altså en indfaldende bølge med et elektrisk felt $\mathbf{E}_i = (0, E[x, t], 0)$ og et magnetisk felt $\mathbf{B}_i = (0, 0, B[x, t])$, og som derfor udbreder sig i x-aksens retning. Vi antager, at bølgen udbreder sig i vakuum for $x < 0$ og i et metal for $x > 0$. Når en sådan bølge falder ind mod en metaloverflade, vil en del af strålingen absorberes, men størstedelen vil blive reflekteret. Den absorberede stråling vil på et tidspunkt skulle afgives igen i form af stråling, hvis der ses bort fra alle andre former for energifrigørelse. Energien vil blive fordelt på forskellige frekvenser, efter en specifik fordelingsfunktion K_S (se afsnit 5.2), men da den samlede energi skal være bevaret, og så længe vi holder os til kun at behandle den samlede energistrøm, vil det være således, at den samlede energistrømtæthed igennem et vilkårligt areal uden for metallet er $0 \text{ J/m}^2\text{s}$. Vi behøver altså ikke kende K_S , for at kunne beskrive den samlede energistrøm, og vi kan

Appendiks B

ikke kende forskel på energien af absorberet/emitteret og reflekteret stråling.

Når det indkommende E-felt rammer en metaloverflade resulterer det i en skærmstrøm \mathbf{J} i metallets overflade. Ved hjælp af Maxwells ligninger kan det vises at denne skærmstrøm aftager eksponentielt ind igennem metallet i x-aksens retning. Dette må skyldes at metallet modvirker dette indtrængende felt med et modfelt \mathbf{E}_u , hvorved der opstår en udgående bølge med et B-felt \mathbf{B}_u , som er bestemt ved :

$$\mathbf{B}_0 = \mathbf{B}_i + \mathbf{B}_u = 2 \mathbf{B}_i \quad (\text{B.1})$$

hvor \mathbf{B} er det samlede felt. Skærmstrømmen \mathbf{J} er da givet ved :

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mathbf{J} \mu_0 \quad (\text{B.2})$$

Der er altså tale om en strøm \mathbf{J} , der løber i et magnetfelt \mathbf{B} , hvilket giver anledning til en lorentzkraft på metallet. Kraften pr. areal, dvs. trykket, er givet ved :

$$\mathbf{P}_x = \int_0^{\infty} \mathbf{J} \times \mathbf{B} \, dx \quad (\text{B.3})$$

hvor \mathbf{P} er impulstætheden, da både \mathbf{J} og \mathbf{B} er konstante i y- og z-retningen. Indsættes udtrykket for \mathbf{J} fra (B.2) i (B.3) fås :

$$\mathbf{P}_x = \frac{1}{\mu_0} \int_0^{\infty} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} \, dx \quad (\text{B.4})$$

Den numeriske løsning til problemet må så være :

$$\mathbf{P}_x = \frac{-1}{\mu_0} \int_0^{\infty} \mathbf{B} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial x} \, dx \quad (\text{B.5})$$

som løses til :

$$\mathbf{P}_x = \frac{1}{2 \mu_0} \mathbf{B}_0^2(0,t) = \frac{1}{2 \mu_0} \mathbf{B}_0^2 \quad (\text{B.6})$$

Ved midling over en periode og sammenholdt med (B.1) fås :

$$\mathbf{P} = \frac{1}{4 \mu_0} \mathbf{B}_0^2 = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B}_i^2 = \frac{1}{2 \mu_0} \mathbf{B}_i^2 + \frac{\epsilon_0}{2} \mathbf{E}_i^2 = u_i \quad (\text{B.7})$$

Appendiks B

hvor u_i er energitætheden af den indgående stråling.

Energistrømtætheden \bar{s} af den indgående bølge er givet ved :

$$\bar{s} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E}_i \times \mathbf{B}_i = \frac{c}{\mu_0} \mathbf{B}_i^2 \mathbf{e} = c u_i \mathbf{e} \quad (\text{B.8})$$

idet \mathbf{e} er en enhedsvektor vinkelret på metaloverfladen.

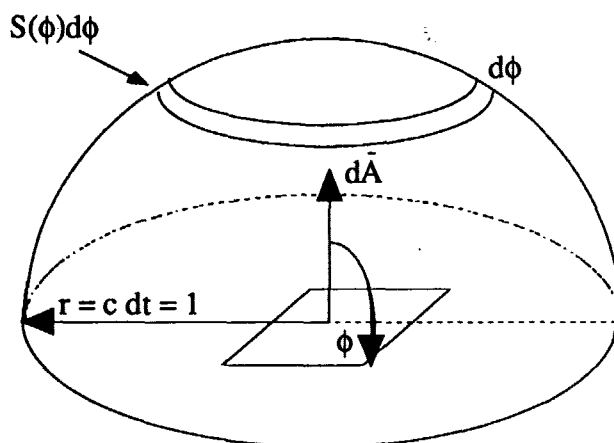
Altså er energistrømtætheden lig lysets hastighed gange impulstætheden, som for vinkelrette indfald er lig trykket :

$$\bar{s}_0 = c P = c u \quad (\text{B.9})$$

for en plan elektromagnetisk bølge, der falder vinkelret ind mod en metaloverflade.

Indfald fra alle vinkler.

Vi vil nu betragte samme forhold for elektromagnetiske bølger, som falder ind mod et arealelement dA på metaloverfladen fra alle mulige vinkler.



Figur B.2 Elektromagnetiske bølger, der falder ind mod en metaloverflade, i en halv enhedskugle i vinklen $\phi + d\phi$. Se tekst.

Vi betragter nu den brøkdelt af strålingen, som passerer ind i en halv enhedskugle og rammer metaloverfladen efter tidsrummet dt , hvorefter den udsendes igen og forlader enhedshalvkuglen igen efter yderligere dt .

ϕ er vinklen mellem strålingsretningen og dA . Vi antager, at energien er jævnt fordelt over enhedshalvkuglen, så den brøkdelt af energistrømmen, der strømmer i retningen $\phi + d\phi$, er proportionalt med indstrømningsarealets størrelse. Energistrømtæthedsraten er derfor :

$$\frac{\bar{s}(\phi) d\phi}{\bar{s}_0} = \frac{2\pi \sin(\phi)}{2\pi} d\phi = \sin(\phi) d\phi \quad (\text{B.10})$$

Appendiks B

hvor \bar{s}_0 er den samlede energistrømtæthed af den indgående stråling. Den samlede impulsoverførsel til dA pr. tidsenhed, fra strålingen mellem ϕ og $\phi + d\phi$ findes til :

$$dP dA = \frac{\bar{s}_0}{c} \frac{\bar{s}(\phi)}{\bar{s}_0} \cos(\phi) dA \cos(\phi) d\phi$$

$$\Leftrightarrow dP = \frac{\bar{s}_0}{c} \cos^2(\phi) \sin(\phi) d\phi \quad (\text{B.11})$$

Den ene $\cos(\phi)$ er en arealreduktionsfaktor, den anden skyldes, at det kun er vinkelrette komponenter af impulsstrømmen, der bidrager til trykket.

Reduceres udtrykket i (B.11) yderligere, og integreres på begge sider over vinklen ϕ fra 0 til $\pi/2$, får man :

$$P = \frac{\bar{s}_0}{c} \int_0^{\pi/2} \cos^2(\phi) \sin(\phi) d\phi = \frac{\bar{s}_0}{c} \left[\frac{-\cos^3(\phi)}{3} \right]_0^{\pi/2} = \frac{\bar{s}_0}{c} \frac{1}{3}$$

Ved at benytte relationerne i (B.9) på udtrykket fås :

$$P = \frac{u}{3} = \frac{1}{3} \frac{U}{V} \quad (\text{B.12})$$

hvor P er strålingstrykket på metaloverfladen. U og V er henholdsvis energien og rumfanget af den halve enhedskugle.

Samlet kan vi altså konkludere, at strålingstrykket på en absolut sort overflade, er $1/3$ af energitætheden .

Beregning af modetætheder.

Vi har i afsnit 5.1 diskuteret, hvorledes man kan have stående bølger eller modes mellem to perfekte spejle. Vi vil nu finde modetætheden i en terning med perfekte spejle. Hvis vi definerer en terning til at have en sidelængde på $l_x = l_y = l_z = L$, så vil bølgetalsvektoren kunne skrives som :

$$\mathbf{k} = \pi/L (n_x, n_y, n_z) \quad (\text{B.13})$$

hvor n_x, n_y, n_z er hele positive tal. Heraf bliver antallet af modes pr. rumfangsenhed i k -rummet : $(L/\pi)^3$. Hver komponent af \mathbf{k} er givet ved :

$$k = \omega/c \quad (\text{B.14})$$

hvor ω er vinkelfrekvensen af en mode, og c er lysets hastighed. Vi interesserer os nu for alle modes med frekvenser mindre end ω ,

hvilket kan repræsenteres ved en kugle i k-rummet med rumfanget :

$$V_k = \frac{4}{3} \pi \frac{\omega^3}{c^3} \quad (\text{B.15})$$

Antallet af modes med frekvenser mindre end ω , er så V_k gange med antal modes pr. rumfangsenhed i k-rummet. Vi får da :

$$G(\omega) = \frac{1}{k^3} V_k \frac{2}{8} = \frac{L^3}{\pi^3} \frac{4}{3} \pi \frac{\omega^3}{c^3} \frac{2}{8} = \frac{L^3 \omega^3}{3 \pi^2 c^3} \quad (\text{B.16})$$

hvor der ganges med 1/8 for kun at få 1. oktant med, og med 2 for at få begge polariseringsretninger med. Da vi gerne vil have antallet af modes pr. rumfang ved frekvensen ν , udnytter vi relationen mellem ω og ν :

$$\omega = 2 \pi \nu \quad (\text{B.17})$$

som vi indsætter i (B.16) og dividerer med rumfanget af terningen L^3 . Heraf fås :

$$g(\nu) = \frac{8 \pi \nu^3}{3 c^3} \quad (\text{B.18})$$

Det vi kalder modestætheden $m(\nu)$ i kapitel 5, er i virkeligheden modestætheden i frekvensintervallet ν og $\nu+d\nu$. $m(\nu)$ er da:

$$m(\nu) = \frac{g(\nu)}{d\nu} = \frac{8 \pi \nu^2}{c^3} \quad (\text{B.19})$$

Altså går modestætheden mellem ν og $\nu+d\nu$ med en konstant gange kvadratet på frekvensen.

Litteraturliste.

- Adams, Douglas, 1979, *The Hitch Hikers Guide to the Galaxy*, Pan, London.
- Ahlberg, Alf, 1963, *Filosofiens Historie*, vol.4, Gyldendal.
- Alonso, Marcelo og Finn, Edward J., 1968, *Fundamental university physics*, vol.2-3, New York.
- Anderson, David L. , 1964, *The Discovery of the Electron*, D. van Nordstrand Company, Inc. Princeton New Jersey.
- Berning, Hugo og Olsen, Jørgen Steen, 1989, *Tidens Pil*, Consensus.
- Bertilsson, Magareta, 1978, *Towards a social reconstruction of science theory, Peirce's theory of inquiry, and beyond*, Lund.
- Bohr, Niels, 1985, *Atomer og kerner*, Rhodos .
- Buchler, Justus, 1955, *Philosophical writings of Peirce*, Dover Pub. Inc., New York.
- Bynum, W. F., 1981, *Dictionary of the History of Science*, The Macmillan Press Ltd., London.
- Christiansen, Peder Voetmann, 1988, *Charles S. Peirce: Mursten og mørtel til en metafysik*, IMFUFA-tekst nr. 169, RUC.
- Feynman, Richard, 1989, *The Feynman Lectures on Physics*, vol 1. California.
- Fysisk Tidsskrift, 1963, *Niels Bohr - Et mindeskript*, København.
- Gamow, G., 1968, *Tredive år der rystede fysikken*, København.
- Gullvåg, Ingemund, 1972, *Charles Sanders Peirce*, PAX, Oslo.
- Gyldendals Leksikon, 1984, Gyldendal.
- Hartnack, Justus, 1988, *Kant*, Forlaget Lina.
- Heilbron, J.L., 1986, *Then dilemmas of an upright man*, London.

Litteraturliste.

- Hein, Piet, 1978, Dansk fysisk Årsmøde, 11. nov. - Om den skabende proces i videnskaben og andre kunstarter, Dansk Fysisk Selskab. 1977
- Hiorth, Finngeir, 1966, Leibniz, PAX, Oslo.
- Jammer, Max, 1954, The conceptual development of quantum mechanics, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Jørgensen, Jørgen, 1972, Den logiske empirismes udvikling, København.
- Keller, Alex, 1983, The infancy of atomic physics, Oxford.
- Klein, Martin J. 1985, Paul Ehrenfest - The making of a theoretical physicist, North Holland, 3. udgave.
- Koch, Carl H. , 1979, Francis Bacon, Studier fra sprog og oldtidsforskning, Museum Tusulanuns forlag.
- Kragh, Helge og Pedersen, Stig Andur, 1981, Videnskab, Teori og samfund, IMFUFA tekst nr 42, RUC.
- Kragh, Helge og Pedersen, Stig Andur, 1981, Naturvidenskabsteori: træk af debatten om naturvidenskab, teknologi og samfund, Arnold Busk.
- Kragh, Helge, 1973, Atomteoriens historie / belyst ved kildekrifter, Gyldendal .
- Kragh, Helge, 1982, Fysikhistorie og fysikundervisning : et eksempel, Gamma nr. 51 dec., Niels Bohr Institutet.
- Kuhn, Thomas, 1972, Videnskabens Revolutioner, København.
- Kuhn, Thomas, 1978, Black-Body Theory - And The Quantum Discontinuity 1894-1912, New York.
- Körner, S., 1955, Kant ,London.
- La Cour, P. og Christiansen, C. og Prytz, K., 1898, Hverdagsfysik - fra kompasset til kakkelovnen, København.
- Latour, Bruno, 1987, Science In Action, Open University Press, England.

Litteraturliste.

- Laurikainen, K. V. , 1988, Quantum Physics and Philosophy, Research Institute for Theoretical Physics, University of Helsinki.
- Lindgren, Ingvar m.fl., 1971, Fysik 3 - Kvantfysik, A&W, Stockholm.
- Lund, Hakun, 1973, Hovedtræk af kemiens historie indtil år 1900, C.E.C. Gad.
- Mach, Ernst, 1973, Die Mechanik, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Mehra, Jagdish og Rechenberg, Helmut, 1982, The Historical Development of Quantum Theory", vol 1, part 1, New York.
- Nørretranders, Tor, 1985, Det udelelige, Gyldendal.
- Paradigma, 1989, nr.2, Fysik og Virkelighed, Ask.
- Pihl, Mogens, 1963, Den moderne naturerkendelse - Humanisme og naturvidenskab, Hans Reitzel, København.
- Pihl, Mogens, 1976, Kvantemekanikkens tidlige historie, noter fra H.C.Ørsted institutet.
- Planck, Max, 1932, Where is science going?, New York.
- Planck, Max, 1949, Scientific Autobiography and other papers,
- Porter, Theodore M. 1986, The rise of statistical thinking, Princeton University Press.
- Rescher, Nicholas, Leibniz, , 1979, - An Introduction to his Philosophy. New Jersey.
- Romer, Alfred, 1964, The Discovery of Radioactivity and Transmutation, Dover Publications, New York.
- Rosenfeld, Leon, 1976, Den første fasen i udviklingen av kvanteteorien, Oslo.
- Rozental, Stefan , 1964, Niels Bohr. Hans liv og virke fortalt af en kreds af venner og medarbejdere, J. H. Schultz forlag.
- Rozental, Stefan, 1985, Erindringer om Niels Bohr, Gyldendal.

Litteraturliste.

Russell, Bertrand, 1974, *Filosofiens problemer*. København. (Engelsk udgave, Oxford, 1912).

Rørdam, E. og Engelstoft, P., 1923, *Hagerups illustrerede konversationsleksikon*, H. Hagerups forlag.

Schlipp, P. A., 1970, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The library of Living Philosophers vol VII. 3'die udg., Cambridge University Press.

Skagestad, Peter, 1978, *Vitenskap og menneskebilde - Charles Peirce og amerikansk pragmatisme*, Uni. forlaget, Oslo.

Stefanson, N. C., 1982, *Den amerikanske pragmatisme*. I "Vor tids filosofi - Videnskab og Sprog.", Politikens forlag.

Stybe, Svend Erik, *Idehistorie*. IV udg. V oplag, Munksgaard 1987.

Thomsen, Henrik, 1964, *Hvem tænkte hvad - filosofien hvem-hvad-hvor*, Politikens forlag.

Thomsen, Poul V., 1987, *Den moderne fysiks gennembrud : Kvanteteorien*, Forlaget How, Århus.

Witt-Hansen, Johannes, 1980, *Leibniz, Høffding, and the Ekliptica Circle*, Særtryk fra Dansk Årbog for Filosofi, vol 17, s. 31- 58.

Wittgenstein, Ludwig, 1963, *Tractatus Logico-Philosophicus*, Oversat af David Favrholt, Gyldendal.

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.
Projektrapport af: Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.
Vejleder: Anders Madsen
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Krenøe og Peter H. Lassen
Vejleder: Bernhelm Boss.
- 3/78 "OPCAVESAMLING", breddekursus i fysik.
Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.
Af: Mogens Niss
Nr. 4 er p.t. udgået.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE".
Af: Helge Kragh.
Nr. 5 er p.t. udgået.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".
Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN".
Af: B.V. Gnedenko.
Nr. 7 er udgået.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariorum".
Projektrapport af: Lasse Rasmussen.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 10/79 "THERMODYNAMIK I GYMNASIET".
Projektrapport af: Jan Christensen og Jeanne Mortensen,
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER".
Af: Jørgen Larsen.
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER".
Af: Mogens Brun Heefelt,
Nr. 12 er udgået.
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".
Projektrapport af: Gert Kreinøe.
Vejleder: Albert Chr. Paulsen.
- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of".
Af: Else Høyrup.
Nr. 14 er p.t. udgået.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".
Specialeopgave af: Leif S. Striegler.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".
Af: Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978.
Preprint.
Af: Bernhelm Booss og Mogens Niss (eds.)
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET-FORMÅL OG KONSEKVENSER".
Projektrapport af: Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".
1-port lineært response og støj i fysikken.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality".
Af: Helge Kragh.
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE hos 2. G'ERE".
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.
Projektrapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodul/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".
En projektrapport og to artikler.
Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS".
Af: Helge Kragh.
- 28/80 "DILEMTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskemes viscoelastiske egenskaber".
Projektrapport af: Gert Kreinøe.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentiaalligningsmodeller".
Projektrapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".
Af: Oluf Danielsen.
Nr. 30 er udgået.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE".
Projektrapport af: Troels Lange og Jørgen Karrebæk.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
Nr. 31 er p.t. udgået.
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER - OG MØSSBAUEREFFEKT MÅLINGER".
Projektrapport af: Crilles Bacher og Preben Jensen.
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK - NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".
Af: Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".
ENERGY SERIES NO. I.
Af: Bent Sørensen
Nr. 34 er udgået.

- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
Af: Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".
Fire artikler.
Af: Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO. 2.
Af: Bent Sørensen.
-
- 38/81 "TIL EN HISTORIE TEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".
Projektrapport af: Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.
Nr. 38 er p.t. udgået.
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".
Af: Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".
Projektrapport af: Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.
Vejleder: Per Nørregaard.
- 41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".
ENERGY SERIES NO. 3.
Af: Bent Sørensen.
- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".
Af: Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.
- 43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".
ENERGY SERIES NO. 4.
Af: Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISKE UNDERSØGELSER AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projektrapport af: Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
-
- 45/82 Er aldrig udkommet.
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE-1+1 ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".
Projektrapport af: Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".
ENERGY SERIES NO. 5.
Af: Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn og Isac Showiki.
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".
Projektrapport af: Preben Nørregaard.
Vejledere: Jørgen Larsen og Rasmus Ole Rasmussen.
- 50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY".
ENERGY SERIES NO. 6.
Rapport af: Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.
- 52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS".
Af: Berthelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".
Af: Arne Jacobsen og Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.
Af: Stig Andur Pedersen og Johannes Witt-Hansen.
- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi.
Af: Else Høytrup.
Vedr. tekst nr. 55/82 se også tekst nr. 62/83.
- 56/82 "EN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projektrapport af: Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET"-
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projektrapport af: Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
Nr. 57 er udgået.
- 58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.
Projektrapport af: Per Hammershøj Jensen og Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 7.
Af: Bent Sørensen.
- 60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE"- et eksempel.
Projektrapport af: Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION, SOM ET EKSEMPEL PÅ EN NATURVIDENSKAB - HISTORISK SET".
Projektrapport af: Annette Post Nielsen.
Vejledere: Jens Høytrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogelius.
- 62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi 2. rev. udgave.
Af: Else Høytrup.
- 63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 8.
Af: David Crossley og Bent Sørensen.
- 64/83 "VON MATEMATIK UND KRIEG".
Af: Berthelm Booss og Jens Høytrup.
- 65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Kirsten Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejledere: Berthelm Booss og Klaus Grünbaum.
- 66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I ESCHERICHIA COLI".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Ole Richard Jensen og Klavs Fris Dahl.
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen.
- 67/83 "ELEPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?".
Projektrapport af: Lone Billmann og Lars Boye.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK" - til kritikken af teoriladede modeller.
Projektrapport af: Lise Odgård Cade, Susanne Hansen, Michael Hviid og Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"
- en test i l.g med kommentarer.
Af: Albert C. Paulsen.
- 70/83 "INDLÆRINGS - OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU".
Projekt rapport af: Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glerup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Yagn Rasmussen.
Vejleder: Klaus Grünbaum og Anders Hede Madsen.
- 71/83 "PIGER OG FYSIK"
- et problem og en udfordring for skolen?
Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich og Mette Vedelsby.
- 72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S Peirce.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 73/83 ""EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"
- økologisk contra traditionelt.
ENERGY SERIES NO. 9
Specialeopgave i fysik af: Bent Hove Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.
-
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik.
Projekt rapport af: Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"
- Case: Linear programmering.
Projekt rapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank Mølgaard Olsen.
Vejledere: Mogens Brun Heefelt og Jens Bjørneboe.
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et hørings svar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 10
Af: Niels Boye Olsen og Bent Sørensen.
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller.
Projekt rapport af: Svend Åge Houmann, Keld Nielsen og Susanne Stender.
Vejledere: Jørgen Larsen og Jens Bjørneboe.
- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM".
Special rapport af: Hans Heddal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE".
Projekt rapport af: Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B".
Af: Mogens Brun Heefelt.
- 81/84 "FREKVENSafhængig LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM".
Special rapport af: Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 82/84 "MATEMATIK - OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISEREDE SAMFUND".
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983.
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss.
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY":
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1
Af: Bent Sørensen
nr. 83 er p.t. udgået
- 84/84 "NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".
Af: Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK".
Special rapport af: Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2
Af: Bent Sørensen.
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS".
Af: Detlef Laugwitz.
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
- 90/84 "ENERGI I L.G - EN TEORI FOR TILRETTELÆGGELSE".
Af: Albert Chr. Paulsen.
-
- 91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
1. Lærervejledning
Projekt rapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
2. Materiale
Projekt rapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM - NON - LOCALITY".
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren og ånden".
Projekt rapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank M. Olsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 95/85 "AN ALTERNATIV DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 3
Af: Bent Sørensen
- 96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING".
Af: Bjarne Lillethorup.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSAlderEN".
Af: Bent Sørensen.
- 99/85 "Der er langt fra Q til R".
Projekt rapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 100/85 "TALSYSTEMETS OPBYGNING".
Af: Mogens Niss.
- 101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS IN PERTURBATIVE FORM".
Af: Ganesh Sengupta.
- 102/85 OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED MODELLER OVER KØERS FODEROPTAGELSE OG - OMSÆTNING".
Projekt rapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lilli Røn og Susanne Stender.
Vejleder: Klaus Grünbaum.

- 103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE OG VIDENSKABENS LYSE IDEER".
 Projekt rapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen.
 Vejleder: Bent Sørensen.
- 104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER".
 Af: Jens Jæger.
- 105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT OF THE
 GLASS REANSTITION".
 Af: Tage Christensen.
 "A SIMPLE MODEL AF AC HOPPING CONDUCTIVITY".
 Af: Jeppe C. Dyre.
 Contributions to the Third International Conference
 on the Structure of Non - Crystalline Materials held
 in Grenoble July 1985.
- 106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES".
 Af: Bent Sørensen.
- 107/85 "EN MYG ØVR INGEN EPIDEMI".
 - flodblindhed som eksempel på matematisk modelle-
 ring af et epidemiologisk problem.
 Projekt rapport af: Per Hedegård Andersen, Lars Boye,
 Carsten Holst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling
 Møller Pedersen.
 Vejleder: Jesper Larsen.
- 108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CUR-
 RICULUM" - state and trends -
 Af: Mogens Niss.
- 109/85 "COX I STUDIETIDEN" - Cox's regressionsmodel anvendt på
 studenteroplysninger fra RUC.
 Projekt rapport af: Mikael Wernerberg Johansen, Poul Kat-
 ler og Torben J. Andreasen.
 Vejleder: Jørgen Larsen.
- 110/85 "PLANNING FOR SECURITY".
 Af: Bent Sørensen
- 111/85 "JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT".
 Projekt rapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones
 og Jimmy Staal.
 Vejleder: Mogens Niss.
- 112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION
 FREM TIL 1950 - BELYST VED EKSEMPLER".
 Projekt rapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Hedal,
 Frank C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn
 Physant.
 Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen.
- 113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11".
 Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE
 AF KONVIGENSTABELLER".
 Projekt rapport af: Lone Biilmann, Ole R. Jensen
 og Arne-Lise von Moos.
 Vejleder: Jørgen Larsen.
- 115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENESSANCEN".
 Af: Mogens Niss.
- 116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-
 NELDEL RULE".
 Af: Jeppe C. Dyre.
- 117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING".
 Af: Jacob Mørch Pedersen.
 Vejleder: Bent Sørensen
- 118/85 "TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN IFØLGE
 PEIRCE OG FYSIKKEN".
 Af: Peder Voetmann Christiansen
- 120/86 "ET ANTAL STATISTISKE STANDARDMODELLER".
 Af: Jørgen Larsen
- 121/86 "SIMULATION I KONTINUERT TID".
 Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 122/86 "ON THE MECHANISM OF GLASS IONIC CONDUCTIVITY".
 Af: Jeppe C. Dyre.
- 123/86 "GYMNASIEFYSIKKEN OG DEN STORE VERDEN".
 Fysiklærerforeningen, IMFUFA, RUC.
- 124/86 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK".
 Samtlige opgaver stillet i tiden 1974-jan. 1986.
- 125/86 "UVBYG - systemet - en effektiv fotometrisk spektral-
 klassifikation af B-, A- og F-stjerner".
 Projekt rapport af: Birger Lundgren.
- 126/86 "OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI".
 Projekt rapport af: Lise Odgaard & Linda Szkotak Jensen.
 Vejledere: Karin Beyer & Stig Andur Pedersen.
- 127/86 "GALOIS' BIDRAG TIL UDVIKLINGEN AF DEN ABSTRAKTE
 ALGEBRA".
 Projekt rapport af: Pernille Sand, Heine Larsen &
 Lars Frandsen.
 Vejleder: Mogens Niss.
- 128/86 "SMÅKRYB" - om ikke-standard analyse.
 Projekt rapport af: Niels Jørgensen & Mikael Klintorp.
 Vejleder: Jeppe Dyre.
- 129/86 "PHYSICS IN SOCIETY"
 Lecture Notes 1983 (1986)
 Af: Bent Sørensen
- 130/86 "Studies in Wind Power"
 Af: Bent Sørensen
- 131/86 "FYSIK OG SAMFUND" - Et integreret fysik/historie-
 projekt om naturanskuelsens historiske udvikling
 og dens samfundsmæssige betingethed.
 Projekt rapport af: Jakob Heckscher, Søren Brønd,
 Andy Wierød.
 Vejledere: Jens Høyrup, Jørgen Vogelius,
 Jens Højgaard Jensen.
- 132/86 "FYSIK OG DANNEELSE"
 Projekt rapport af: Søren Brønd, Andy Wierød.
 Vejledere: Karin Beyer, Jørgen Vogelius.
- 133/86 "CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSING THE DATA.
 ENERGY SERIES NO. 15.
 AF: Bent Sørensen.
-
- 134/87 "THE D.C. AND THE A.C. ELECTRICAL TRANSPORT IN AsSeTe SYSTEM"
 Authors: M.B.El-Den, N.B.Olsen, Ib Høst Pedersen,
 Petr Visčor
- 135/87 "INTUITIONISTISK MATEMATIKS METODER OG ERKENDELSES-
 TEORETISKE FORUDSÆTNINGER"
 MATEMATIKSPECIALE: Claus Larsen
 Vejledere: Anton Jensen og Stig Andur Pedersen
- 136/87 "Mystisk og naturlig filosofi: En skitse af kristendommens
 første og andet møde med græsk filosofi"
 Projekt rapport af Frank Colding Ludvigsen
 Vejledere: Historie: Ib Thiersen
 Fysik: Jens Højgaard Jensen
- 137/87 "HOPMODELLER FOR ELEKTRISK LEDNING I UORDNEDE
 FASTE STOFFER" - Resume af licentiaatafhandling
 Af: Jeppe Dyre
 Vejledere: Niels Boye Olsen og
 Peder Voetmann Christiansen.
- 119/86 "DET ER GANSKE VIST - - EUKLIDS FEMTE POSTULAT
 KUNNE NOK SKABE RØRE I ANDEDAMMEN".
 Af: Iben Maj Christiansen
 Vejleder: Mogens Niss.

- 138/87 "JOSEPHSON EFFECT AND CIRCLE MAP."
Paper presented at The International Workshop on Teaching Nonlinear Phenomena at Universities and Schools, "Chaos in Education". Balaton, Hungary, 26 April-2 May 1987.
By: Peder Voetmann Christiansen
- 139/87 "Machbarkeit nichtbeherrschbarer Technik durch Fortschritte in der Erkennbarkeit der Natur"
Af: Bernhelm Booss-Bavnbek
Martin Bohle-Carbonell
- 140/87 "ON THE TOPOLOGY OF SPACES OF HOLOMORPHIC MAPS"
By: Jens Gravesen
- 141/87 "RADIOMETERS UDVIKLING AF BLODGASAPPARATUR - ET TEKNOLOGIHISTORISK PROJEKT"
Projektrapport af Finn C. Physant
Vejleder: Ib Thiersen
- 142/87 "The Calderón Projektor for Operators With Splitting Elliptic Symbols"
by: Bernhelm Booss-Bavnbek og
Krzysztof P. Wojciechowski
- 143/87 "Kursusmateriale til Matematik på NAT-BAS"
af: Mogens Brun Heefelt
- 144/87 "Context and Non-Locality - A Peircan Approach"
Paper presented at the Symposium on the Foundations of Modern Physics The Copenhagen Interpretation 60 Years after the Cmo Lecture. Joensuu, Finland, 6 - 8 august 1987.
By: Peder Voetmann Christiansen
- 145/87 "AIMS AND SCOPE OF APPLICATIONS AND MODELLING IN MATHEMATICS CURRICULA"
Manuscript of a plenary lecture delivered at ICMTA 3, Kassel, FRG 8.-11.9.1987
By: Mogens Niss
- 146/87 "BESTEMMELSE AF BULKRESISTIVITETEN I SILICIUM"
- en ny frekvensbaseret målemetode.
Fysikspeciale af Jan Vedde
Vejledere: Niels Boye Olsen & Petr Višćor
- 147/87 "Rapport om BIS på NAT-BAS"
redigeret af: Mogens Brun Heefelt
- 148/87 "Naturvidenskabsundervisning med Samfundsperspektiv"
af: Peter Colding-Jørgensen DLH
Albert Chr. Paulsen
- 149/87 "In-Situ Measurements of the density of amorphous germanium prepared in ultra high vacuum"
by: Petr Višćor
- 150/87 "Structure and the Existence of the first sharp diffraction peak in amorphous germanium prepared in UHV and measured in-situ"
by: Petr Višćor
- 151/87 "DYNAMISK PROGRAMMERING"
Matematikprojekt af:
Birgit Andresen, Keld Nielsen og Jimmy Staal
Vejleder: Mogens Niss
- 152/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PROJECTIONS AND THE TOPOLOGY OF CERTAIN SPACES OF ELLIPTIC BOUNDARY VALUE PROBLEMS"
by: Bernhelm Booss-Bavnbek
Krzysztof P. Wojciechowski
- 153/88 "HALVLEDERTEKNOLOGIENS UDVIKLING MELLEM MILITÆRE OG CIVILE KRÆFTER"
Et eksempel på humanistisk teknologihistorie
Historiespeciale
Af: Hans Hedal
Vejleder: Ib Thiersen
- 154/88 "MASTER EQUATION APPROACH TO VISCOUS LIQUIDS AND THE GLASS TRANSITION"
By: Jeppe Dyre
- 155/88 "A NOTE ON THE ACTION OF THE POISSON SOLUTION OPERATOR TO THE DIRICHLET PROBLEM FOR A FORMALLY SELFADJOINT DIFFERENTIAL OPERATOR"
by: Michael Pedersen
- 156/88 "THE RANDOM FREE ENERGY BARRIER MODEL FOR AC CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"
by: Jeppe C. Dyre
- 157/88 "STABILIZATION OF PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS BY FINITE DIMENSIONAL BOUNDARY FEEDBACK CONTROL: A pseudo-differential approach."
by: Michael Pedersen
- 158/88 "UNIFIED FORMALISM FOR EXCESS CURRENT NOISE IN RANDOM WALK MODELS"
by: Jeppe Dyre
- 159/88 "STUDIES IN SOLAR ENERGY"
by: Bent Sørensen
- 160/88 "LOOP GROUPS AND INSTANTONS IN DIMENSION TWO"
by: Jens Gravesen
- 161/88 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PERTURBATIONS AND STABILIZATION OF DISTRIBUTED PARAMETER SYSTEMS: Dirichlet feedback control problems"
by: Michael Pedersen
- 162/88 "PIGER & FYSIK - OG MEGET MERE"
AF: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich, Mette Vedelsby
- 163/88 "EN MATEMATISK MODEL TIL BESTEMMELSE AF PERMEABILITETEN FOR BLOD-NETHINDE-BARRIEREN"
Af: Finn Langberg, Michael Jarden, Lars Frellesen
Vejleder: Jesper Larsen
- 164/88 "Vurdering af matematisk teknologi
Technology Assessment
Teknikfolgenabschätzung"
Af: Bernhelm Booss-Bavnbek, Glen Pate med
Martin Bohle-Carbonell og Jens Højgaard Jensen
- 165/88 "COMPLEX STRUCTURES IN THE NASH-MOSER CATEGORY"
by: Jens Gravesen

- 166/88 "Grundbegreber i Sandsynlighedsregningen"
Af: Jørgen Larsen
- 167a/88 "BASISSTATISTIK 1. Diskrete modeller"
Af: Jørgen Larsen
- 167b/88 "BASISSTATISTIK 2. Kontinuerte modeller"
Af: Jørgen Larsen
- 168/88 "OVERFLADEN AF PLANETEN MARS"
Laboratorie-simulering og MARS-analoger undersøgt ved Mössbauerspektroskopi.
Fysikspeciale af:
Birger Lundgren
Vejleder: Jens Martin Knudsen
Fys.Lab./HCØ
- 169/88 "CHARLES S. PEIRCE: MURSTEN OG MØRTEL TIL EN METAFYSIK."
Fem artikler fra tidsskriftet "The Monist" 1891-93.

Introduktion og oversættelse:
Peder Voetmann Christiansen
- 170/88 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK"
Samtlige opgaver stillet i tiden 1974 - juni 1988
- 171/88 "The Dirac Equation with Light-Cone Data"
af: Johnny Tom Ottesen
- 172/88 "FYSIK OG VIRKELIGHED"
Kvantemekanikkens grundlagsproblem i gymnasiet.
Fysikprojekt af:
Erik Lund og Kurt Jensen
Vejledere: Albert Chr. Paulsen og Peder Voetmann Christiansen
-
- 173/89 "NUMERISKE ALGORITMER"
af: Mogens Brun Heefelt
- 174/89 "GRAFISK FREMSTILLING AF FRAKTALER OG KAOS"
af: Peder Voetmann Christiansen
- 175/89 "AN ELEMENTARY ANALYSIS OF THE TIME DEPENDENT SPECTRUM OF THE NON-STATONARY SOLUTION TO THE OPERATOR RICCATI EQUATION"
af: Michael Pedersen
- 176/89 "A MAXIMUM ENTROPY ANSATZ FOR NONLINEAR RESPONSE THEORY"
af: Jeppe Dyre
- 177/89 "HVAD SKAL ADAM STÅ MODEL TIL"
af: Morten Andersen, Ulla Engström, Thomas Gravesen, Nanna Lund, Pia Madsen, Dina Rawat, Peter Torstensen
Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 178/89 "BIOSYNTESEN AF PENICILLIN - en matematisk model"
af: Ulla Eghave Rasmussen, Hans Oxvang Mortensen, Michael Jarden
vejleder i matematik: Jesper Larsen
biologi: Erling Lauridsen
- 179a/89 "LÆRERVEJLEDNING M.M. til et eksperimentelt forløb om kaos"
af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal
Vejledere: Peder Voetmann Christiansen
Karin Beyer
- 179b/89 "ELEVHÆFTE: Noter til et eksperimentelt kursus om kaos"
af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal
Vejledere: Peder Voetmann Christiansen
Karin Beyer
- 180/89 "KAOS I FYSISKE SYSTEMER eksemplificeret ved torsions- og dobbeltpendul".
af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal
- 181/89 "A ZERO-PARAMETER CONSTITUTIVE RELATION FOR PURE SHEAR VISCOELASTICITY"
by: Jeppe Dyre
- 183/89 "MATHEMATICAL PROBLEM SOLVING, MODELLING. APPLICATIONS AND LINKS TO OTHER SUBJECTS - State. trends and issues in mathematics instruction
by: WERNER BLUM, Kassel (FRG) og MOGENS NISS, Roskilde (Denmark)
- 184/89 "En metode til bestemmelse af den frekvensafhængige varmfylde af en underafkølet væske ved glasovergangen"
af: Tage Emil Christensen
-
- 185/90 "EN NÆSTEN PERIODISK HISTORIE"
Et matematisk projekt
af: Steen Grode og Thomas Jessen
Vejleder: Jacob Jacobsen
- 186/90 "RITUAL OG RATIONALITET i videnskabers udvikling"
redigeret af Arne Jakobsen og Stig Andur Pedersen
- 187/90 "RSA - et kryptisk system"
af: Annemette Sofie Olufsen, Lars Frellesen og Ole Møller Nielsen
Vejledere: Michael Pedersen og Finn Munk
- 188/90 "FERMICONDENSATION - AN ALMOST IDEAL GLASS TRANSITION"
by: Jeppe Dyre
- 189/90 "DATAMATER I MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ GYMNASIET OG HØJERE LÆREANSTALTER"
af: Finn Langberg

190/90 "FIVE REQUIREMENTS FOR AN
APPROXIMATE NONLINEAR RESPONSE
THEORY"

by: Jeppe Dyrco

191/90 "MOORE COHOMOLOGY, PRINCIPAL
BUNDLES AND ACTIONS OF GROUPS
ON C*-ALGEBRAS"

by: Iain Raeburn and Dana P. Williams

192/90 "Age-dependent host mortality in the
dynamics of endemic infectious diseases
and
SIR-models of the epidemiology and natural
selection of co-circulating influenza virus
with partial cross-immunity"

by: Viggo Andreasen

193/90 "Causal and Diagnostic Reasoning"

by: Stig Andur Pedersen

' The principle of generating small amounts of finite improbability by simply hooking the logic circuits of a Bambleweeny 57 Sub-Meson Brain to an atomic vector plotter suspended in a strong Brownian Motion producer (say a nice cup of tea) were of course well understood - and such generators were often used to break the ice at parties by making all the molecules in the hostess's undergarments leap simultaneously one foot to the left, in accordance with the Theory of Indeterminacy.

Many respectable physicist said that they weren't going to stand for this - partly because it was a debasement of science, but mostly because they didn't get invited to those sort of parties.

Another thing they couldn't stand was the perpetual failure they encountered in trying to construct a machine which could generate the infinite improbability field needed to flip a spaceship across the mind-paralysing distances between the furthers stars, and in the end they grumpily announced that such a machine was virtually impossible.

Then one day, a student who had been left to sweep up the lab after a particularly unsuccessful party found himself reasoning this way :

If, he thought to himself, such a machine is a virtual impossibility, then it must logically be a finite improbability. So all I have to do in order to make one, is to work out exactly how improbable it is, and feed that figure into the finite improbability generator, give it a fresh cup of really hot tea ... and turn it on !

He did this, and was rather startled to discover that he had managed to create the long sought after golden Infinite Improbability generator out off thin air.

It startled him even more when just after he was awarded the Galactic Institute's Prize for Extreme Cleverness he got lynched by a rampaging mob of respectable physicists who had finally realized that the one thing they really couldn't stand was a smart ass.'

Citatet er hentet fra Douglas Adams's bog "The Hitch Hiker's Guide to the Galaxy".

**DON'T
PANIC**