Perspektiv på partiklar

–Ei samanlikning av Andrew Pickering og Peter Galisons framstilling av partikkelfysikk–historia, med spesiell vekt på oppdaginga av nøytral straum

Hovudfagsoppgåve i partikkelfysikk og vitskapsteori

av

Randi Bø

Juni 2003

Fysisk institutt
og
Senter for vitskapsteori
Universitetet i Bergen

To Eirik

Takk

Først av alt vil eg takke Fysisk institutt som gav meg lov til å skrive ei "litt annleis" oppgåve. Tusen takk for at eg slapp å programmere. Ein stor takk til rettleiarane mine Ragnar Fjelland og Bjarne Stugu som gjorde dette mogleg og som gav meg gode råd på vegen.

Ein stor takk må også rettast til alle på SFO Partikkelfysikk. Takk for god avkopling, trøyst og støtte, bananer, kaffiselskap og mange gode forslag til oppgåvetittel (Kverulering om kvarkar, Nøytral straum–bare ein draum? Alt om min kvark, Har du Z^0? Quit playing games with my quark, Keiserens nye kvark, Frøken Detektiv og Kvarkemysteriet, Pickering–ein kvarksalvar? osv).

Takk til språk–konsulentane mine, takk til familie og venner, og takk til dei som sendte meg e–mail dei siste vekene før levering då dette var min einaste kontakt med omverda denne tida.

Randi Bø

Innhald

1 INNLEIING

Det finst mange måtar å fortelje ei historie på. Andrew Pickering og Peter Galison har gitt kvar si framstilling av historia til partikkelfysikken i bøkene *Constructing Quarks* (1984) og *How Experiments End* (1987). Mange av dei same hendingane blir likevel forklart forskjellig, og i tillegg skil begge desse seg frå den tradisjonelle framstillinga av historia. Både Pickering og Galison har PhD i fysikk så det er ingen grunn til å tru at årsaka er manglande kunnskap. I denne oppgåva vil eg prøve å finne kvar usemja ligg og kvifor dei er usamde. For å ha eit grunnlag for dette vil eg først presentere dei teoriane me arbeider med i partikkelfysikken i dag, dvs Standardmodellen, og studere historia til denne. Eg vil også drøfte ulike vitskapsteoretiske tradisjonar for å sjå kvar Pickering og Galison plasserer seg og kvar dei hentar inspirasjon ifrå. Oppdaginga av nøytral straum er ei hending begge har gått detaljert inn i, og eg vil derfor bruke denne som døme i samanlikninga av dei to vitskapsteoretikarane.

Eg har hatt to mål med denne oppgåva. Det eine er å framstille partikkelfysikk–historia på ein slik måte at ikkje–ekspertar kan forstå korleis ho kan brukast til å setje lys på ulike vitskapsteoretiske problemstillingar. Det andre målet, som eg har lagt mest vekt på, er å prøve å framstille Pickering og sosial–konstruktivismen slik at ein fysikar med vanleg fysikarbakgrunn ser at det ligg viktige poeng her som ikkje kan avvisast med lettvinte argument. Litteratur frå Pickering og personar med liknande haldningar blir ofte avfeia med at det er skrive av folk som ikkje har peiling på naturvitskap, eller at dette er irrelevant for det me driv med her på Fysisk institutt. Eg vil prøve å vise at slike argument blir for enkle. Mange av sosial–konstruktivistane har mykje å fare med, og kritikken dei rettar mot vitskapen fortener å bli møtt med skikkelege motargument, slik td Galison gjer.

Problema eg tar for meg i denne oppgåva er kan verke veldig spesifikke, men det heile har botn i generelle og allmenne spørsmål om kunnskap og vitskap: Finst det noko me kan kalle objektiv kunnskap? Kva er eigentleg kunnskap og korleis korresponerer denne med røynda? Kva eksisterer uavhengig av menneska, kva er verkeleg og kva er konstruksjonar? Finst det bare *ei* universell sanning? Har naturen verkeleg ein underliggjande struktur som kan skildrast med matematikk? Mange av desse problema kan samlast i det me kallar "realismeproblemet": kva er det som eksisterer? Dette har vore eit viktig tema for mange filosofar. Platon kom fram til at det som eigentleg eksisterer er ideane, medan fysikaren og filosofen Ernst Mach la all vekt på det me kan sanse (sansedata), og meinte at omgrep som atom bare må sjåast på som teoretiske konstruksjonar sidan me ikkje kan sanse dei. Pickering og Galison representerer ein ny måte å sjå på desse gamle problema. Dei vil skildre vitskaplege prosesser og drøfte kva mekanismer det er som fører fram til dei ideane og teoriane me opererer med i dag, og legg mindre vekt på å avgjere kva som er "sanning" og "røynd".

Ein annan debatt som ligg under dei problema eg tar opp her er det som ofte blir kalla "vitskapskrigen" mellom naturvitskapen og kulturvitskapen (dvs humaniora og samfunnsvitskap). Naturvitarar syns at det kulturvitarane held på med er uvitskapleg synsing. Naturvitskapen er objektiv og nøytral, og det er slik vitskap skal vere. Kulturvitarane på si side meiner at naturvitskap ikkje er intellektuell og kulturell forsking, og at naturvitarar ikkje forstår verda utanfor sitt eige laboratorium. C. P. Snow lanserte på 1950–talet omgrepet "dei to kulturane" for å skildre denne "krigen". Han meiner at desse oppfatningane har grunnlag i manglande kunnskap om kvarandre, og at brotet mellom kulturane er eit stort hinder i arbeidet med å løyse verdsproblema. Innhaldet i debatten har forandra seg ein del sidan den gong. I dag er sosial konstruktivisme, og angrep på denne retninga frå naturvitarar ein viktig del av denne.

Eg har vald å skrive oppgåva mi på norsk. Dette har til tider vore litt problematisk. Det meste av litteraturen er på engelsk og mange av faguttrykka har ikkje opplagde omsetjingar. I norsk samanheng blir ofte dei engelske orda brukte i staden for at ein kjem opp med tilsvarande norsk ord. Eg har prøvd å oversetje det meste til norsk, også der dei engelske orda er så innarbeida at dei nesten er blitt "norske". For å unngå unødvendig forvirring har eg skrive det engelske ordet i parantes første gong eg bruker omsetjinga. Fordi eg ville unngå konstruerte og kunstige ord har nokre omgrep likevel vist seg å vere uomsetjelege, sjølv etter mykje fundering og diskusjon.

2 STANDARDMODELLEN

All materie er bygd opp av atom. Atom er bygd opp av elektron og ein kjerne. Kjernen er bygd opp av proton og nøytron. Kva skjer når me trengjer endå lengre inn i materien? Partikkelfysikarane har lenge prøvd å gi oss svaret på det. Resultatet av denne forskinga er *Standardmodellen*, teorien om elementærpartiklane og kreftene som verkar mellom dei. Eg vil i dette kapittelet gi ei kort innføring i innhaldet i Standardmodellen.

2.1 Elementærpartiklane

I følgje Standardmodellen er all materie bygd opp av seks *lepton* og seks *kvarkar*. La oss først sjå nærmare på kvarkane. Desse har fått namna up, down, charm, strange, top og bottom og er delte inn i tre generasjonar som vist under:

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

Kvarkane i den øvste rekka har elektrisk ladning +2/3, medan dei i den nedste rekka har −1/3. Massane til kvarkane spriker frå rundt 5 MeV/c² for u−kvarken til 170 GeV/c² for t−kvarken[1]. Alle kvarkane har også tilhøyrande antikvarkar med same masse og spinn[2], men motsett ladning. Desse blir merka med ein strek over bokstaven, antipartikkelen til s blir dermed $\bar{s}$ osv. Partiklar samansette av kvarkar blir kalla *hadron* og kan delast inn i to grupper: meson og baryon. *Baryon* er sett saman av tre kvarkar. Protonet er bygd opp av to u−kvarkar og ein d−kvark og er dermed eit baryon. *Mesona* er sett saman av to kvarkar. Døme på dette er $\pi^+(u\bar{d})$ og $K^o(d\bar{s})$ som har fått namna pion og kaon.

Kvark−typen (u, d, s osv) blir kalla *smak*. I tillegg har kvarkane ein eigenskap kalla *farge*.

1 I partikkelfysikken er det vanleg å måle energi i elektronvolt (eV). 1 eV tilsvarer den energien ein partikkel med ladning 1e får av å passere ein potensialforskjell på ein volt. 1 eV=1,602x10^{-19} J. 1 MeV=10^6 eV, 1 GeV=10^9 eV og 1 TeV=10^{12} eV. Masse får dermed eininga eV/c² (vha E=mc²). 1 MeV/c²=1,78...x 10^{-39} kg.

2 Spinn er det indre angulære momentet til ein partikkel

Alle smakane kan eksistere i tre ulike fargar: raud, blå og grøn. Dette har ikkje noko å gjere med korleis kvarken ser ut, men er eit kvantetal på same måte som elektrisk ladning. Gjennom eksperiment har ein sett at det bare er fargelause hadron som kan eksistere, dvs kombinasjonar som raud + antiraud, eller raud + blå + grøn.

Leptona kan på same måte delast inn i tre generasjonar. Som for kvarkane er andre og tredje generasjon tyngre versjonar av første:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$$

Partiklane i første rekke, nøytrinoa, er nøytrale, medan dei i nedste rekke, som har fått namna elektron, myon og tauon, har elektrisk ladning -1. Nøytrinoa blir rekna som masselause[3], elektronet har ein masse på rundt 0,5 MeV, myonet veg 105,6 MeV og tau–partikkelen 1,777 GeV. Desse har også kvar sine antipartiklar. Den mest kjende av desse er positronet, e^+, som er antipartikkelen til elektronet.

Den materien me ser rundt oss er bygd opp av partiklar frå fyrste generasjon. Partiklane i andre og tredje generasjon kan finnast i kosmisk stråling eller i partikkelakseleratorar.

Elementærpartiklane kan også grupperast etter kva spinn dei har. Partiklar med halvtallig spinn blir kalla *fermion*. Her inngår kvarkane, partiklar sett saman av tre kvarkar og leptona. Partiklar med heiltallig spinn blir kalla *boson*. Dette gjeld partiklar sett saman av to kvarkar og gauge–bosona, kraftformidlarane som eg vil skrive meir i neste kapittel.

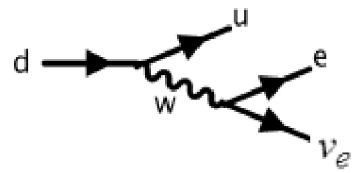
3 Men nyare eksperiment kan tyde på at dei har ein liten masse, sjå avsnitt 4.6.1.

2.2 Fundamentalkreftene og gaugeteori

Det er fire grunnleggjande krefter som verkar mellom elementærpartiklane. Den svakaste av desse er tyngdekrafta. Ho blir neglisjert i partikkelfysikken fordi ho er så svak og ein har heller ikkje klart å skildre ho med den same matematiske formalismen som dei andre tre kreftene. Ho høyrer derfor ikkje heime i Standardmodellen per i dag. Dei tre kreftene som inngår i her er den *svake* krafta, den *sterke* krafta og den *elektromagnetiske* krafta. Desse blir skildra i det me kallar *gaugeteori*. Gaugeteoriar er ein klasse av kvantefeltteoriar. Medan klassisk feltteori opererer med kontinuerlege felt, er felta i kvantefeltteori kvantiserte kraftformidlarar. I gaugeteori blir alle krefter mellom fermion (dvs kvarkar og lepton) formidla av gauge–boson.

Den elektromagnetiske krafta verkar på elektrisk ladde partiklar og blir formidla av *foton*. Den er opphav til alle elektriske og magnetiske fenomen, blant desse lys. Fotona er nøytrale og masselause. Teorien for elektromagnetisk vekselverknad blir kalla QED, som står for Quantum ElectroDynamics.
Den svake krafta blir overført av tre boson som har fått namna W^-, W^+ og Z°. Desse er veldig tunge (rundt 80 og 90 GeV) og den svake krafta har dermed veldig kort rekkjevidde, i motsetning til den elektromagnetiske som har uendeleg rekkjevidde pga masselause kraftoverførarar. Den svake krafta er opphavet til beta–stråling og andre partikkelsundfall. Teorien for sterk vekselverknad blir kalla QCD, Quantum Chromodynamics. Kraftoverførarane i denne er *gluona* som også er masselause. Desse verkar bare på partiklar med farge, dvs kvarkane og det er dermed denne krafta som verkar mellom kvarkane i eit nukleon og mellom nukleona i atomkjernen. Det finst åtte ulike gluon.

Vekselverknader mellom partiklar blir ofte skildra i *Feynmandiagram.* Desse viser kva partiklar som går inn i kollisjonen, kva som kjem ut av han og kva kraftformidlar som er innblanda. Feynmandiagram gir oss ikkje eit korrekt bilete med tanke på retning og avstand, men er nyttige matematiske reiskaper som kan hjelpe oss å rekne ut verknadstverrsnitt (forklaring av tverrsnitt i kapittel). Figur 1 viser eit Feynmandiagram for beta–sundfall. Ein d–kvark i eit nøytron blir til ein u–kvark ved å sende ut eit W–boson som sundfell til eit elektron og eit elektron–nøytrino.



Figur 1 Feynmandiagram for beta–stråling

Gaugeteori har opphav i QED. Maxwells likningar for elektriske og magnetiske felt er slik at dersom ein legg til eit vilkårleg potensial så forandrar det ikkje den fysiske situasjonen ein ser på. Dette blir kalla *gaugeinvarians*. Ein kan gjere *lokale transformasjonar* på potensiala utan at det forandrar sluttresultatet. I QED blir dette uttrykt vha eit matematisk verktøy kalla *Lagrangeformalisme*. I klassisk mekanikk gir denne formalismen oss dei klassiske rørslelikningane for fart og akselerasjon, men denne har også blitt utvikla til ein standard måte å formulere kvantefeltteori på. I kvantefeltteori blir lagrangetettleiken, $\mathscr{L}$, kvantisert. Felta representerer kreasjon og annihilering av partiklar. Lagrangetettleiken er den storleiken me bruker som utgangspunkt, og denne gir oss informasjonen me treng om den vekselverknaden me vil studere.

Lagrangetettleiken til den elektromagnetiske vekselverknaden ser slik ut:

$$\mathscr{L}(x)=\bar{\psi}(x)i\gamma^{\mu}D_{\mu}\psi(x)-m\bar{\psi}(x)\psi(x)-\frac{1}{4}F_{\mu\nu}(x)F^{\mu\nu}(x)$$

der

$$D_{\mu}=\partial_{\mu}-ieA_{\mu}$$

$$F_{\mu\nu}=\partial_{\nu}A_{\mu}-\partial_{\mu}A_{\nu}$$

Her er ψ elektronfeltet, $\bar{\psi}$ positronfeltet og A det elektromagnetiske feltet. Alle er funksjonar av tid og rom. ∂ er den såkalla differensial–operatoren, e er elektronets ladning og m er elektronmassen. Det første leddet representerer kinematikken for frie elektron og positron, det andre er masseleddet som må vera med så lenge me har å gjere med massive partiklar, og det tredje representerer vekselverknaden mellom elektron, positron og foton. Dersom ein bare hadde hatt dei to første ledda hadde ikkje lagrangetettleiken vore

gaugeinvariant. For å få til dette må me ta med det siste leddet. Fotona og vekselverknaden mellom partiklane blir dermed "tvinga" fram av kravet om gaugeinvarians.
Lagrangetettleiken for QED er invariant under den *lokale*[4] fasetransformasjonen:

$\psi(x) \rightarrow e^{ie\chi(x)}\psi(x)$ og

$A(x) \rightarrow A(x) + \partial_\mu \chi(x)$

Her er $\chi(x)$ det potensialet me legg til og dette er vilkårlig. Ved å putte desse transfomasjonane inn i lagrangetettleiken kan ein sjå at denne er gaugeinvariant, dvs at me får dei same svara og dermed dei same fysiske situasjonane.

Gruppeteori er ei grein av matematikken som har vist seg å vera svært nyttig i partikkelfysikken. Fasetransformasjonen over er ein U(1) gaugetransformasjon. QED er altså invariant under ein vilkårleg fasetransformasjon. QCD er invariant under ein SU(3) transformasjon. SU(3) står for "*S*pecial *U*nitary group" i tre dimensjonar. Det tre–dimensjonelle rommet er fargerommet, kvarkane kan som nemnd ovanfor eksistere i tre fargar. I svak teori blir SU(2) gruppa brukt[5].
Symmetriar er svært viktig i gaugeteori. Når ein lagrangetettleik er invariant til dømes med omsyn til ein fasetransformasjon som over, seier me at me har ein *indre* symmetri. I føgje Noethers teorem impliserer dette konservering av ein "ladning". Ein kvar slik symmetri tilsvarer at noko blir konservert. Den konserverte ladningstypen er avhengig av symmetrien.

På tilsvarande måte som vist for QED, kan ein også setje opp lagrangetettleikar for sterk og svak teori. Når ein skriv ut lagrangetettleikane for svak og elektromagnetisk vekselverknad ser ein at nokre av ledda liknar. Sameining av desse til *elektrosvak* vekselverknad er dermed mogleg. Den elektrosvake vekselverknaden har SU(2) x U(1) symmetri. Elektrosvak sameining går ut på at fotonet og dei tre svake vektorbosona er i same familie. Utgangspunktet er ein triplett med eit nøytralt, eit positivt og eit negativt ladd vektorboson (W^+, W^- og W°), og ein singlett med eit nøytralt vektorboson (B°). Dei nøytrale blir miksa til ein massiv part, Z°, og ein masselaus part, fotonet, ved hjelp av innføring av

4 Dersom ein byttar ut $\chi(x)$ med ein konstant, blir fasetransformasjon kalla *global*.
5 Desse gruppene blir også kalla "Non–Abelian Lie Groups" etter dei norske matematikarene Nils Henrik Abel og Sophus Lie.

Weinbergvinkelen, også kalla elektrosvak miksevinkel:

$$\gamma = \cos\vartheta_W B^0 + \sin\vartheta_W W^0$$

$$Z^0 = -\sin\vartheta_W B^0 + \cos\vartheta_W W^0$$

der $\sin^2\vartheta_W = 0{,}23124 \pm 0{,}00024$

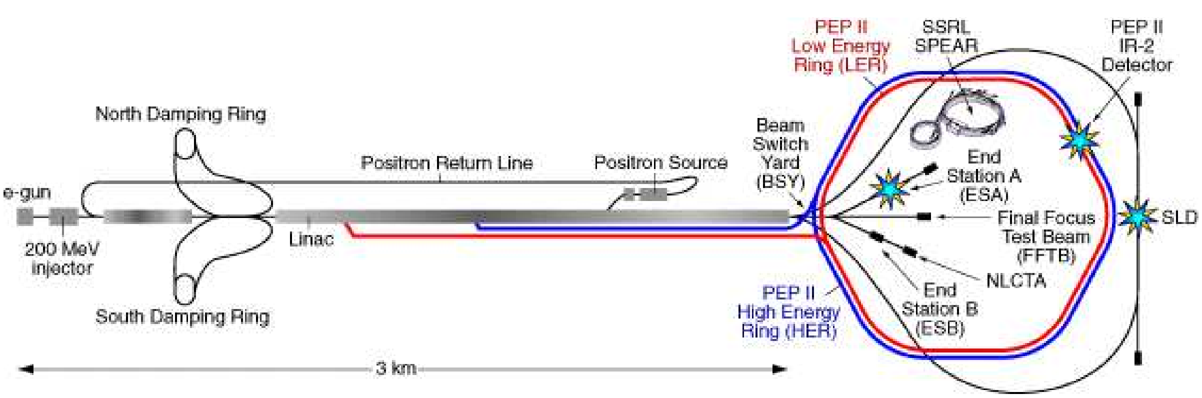
Men ved innføring av massive kraftoverførarar blir gaugeinvariansen til lagrangetettleiken broten og teorien blir ikkje−renormaliserbar (sjå neste avsnitt for forklaring). For å løyse desse problema har ein innført *spontant symmetribrot* og *Higgsmekanismen*. Masselause gauge−boson vekselverkar med eit skalart felt, kalla Higgs−feltet. Ved hjelp av slike teknikkane kan me gi masse til W−bosona, Z−bosonet (og fermiona) utan å øydeleggje gaugeinvariansen. Dette krever eksistens av Higgs−partikkelen, som ein framleis ikkje har funne eksperimentelle bevis for, men ein reknar med å finne denne i neste generasjons partikkelakseleratorar. Higgs er dermed også ein av elementærpartiklane i SM, men verken materiepartikkel eller kraftformidlar.

Renormalisering er eit viktig omgrep i gaugeteori. Ofte viser det seg at likningane i kvantefeltteori kjem ut med uendelegheiter i løysingane. Dette kan ikkje godtast dersom teorien skal kunne brukast på reelle prosesser. Renormalisering er ei kompleks prosedyre som hjelper oss å løyse dette problemet. For at ein feltteori skal vere brukbar i praksis må han gjennomgå denne prosedyren, han må renormaliserast slik at me kan få eit endeleg og aksepterbart resultat. I QED går dette ut på å absorbere uendelegheitene inn i fysiske parametrar som masse og elektronladning, for så å bytte ut desse med dei målte verdiane av m og e.

3 EKSPERIMENTET

Naturvitskaplege eksperiment har gått gjennom store forandringar sidan Galileo Galilei trilla kuler på skråplan. Dette har vist seg særleg i partikkelfysikken. Frå å vere noko ein kunne stulle og stelle med på loftet for seg sjølv, er desse eksperimenta nå enorme internasjonale prosjekt med millionbudsjett. Eg vil her gi eit lite innblikk i desse eksperimenta for å vise kor komplekse dei er, og for å forklare nokre omgrep som eg kjem til å bruke seinare i oppgåva.

Partikkelfysikk–eksperiment finn for det meste stad i partikkel–akseleratorar, dvs store tunnelar der elementærpartiklar blir akselererte til enorme hastigheiter for så å kollidere med andre partiklar. Desse kan vere i ro, eller ha stor fart i motsett retning noko som gir mykje større total energi i kollisjonen. Kvaliteten til ein akselerator er avhengig av energien i partikkelstråla, og av ein storleik kalla luminositet som tilsvarer partikkeltettleiken i partikkelstråla. Jo høgare luminositet jo fleire hendingar[6] blir produserte i eksperimentet. Det finst lineære og sirkulære akseleratorar. Figur 2 viser den lineære akseleratoren ved SLAC med tilhøyrande fasilitetar.



Figur 2 SLAC

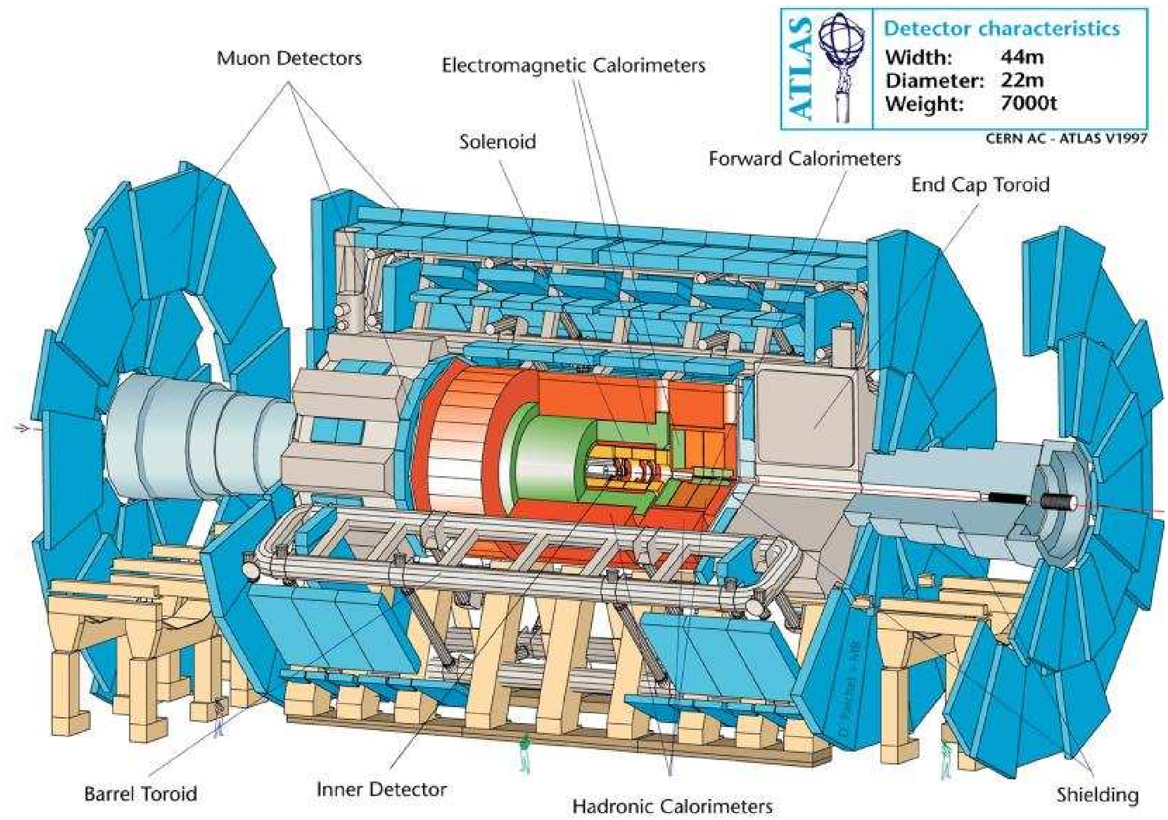
Rundt kollisjonsområdet plasserer eksperimentalistane detektorar for å snappe opp signal som gir informasjon om kva som har skjedd i kollisjonen. Det finst mange ulike typar av

6 Det engelske ordet "event" er nesten blitt eit norsk ord blant partikkelfysikarar. Eg vel likevel å oversetje det med det norske ordet "hending". Ei hending er det same som ein partikkelkollisjon eller eit sundfall av ein partikkel.

desse. Nokre er bygd for å rekonstruere spora etter partiklane. Desse kan vere visuelle eller elektroniske. Boblekammeret er ein visuell detektor. Det er fylt med overoppheita væske, altså med temperatur litt over normalt kokepunkt medan det blir heldt under trykk for ikkje å koke. Når ein elektrisk ladd partikkel kjem inn i kammerert, reduserer ein trykket litt, og det blir dermed danna bobler der partikkelen passerer. Desse spora blir fotograferte og analyserte. Tåkekammer byggjer på same prinsippet, men er fylt med vassdamp og gir ikkje så gode data som boblekammeret. Slike detektorar produserer enorme mengder av fotografier og mykje arbeid ligg i analyseringa. Elektroniske detektorar registrerer partiklar som namnet tilseier elektronisk. Desse kan stillast inn til bare å registrere ein spesiell type hending, og ein unngår dermed å måtte studere kvar enkelt fotografi slik ein må i visuelle detektorar. Ulempa med elektroniske detektorar er at dei gir mindre detaljerte data, ein må stole på statistikk istaden for detaljerte fotografi av hendingane ein leita etter. I moderne detektorar blir det brukt elektroniske detektorar som reproduserer hendinga visuelt.

Dei fleste detektorar er sett saman av mange ulike komponentar som har kvar si oppgåve. Nokre delar er bygde for å danne visuelle spor etter partikkelen, andre målar energi, rørslemengd og ladning. ATLAS er eit stort detektorprosjekt som for tida er under konstruksjon. Denne detektoren skal påvise hendingar i partikkelakseleratoren LHC ved CERN. Figur 3 viser strukturen i detektoren. Innarst er eit "tracking"−lag av silikon som kan rekonstruere spora etter ladde partiklar. Vidare kjem det elektromagnetiske kalorimeteret som måler energien til elektron, positron og foton. Deretter kjem det hadronske kalorimeteret som gjer det same for hadron, og yttarst ligg myondetektoren som måler energien til myona. Detektoren inneheld også enorme magnetar som set opp magnetiske felt der elektrisk ladde partiklar blir bøygde slik at me kan lese av ladningen og energien deira. Eksperimentalistane har etterkvart god kontroll på å finne ut kva partikkel det er som har passert ved å studere signala han gir i slike detektorar. Nøytrinoet er den partikkelen som er vanskelegast å påvise då denne sjeldan vekselverkar med materie. Denne blir derfor påvist gjennom manglande energi eller masse i ei hending.

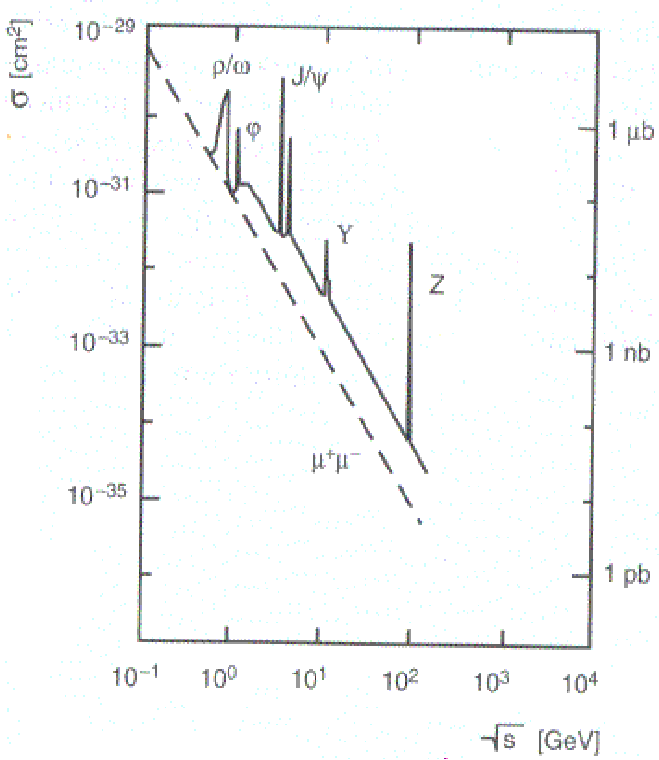
3 EKSPERIMENTET



Figur 3 ATLAS−detektoren

Ofte er ein ute etter å måle *verknadstverrsnittet* til ei hending. Denne storleiken gir oss sannsynet for at ei spesiell hending kjem til å skje, eller frekvensen til denne hendinga dersom eksperimentet blir gjentatt fleire gonger. Når me plottar tverrsnittet som funksjon av massesenter−energi ser me ofte meir eller mindre skarpe toppar i grafen. Slike tydelege toppar blir kalla resonansar og er tilstander med veldefinert masse og kvantetal. Dei kan derfor sjåast på som kortliva partiklar. Ved å bruke Heisenbergs uskarpheits−relasjon, kan breidden på toppen gi oss levetida til partikkelen. Figur 4 viser tverrsnittet av $e^+e^- \rightarrow$ hadron. Her kan ein sjå fleire slike resonanar.

3 EKSPERIMENTET



Figur 4 Tverrsnittet av $e^+e^- \rightarrow$ hadron

Det største problemet i slike eksperiment er ofte å skilje ut det me kallar bakgrunnseffekter. Dette er alle slags hendingar som forkludrar den type hending ein vil studere. Ofte er det mange typar hendingar som gir veldig like spor i detektoren, og mykje arbeid blir lagt i å skilje ut dei som har opphav i bakgrunnseffekter. Desse kan ein fjerne ved å konstruere apparaturen slik at det blokkerer bakgrunnstøyen, eller ved å måle bakgrunnstøyen og sidan trekkje ifrå dette bidraget. Det siste er ofte vanskeleg og i slike tilfelle blir bakgrunnen kalkulert, ofte vha *Monte Carlo–simuleringar*. Monte Carlo–program genererer tilfeldige tal som skal simulere stokastiske prosesser. Simulering er eit veldig nyttig verktøy som også kan brukast til å finne ut ved kva energi, eller kva vinkel ein bør leite etter det fenomenet ein vil studere. Sidan slutten av 1960–åra har Monte Carlo–simuleringar vore ein viktig del av partikkelfysikk–eksperiment. Partikkelfysikarane sparer mykje tid og ressurser ved å bruke simuleringar i staden for å utføre alle slike målingar eksperimentelt.

Det finst fleire store partikkelfysikk–laboratorium rundt om i verda. Dei viktigaste har fram til nå vore amerikanske eller vest–europeiske. Partikkelfysikk er som kjent ein dyr aktivitet.

3 EKSPERIMENTET

CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire eller European Organisation for Nuclear Research) ved Genève er for tida det største partikkelfysikk–laboratoriet i verda, og mange store oppdagingar er gjort i detektorane her. CERN blei grunnlagt i 1954 som eit forsøk for å få europearane på banen igjen etter at amerikanarane hadde fått eit godt forsprang i løpet av krigen. I byrjinga hadde CERN tolv medlemsland, men har nå utvida til tjue. Noreg har vore medlem heilt frå starten av. For tida er ein ny akselerator under konstruksjon ved CERN. Denne har fått namnet Large Hadron Collider (LHC) og skal stå klar i 2007 (sjå kap 4.6.6). SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) utanfor San Fransisco i USA er ein annan viktig aktør i partikkelfysikkhistoria som framleis lever i beste velgåande. SLAC blei etablert i 1962. I 1966 begynte den lineære akseleratoren (sjå figur 2) å operere og han er framleis i bruk, sjølvsagt med omfattande oppgraderingar og i selskap med mange nye maskinar.

4 HISTORIA OM STANDARDMODELLEN

Parmenides, ein av dei greske naturfilosofane, hevda at forandring er logisk umogleg[7]. Dermed må det finnast noko uforanderleg i verda. Sidan den gong har mykje blod, svette og tårer blitt ofra i jakta på dette innarste og faste. Standardmodellen omhandlar kvarkar og lepton, og me veit framleis ikkje om me har nådd enden, dersom det i det heile tatt finst ein ende. Vegen hit har vore lang, dyr og full av blindgater, men samtidig svært suksessrik og med enorme og uventa framsteg. Eg vil i dette kapittelet ta for meg dei viktigaste hendingane i partikkelfysikkens historie, og studere korleis dagens teoriar har vokse fram.

I 1985 skriv teoretikaren Bjorken ein artikkel der han minnast hendingane rundt november–revolusjonen (sjå kap. 4.4). Her skildrar han nokre av problema som oppstår når ein skal skrive historie. I slike tilbakeblikk er det lett å gløyme all den forvirringa som fann stad, og alle problema ein strevde med. Dette gjeld særskilt når ein skal fortelje til ikkje–ekspertar. Ein må forenkle, og mange komplikasjonar blir utelatt for å gjere det meir forståeleg. Det heile blir fortalt som om det skjedde "with a linear line of logic" (Bjorken 1985, s. 2). Det er sjeldan slik store oppdagingar blir gjort i røynda. Jo meir detaljert ein vil fortelje, jo meir kaotisk og ustrukturert blir historia. Framstillinga eg gir her vil nok falle inn under det eg har kalla den "tradisjonelle" måten å fortelje vitskapshistorie. For å gjere det leseleg har eg hoppa over mange detaljer. Men eg har også tatt med ein del hendingar om teoriar som er meir eller mindre gløymde i dag for å vise kor komplisert den vitskaplege prosessen er. Mykje prøving og feiling må til før ein kjem fram til teoriar som blir ståande[8].

7 Parmenides stolte bare på fornufta og logikken (og ikkje på sansane). Han konfronterte tanken om ei foranderleg verd med logikkens lover, og kom fram til at dette var fornuftstridig og utenkjeleg. Utifrå dette kom han også fram til at det måtte finnast eit og bare eit grunnstoff i naturen, altså noko uforanderleg i det som for sansane våre verka foranderleg. Forandrings–problemet var eit viktig tema blant dei greske filosofane, og Demokrits atomlære ei av løysingane av dette (Skirbekk 1994).

8 Informasjon til dette kapittelet er først og fremst henta frå *Constructing Quarks* (Pickering 1984a), *How Experiments End* (Galison 1987) og *The Hunting of the Quark* (Riordan 1987). Eg vil ikkje føre opp referansar til desse fortløpande då dette kan bli litt komplisert.

4.1 Inn i materien

Fram til 1895 var atom eit omgrep kjemikarane jobba med. Dei hadde funne atomvekta til ulike grunnstoff, studert atomspektra og laga den periodiske tabell. Den klare periodiske oppbyggjinga var ein indikasjon på at atoma hadde ein indre struktur, og dermed byrja fysikarane å blande seg inn.

4.1.1 Ein heil haug partiklar

I 1897 demonstrerte Joseph John Thomson at katodestråler[9] består av små ladde partiklar; elektron. Dermed er partikkelfysikkens historie i gong. Den første subatomære partikkelen er funnen. Året etter sette han fram ein atommodell, ofte kalla "rosinbolle–modellen". Han såg for seg elektrona fordelt jamnt som rosiner i ein klump av balanserande positiv ladning.
I 1911 kom Rutherfords atommodell. Etter spreiingsforsøk av alfapartiklar på tynn gullfolie kom han fram til at atomet er bygd opp av ein positiv kjerne i sentrum og elektron svevande rundt, som planetane i solsystemet. Nokre år seinare fann han det første eksperimentelle bevis på proton. Rutherford foreslo også eksistensen av ein tredje elementærpartikkel, nøytronet, allereie i 1920, men det blei ikkje funne eksperimentelt før i 1932. Dette året blei også den første antipartikkelen funnen. C. D. Anderson fann positronet, antipartikkelen til elektronet, i studier av kosmisk stråling vha tåkekammer. I kosmisk stråling dukka det seinare opp ein ukjend partikkel med større masse enn elektronet, men mindre enn protonet. Denne skapte mykje forvirring, men etter ein ivrig debatt blei fysikarane einige om at dette var eit myon, det første dømet på partiklar av andre generasjon.
Sidan blei lista lengre. Utstyret blei stadig betre, og i ulike eksperiment i kosmisk stråling og akseleratorar dukka etter kvart følgjande partiklar opp:

- 1947: π^+
- 1949: K^+
- 1950: π^0
- 1951: $\Lambda^0\ og\ K^0$
- 1952: $\Delta^-, \Delta^+, \Delta^{++}\ og\ \Delta^0$

9 Stråling som oppstår når ein set høg negativ spenning på ei metallplate i eit vakuumrøyr.

Dei blei funne som resonansar i tverrsnittdiagram (sjå figur 4 i kap. 3). Ved utgangen av 1951 hadde ein funne femten såkalla elementærpartiklar. Dette er starten på ein eksplosjon av partiklar. Eksperimentalistane fekk blod på tann og store ressurser blei sett inn i jakta på fleire. I 1952 stod den første proton–synkrotronen[10] klar ved Brookhaven National Laboratory nær New York. Denne fekk namnet Kosmotron og var den første akseleratoren med nok energi til å produsere såkalla "sære partiklar" (eng: strange particles, seinare kjend som partiklar som inneheld s–kvarkar) som K–meson og Λ–baryon. To år seinare blei Berkeley Bevatron sett i funksjon i California. Dette var den første akseleratoren som kunne danne antiproton. Med denne tok partikkel–eksplosjonen verkeleg til. Stadig fleire resonansar blei oppdaga. Nye maskinar blei bygde rundt om i verda, både i Sovjet, USA og England, og i 1954 starta byggjearbeidet av den første maskinen ved CERN. Boblekammeret blei oppfunne i 1952, og var også ein viktig del av denne fruktbare perioden. Ved hjelp av boblekammeret klarer ein å påvise fleire og meir energirike partiklar enn i tåkekammeret som tidlegare blei brukt.

Ein modell med så mange elementærpartiklar er ikkje særleg elegant. Fysikarane rekna med at det måtte finnast eit system i dette kaoset og byrja å leite etter måtar å gruppere partiklane på. Dei starta å systematisere med nye og gamle empirisk beviste konserveringslovar. Vha konservering av storleikar som energi, rørslemengd, spinn, elektrisk ladning, baryontal, leptontal, paritet[11] og isospinn[12] klarte dei å sjå eit visst mønster. Men teoretikarane var langt i frå nøgde med dette.

4.1.2 Kvantefeltteori

Kvantefeltteori var ein stor suksess innanfor elektromagnetisk vekselverknad. Dette nyttige verktøyet var godt utvikla allereie i 1920–åra, men pga store problem med renormalisering blei ikkje teorien sett på som veletablert før i 1950–åra. Eksperiment og teori stemde imponerande godt overeins for QED og teoretikarane ville derfor gjerne bruke

10 Ein synkrotron er ein sirkulær partikkelakselerator der partiklane blir heldt i sirkulært omløp i lufttomt rom i synkroniserte buntar. I tidlegare akslteratorar (syklotronar) gjekk partiklane i spiral utover.
11 Paritet er ein eigenskap som gir forteiknet til bølgjefunksjonen under refleksjon i rommet.
12 Isospinn er eit kvantetal som blir behandla som vanleg spinn. Protonet og nøytronet blir td behandla som to tilstandar av nukleonet som formar ein dublett med isospinn, I=½, der protonet har tredje komponent +½ og nøytronet har tredje komponent –½.

kvantefeltteori til å forklara sterk og svak vekselverknad. Men dette viste seg å vere vanskeleg. I 1934 formulerte Enrico Fermi ein kvantefeltteori for svak vekselverknad basert på QED for å forklara betastråling. Vekselverknaden skjer i denne teorien i eit punkt i rom–tid–systemet. Teorien (og diverse påbygningar av denne) var nyttig i organisering av dei store mengdene eksperimentelle data som ein etterkvart fekk for svak vekselverknad, men han hadde fleire store teoretiske problem.

Hideki Yukawa jobba med den sterke krafta og kom i 1935 med ein teori der den sterke krafta blir formidla av ein partikkel med masse rundt 100 MeV. Han innførte ein koplingskonstant g analog til e i QED. Men for å få teorien til å stemme måtte g vere stor, og dermed kunne ein ikkje bruka perturbasjonsteori[13] som hadde vore så suksessrik i QED. Feltteori for sterk vekselverknad blei derfor sett på som eit stort mistak.

Det største problemet ved desse teoriane var at dei ikkje var renormaliserbare. Då teoretikarane i slutten av 1940–åra til slutt klarte å renormalisere QED blei kvantefeltteoriane for sterk og svak vekselverknad sett på på ny, men teknikkane som var så vellukka i QED fungerte ikkje her. Svak og sterk teori forblei ikkje–renormaliserbare og dermed uinteressante.

4.1.3 S–matrisa, Bootstrap– og Regge–teori

I 1950–åra konsentrerte teoretikarane seg heller om S–matrisa (Scattering Matrix). Dette er ei matrise som gir sannsyna for overgangane mellom alle moglege start– og slutt–tilstandar for partiklar. Rammeverket til denne metoden blei lagt i tida rett etter andre verdskrig då ein sleit med uendelegheitsproblema i QED. Då renormaliseringa løyste dette blei teorien forlatt, for så å bli tatt opp igjen for å bli brukt i sterk teori. S–matrisa blei først utvikla med utgangspunkt i kvantefeltteori, men blei seinare sett inn i den såkalla Bootstrapteorien som er ikkje har noko med feltteori å gjere. Geoffrey Chew ved Berkeley formulerte Bootstrap–teorien. Innhaldet i denne er at S–matrisa ville gi oss den informasjonen me treng om hadrona[14]. Teorien avviser tanken om at nokon hadron er meir elementære enn andre, dei er derimot bygde opp av kvarandre. Alle kombinasjonar av hadron som har rette kvantetal gir

13 Perturbasjonsteori: å behandle kreftene som ei perturbasjon (ei forstyrring, eit avvik) til ein likevektstilstand. I QED får blir 1. grads korreksjon vekta med e, 2. grad med e^2 osv. Derfor er teorien avhengig av at e (eller tilsvarande koplingskonstant) er liten for at teorien skal fungere.

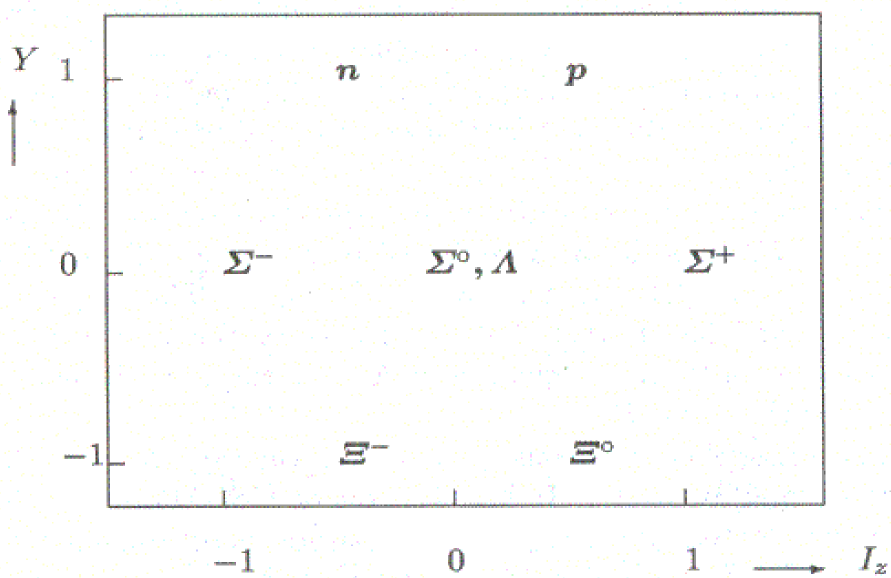
14 Hadron er på denne tida definert som partiklar som vekselverkar sterkt. Kvarketeorien kjem seinare.

bidrag. (Td er eit fysisk proton samansett av; eit "nakent" proton, eit proton og eit pion, eit nøytron og eit pion, eit lambda og eit kaon, ein xi og to kaon osv). Protonet og nøytronet skil seg ikkje ut ifrå dei andre hadrona, dei er ikkje meir grunnleggjande, bare lettast og mest stabile. Levetider og massar blei rekna ut frå eit sett kompliserte likningar. Ein trong altså ikkje sette inn vilkårlege, uforklarlege tall inn i teorien.
Den italienske teoretikaren Tullio Regge utvikla seint på 1950−talet "Regge−teori" som er ei grein av S−matriseteorien. Han innførte noko han kalla Regge−trajektorier. Ved å plotte hadronspinn mot kvadratet av massen fekk han lineære grafar. Han fekk dermed ein klassifiseringsmetode for hadrona der dei blei sorterte etter kva trajektorie dei låg på. Teorien hans stemde bra med eksperimentelle resulta**.**

4.1.4 The Eightfold Way

I 1961 kom Murray Gell−Mann ved Caltech i California og Yuval Ne'eman ved Imperial College i London uavhengig med eit forslag for klassifisering av hadrona som viste seg å bli ein suksess. I denne teorien blir partiklar med same spinn og paritet, men ulikt isospinn grupperte i familiar eller multiplettar. Ein såg til dømes at det fanst tre pion med omtrent same masse, men med ulik ladning. Den sterke krafta ser ikkje elektrisk ladning og behandlar desse likt. Ein kan derfor seie at dei dannar ein isospinn−triplett.
Gell−Mann hadde lenge leita etter ein måte å sortera hadrona på. Seint i 1960 fann han endeleg eit matematisk rammeverk som han kunne bruka. Dette var ein abstrakt formalisme kalla "gruppeteori". Han studerte arbeidet til den norske matematikaren Sophus Lie. Det omhandlar såkalla Lie−grupper som består av ei endeleg mengd abstrakte objekt relaterte til kvarandre vha spesifikke transformasjonar. Ei spesiell Lie gruppe; SU(3) hadde akkurat dei eigenskapane Gell−Mann var ute etter. Ved å bruke SU(3)−grupper organiserte Gell−Mann mesona og baryona i elegante, symmetriske diagram etter tilhøyrande isospinn og hyperladning[15] (sjå figur 5). Både baryona og mesona kan vha dette bli framstilte som oktettar. Gell−Mann kalla teorien sin "the Eightfold Way". Symmetrien blir kalla ein "broten" symmetri pga at partiklane innanfor ei gruppe har ulike massar. Opphavet til dette symmetribrotet har ein ingen forklaring på.

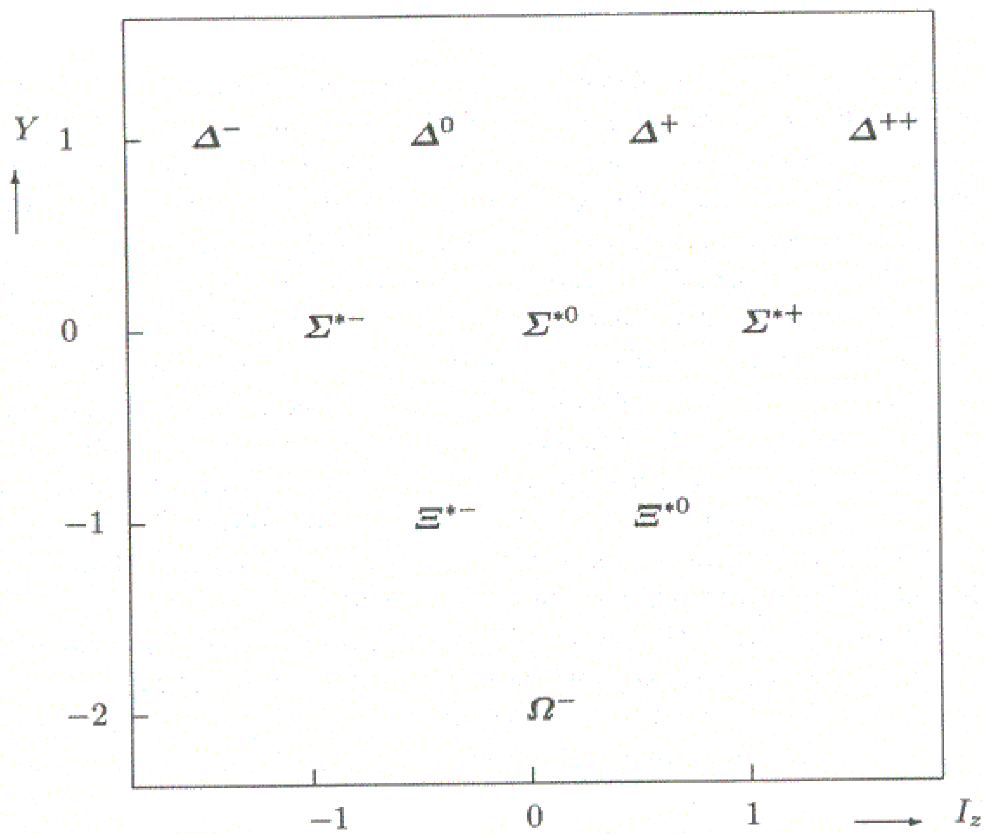
15 Hyperladning er summen av baryontalet (B=1 for baryon, B=−1 for antibaryon) og særheita (s=1 for anti−s−kvark, s=−1 for s−kvark) til ein partikkel.



Figur 5 SU(3)−oktett for baryon med spinn ½, Y står for hyperladning og I_z er tredjekomponenten til isospinnet.

Oppdaginga av dekupletten for baryon med spin 3/2 var ei hending som overtyda mange fysikarar om at SU(3) var ein korrekt måte å skildre hadrona på. Eksperiment på 50−talet hadde vist at det fanst fire Δ−resonansar (delta) med omtrent same masse, men ulik elektrisk ladning. Ved å la Σ−tripletten (sigma) og Ξ−dubletten (ksi) utgjere dei to neste radene i eit liknande diagrammet som for oktettane nemnd over kunne det sjå ut som om dette skulle utgjere ein dekuplett. Men det mangla ein partikkel i diagrammet. På grunnlag av ei slik framstilling spådde Gell−Mann eksistensen av ein ny partikkel, Ω^- (omega minus), som ville fullføre denne dekupletten[16] (sjå figur 6). Denne blei funnen av Brookhaven−gruppa i januar 1964 og utgjorde for mange det avgjerande argumentet for å la seg overtyde av "The Eightfold Way". SU(3) blei dermed den viktigaste teorien for sterk vekselverknad. Mange heldt likevel fram med å arbeide med Bootstrap−teorien og håpa at det skulle dukka opp ein metode innanfor denne teorien som kunne forklara desse mønstera.

16 På møtet der desse resultata blir presenterte rekker både Gell−Mann og Ne'eman opp handa, men Gell−Mann er mest kjendt og får komme opp på tavla først for å føreseie Ω^- og dermed fullføre dekupletten.



Figur 6 SU(3)−dekuplett for baryon med spinn 3/2

Både Gell−Mann og Ne'eman prøvde i tillegg til å klassifisere hadrona også å sette opp ein detaljert kvantefeltteori for sterk vekselverknad, og begge formulerte forslaga sine i gaugeteori, men på denne tida var det Bootstrapmodellen som var mest populær og SU(3)−modellen blei ståande som ein klassifiseringmetode, utan nokon samanheng med gaugeteori.

4.1.5 Kvarketeorien

Ved eit besøk på Columbia University i mars 1963 et Gell−Mann lunsj med Robert Serber. Serber fortel ved dette måltidet om ein ide han har om ein fundamental triplett i naturen. Gell−Mann meiner at det ikkje kan finnast ein slik triplett sidan det medfører elektriske ladningar på tredjedelar. Likevel blir han interessert i denne ideen og i 1964 publiserer han kvarketeorien som inneheld nettopp ein slik triplett og partiklar med elektrisk ladning på tredjedelar. George Zweig, ein ung postdoc ved CERN kjem også med ein liknande teori omtrent på same tid.

4 HISTORIA OM STANDARDMODELLEN

Tanken om at hadrona var samansette partiklar var slett ikkje ny. Ein hadde tidlegare oppdaga at atomet var delt opp proton, nøytron og elektron og det var derfor ikkje nokon fjern tanke at desse partiklane også kunne ha ein indre struktur. Men det var først med kvarketeorien at dette blei sett i system. Teorien går ut på at det finst tre typar kvarkar[17]: u–kvarkar, d–kvarkar og s–kvarkar. Dei blir gitt spinn 1/2 og elektrisk ladning 2/3, −1/3 og −1/3. Zweig såg på desse som reelle partiklar, medan kvarkane for Gell–Mann bare var matematiske konstruksjonar. I artiklane lista begge opp kvarkane[18] sine kvantetal og skreiv om kor viktig det var å leite etter eksperimentelle bevis på dei, men bortsett frå dette var artiklane og modellane ganske ulike. Zweig sin modell var meir lettfattelig, men det var likevel kvarkane til Gell–Mann som blei kjente og som framleis lever i beste velgåande. Gell–Mann var ein viktig person i partikkelfysikken på denne tida og fekk overtala fysikarane til å studere kvarkekonseptet nærmare.

Gell–Mann tilnærma seg stoffet med ein metode kalla "current algebra" som han sjølv hadde lagt grunnlaget for. Current algebra omhandlar abstrakte eigenskapar i staden for konkrete spesifikke modellar. For å løyse problema med svak og sterk kvantefeltteori såg han på tradisjonell feltteori, og drog ut dei delane som var nyttige i praksis. Han prøvde å finne nye formuleringar eller modellar som så kunne stå på eigne bein, uavhengig av opphavet. Zweigs og Gell–Manns modellar var svært ulike sjølv om dei inneheldt dei same konsepta. Dei var vanskelege å sameine og levde ein periode som to separerte greiner, med kvar sine tilhengjarar.

Medan teoretikarane diskuterte kva modell som var best, jakta eksperimentalistane på empiriske bevis. Mange metodar blei brukte. Ein leita i kosmisk stråling og i vanleg materie. Boblekammerfoto frå ulike akselerator–ekseriment blei nøye studerte. I Brookhaven Synchrotron leita dei etter partiklar med masse rundt 3 og 5 GeV som ein trudde kvarkane skulle ha. Ved universitetet i Genova starta ein del fysikarar med Giacomo Morpurgo i spissen eit eksperiment der dei brukte Millikans oljedråpe–eksperiment som modell. Dei

17 Namnet "kvark" eller "quark" henta han frå romanen *Finnegan's wake* av James Joyces.

18 Zweig kalla opprinneleg sine partiklar for "aces" og brukte sirkel, kvadrat og trekant i staden for up, down og strange.

leita etter elektriske ladningar som ikkje var heiltallige. Sommaren 1966 hadde nesten tjue eksperiment blitt utført utan at ein hadde funne ein einaste kvark. Mange tolka dette som om at dei ikkje fanst som materielle partiklar, men som matematiske objekt slik Gell–Mann såg for seg. Andre forklarte dette med at dei var svært tunge. Men det var også teoretiske problem ved kvarketeorien. Til dømes braut han Pauliprinsippet[19]. Dessutan fungerte ikkje teorien like bra på høg–energi–fenomen som på låg–energi–fenomen. Kvarketeorien var dermed langt i frå ein fullstendig teori. Andre ting som stod i vegen for det store gjennombrotet var at tanken bak kvarketeorien var totalt motsett av tanken bak den rådande Bootstrapmodellen der alle partiklane var likeverdige. Zweig si tilnærming var likevel svært nyttig som ein fenomenologisk modell. Ho var ufullstendig teoretisk, men fungerte bra som verktøy.

4.1.6 Skalering

I 1965 starta teoretikaren James D. Bjorken å fordjupe seg i current algebra. Vha denne metoden prøvde han å rekne seg fram til kva som ville skje ved inelastisk[20] elektronspreiing på proton. Han kom fram til at spreiingstverrsnittet måtte vere stort ved høge energiar. Dette kunne testast eksperimentelt. Dersom teorien hans stemde ville elektron sprette vekk ved store vinklar mykje oftare enn ein tidlegare hadde trudd. Det fysiske innhaldet i dette var at ladningen til protonet var konsentrert i nokre få punkt inni protonet og ikkje jamnt fordelt. Sidney Drell og John Dirk Walecka hadde innført strukturfunksjonane, W_1 og W_2 som teoretiske omgrep i 1964. W_1 og W_2 gir oss informasjon om strukturen og ladningsfordelinga i protonet. Drell og Walecka viste at inelastisk elektron–proton–spreiingstverrsnitt kunne uttrykkast vha W_1 og W_2 som er funksjonar av ν (den greske bokstaven ny) og q^2, der ν er virtuell fotonenergi og q^2 er overgang av rørslemengd (eng: momentum transfer). Vha current algebra fann Bjorken at W_1 og νW_2 bare var funksjonar av forholdet ν/q^2. Han kalla dette fenomenet skalering (eng: scaling) fordi ν–avhengigheita til dataa kunne kompenserast ved skalering av q^2. På ein konferanse i september 1967 heldt han eit foredrag om resultata sine, men fekk ikkje nokon særleg oppslutning. Current algebra var vanskeleg å forstå og

19 Kvarkane har spinn ½ og er dermed fermion. I følge Pauliprinsippet kan ikkje to identiske fermion vere i samme partikkeltilstand.

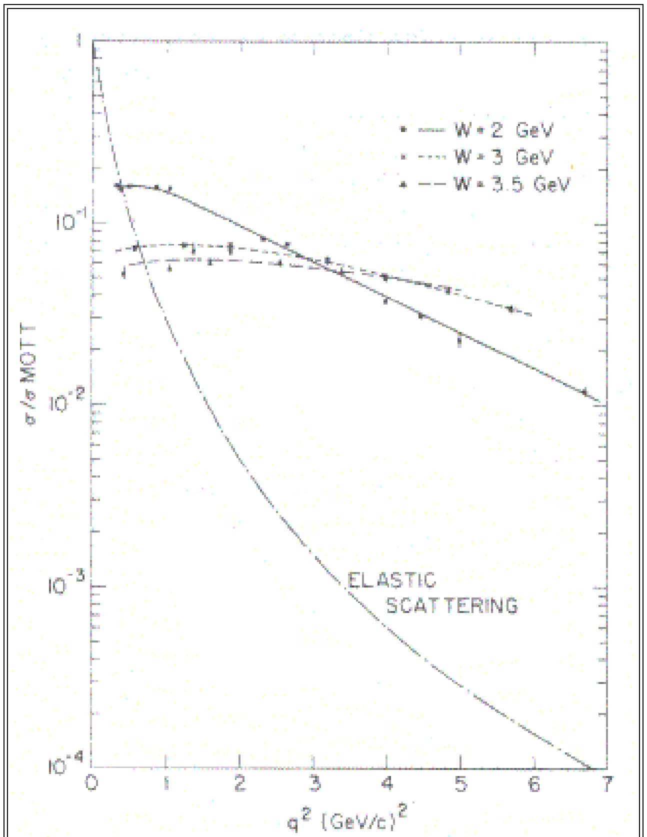
20 I elastiske partikkelspreiingar er dei same partiklane til stades før og etter kollisjonen. I ei inelastisk spreiing kan det bli skapt nye partiklar.

Bjorken var ikkje særleg kjent på dette tidspunktet.

Inelastisk spreiing blei sett på som uinteressant av dei fleste. SLAC bestemte seg likevel for å sjå på dette i samarbeid med MIT (Massachusetts Institute of Technology), men det førte til at mange forskarar søkte seg til andre laboratorium. September 1967 starta dei eksperimentet. I den lineær akseleratoren kunne dei studere strukturen til protona ved å kollidere elektron med proton. (Elektron var, og er framleis rekna som punktpartiklar). Først gjorde dei forsøk med elastisk spreiing. Det viste seg å vera ein viktig skilnad mellom desse kollisjonane og elastisk elektron−elektron−spreiing. I elektron−proton−kollisjonar var tverrsnittet mykje mindre ved store spreiingsvinklar. Forklaringa på dette måtte vere at protonet har utstrekning (altså ikkje ein punktpartikkel). Så gjorde dei forsøk med inelastisk spreiing. Dette var ikkje gjort før i nokon særleg grad. Dersom ladningen til protonet var uniformt fordelt skulle dette vise seg ved at strukturfunksjonane ville avta drastisk når dei blei truffe hardare og hardare, dvs når elektronet sprett av med større vinklar og større energitap. Men det dei såg var eit breitt platå som ikkje forsvann i djupt inelastisk område, i staden for det bratte fallet i spreiingstverrsnittet ved store vinklar slik som i elastisk spreiing (sjå figur 7). Dette var eit overraskande resultat. Elektrona traff truleg noko hardt og lite inne i protonet.

For Bjorken var resultata strålande. Dette var akkurat dei eigenskapane han hadde spådd at protonet hadde. Han hadde som sagt jobba mykje med strukturfunksjonane og fekk overtyda eksperimentalistane til å ta dei alvorleg. Han foreslo å plotte $F=\nu W_2$ mot ν/Q^2, (der $Q^2=-q^2$). Henry Kendall ved SLAC gjorde dette og såg til si forundring at han fekk ein konstant. Dette var akkurat ein slik oppførsel Bjorken hadde komt fram til gjennom teoretiske utrekningar, og gitt namnet skalering.

Desse resultata kunne også tolkast på andre måtar. Vektor−meson−dominans var ein teori som kunne forklara det meste i elektron−foton−spreiing. Denne var ei vidareutvikling av delar av bootstrap−modellen. Det oppstod ein stor diskusjon om kva teori som var rett, men teorien om vektor−meson−dominans forsvann etter kvart.



Figur 7 Skalering

4.1.7 Partonmodellen

I 1968 presenterer Richard Feynman, ein leiande feltteoretikar på denne tida, det han kalla partonmodellen. Denne gjekk ut på at protona bestod av ei mengd av einingar med ubestemte kvantetal. Desse einingane kalla han parton. I ein kollisjon av to proton ville mesteparten av partona flyge rett forbi kvarandre, men nokre vil kollidere. Feynman fekk sjå F–kurva nemnd ovanfor og forstod at F kunne sjåast på som fordelinga av rørslemengda (eng: momentum distribution) til partona. Strukturfunksjonane fekk dermed ei konkret tolking. Partonet ber fraksjonen $x=Q^2/2M\nu$ (Bjorkens skaleringsvariabel) av den totale rørslemengda til protonet. Når ein plottar F mot x finn ein at høgda på kurva ved ein bestemt x gir sannsynet for å finne eit parton som ber den delen av protonets rørslemengd.
Partonmodellen gav ei god forklaring på skalering–fenomenet: det innkomande elektronet sender ut foton som vekselverkar med eit enkelt parton.
Partonmodellen blei fort populær ved SLAC. Ikkje bare fordi han forklarte skalering, ein hadde mange andre forklaringar på det, men Feynman brukte ein formalisme som dei fleste

kunne forstå og like. Bjorken hadde hatt omtrent dei same ideane som Feynman, men hadde uttrykka dei i current algebra som var abstrakt og vanskeleg. Feynman laga eit enkelt visualiserbart bilete.

4.1.8 Parton=kvark?

Dei første eksperimenta ved SLAC gav mykje informasjon om W_2 , men lite om W_1. For å finne denne trong ein data ved store vinklar og dei fanst ikkje på dette tidspunktet. For å finne W_1 frå eksisterande data hadde ein tidlegare gjetta på forholdet mellom W_1 og W_2. Ein spesiell matematisk kombinasjon av desse blei kalla R. Curtis Callan og David Gross, to teoretikarar ved Harvard, fann ut at R vil gi informasjon om spinnet til det som fanst inni protonet. Dersom desse partiklane hadde spinn 0 ville R vera ulik null, mest sannsynleg svært stor. Men om dei hadde spinn ½ ville R vera svært liten, kanskje null. Eksperiment blei sett i gong på SLAC for å finne dette forholdet. Partonforkjemparar utgjorde nå ei stor gruppe ved SLAC, men desse var delte i to grupperingar; dei som trudde partonene var nakne, punktlike versjonar av observerbare meson og baryon, og dei som trudde dei var kvarkane.

Det oppstod mange teoriar der partona fekk dei same kvantetala som kvarkane, men det var ikkje heilt enkelt å sameine kvarkemodellen og partonmodellne. Begge inneheldt tanken om at nukleona var samansett av meir elementære partiklar, men dei hadde samstundes store ulikskapar. Partona var frie partiklar, medan kvarkar var bundne svært sterkt. I kvarketeorien bestod protonet av tre kvarkar medan det i partonmodellen bestod av ei stor mengd parton. I tillegg stemde dei ulike teoriane best på ulike område og gav forklaringar på ulike fenomen.

4.1.9 Bootstrapmodellen vs. partonmodellen

Sjølv om partonmodellen hadde begynt å spre seg var det i 1969 framleis mange som jobba med Bootstrapmodellen. Forkjemparane for denne peika på manglar i partonmodellen og klarte i tillegg å forklare formen på F–kurva på ein måte som passa inn i teorien deira. J.J. Sakurai var ein av dei som jobba med vektor–meson–dominans–teorien. Her var R stor (mellom 1 og 10). Dermed hadde dei ein test for å finna kva teori som var rett. På ein konferanse i Liverpool i september 1969 heldt Sakurai eit foredrag om vektordominans. Her viste eksperimentalisten Richard Taylor resultat frå dei nyaste målingane av R, og teorien til Sakurai blei knust. Taylors resultat var bare foreløpige, men viste tydeleg at forholdet låg mellom 0 og ½. Sakurai prøvde seg seinare med ein modifisert utgåve av den tidlegare teorien som stemde betre med resultata, men ingen høyrde på han lenger. Etter konferansen i Liverpool blei det diskutert og skrive mykje om partonmodellen. Det er vanskeleg å finne skriftleg materiale om han før dette.

Tidleg i 1970 starta SLAC eit nytt eksperiment: elektron–nøytron–kollisjonar i same energiområde som ein tidlegare hadde sett på elektron–proton–kollisjonar. Dette eksperimentet var ein god test for å skilje mellom Bootstrap–teorien og kvark–parton–teoriar. I kvark–parton–teori ville elektronet kollidere sjeldnare med nøytronet enn med protonet. Bjorken og Emmanuel Paschos var to av dei som jobba med å få partonmodellen til å stemme overeins med kvarkemodellen. Dei sette fram ein kvark/parton–modell som stemde relativt bra med data, der dei gav kvarkane spinn ½. I følge denne modellen er tverrsnittet proporsjonalt med snittet av kvadratet til ladningen (eng: average squared charge) til kvark–partona. Dermed kunne ein finne forholdet mellom tverrsnittet til nøytron og protonkollisjonar slik:

$N/P = (1/9+1/9+4/9) / (4/9+4/9+1/9) = 2/3$.

Bootstrapmodellen, som for tida var umoderne, men ikkje heilt borte, sa at elektronet behandla protonet og nøytronet likt slik at $N/P = 1$.

4.1.10 Kvark/parton–modellen tar av

I september 1970 blir det heldt ein viktig konferanse i Kiev. Her blir partonmodellen spreidd vidare, også til partikkelfysikarar som ikkje jobba med elektron– og foton–spreiing. På konferansen prestenterer Taylor resultat av målingar av N/P mykje lågare enn teoriane tilsa. Nokre målingare gav forholdet nesten lik ½. For å forklara dette treng ein meir kompliserte teoriar der kvarkane med ulik ladning ber ulike delar av kjernens energi. Med slike teoriar kunne ein forsvara N/P så låg som ¼.

I august året etter viser nye data at N/P går mot null når x (Bjorkens skaleringsvariabel) går mot 1. Dette kunne ikkje forklarast med kvarketeorien. Måtte ein nå forkaste heile teorien?

4 HISTORIA OM STANDARDMODELLEN

Partikkelfysikarane var i villreie. Heldigvis viste det seg tidleg i 1972 at det var ein feil i korreksjonsprogrammet, ein hadde faktisk ikkje målingar med N/P mindre enn ¼. Dette var ein stor seier for kvark/parton–modellen. Bjorken og Feynman hadde nemleg ikkje gitt seg på grensa for N/P. Dei ville då heller forkaste heile teorien enn å prøve å justere han.

Inndeling i sjøkvarkar og valenskvarkar blei foreslått i 1969 av Bjorken og Paschos, og seinare i ein meir detaljert modell av Weisskopf og Kuti i 1971. Sjøkvarkane er ei uendeleg mengd kvark–antikvark par som omsluttar valenskvarkar. Valenskvarkane avgjer dei fysiske eigenskapar til nukleona. Det er dei som gjer nukleona ulike. Kuti og Weisskopf la også til gluona, limen som held nuklona saman. Dermed var kvark– og partonteorien sameina. Partona var både kvarkar og gluon, sjøkvarkar og valenskvarkar. Dei tre kvarkane i kvarketeorien var valenskvarkane, som var avgjerande for kva kvantetal hadronet fekk.

Lenge jobba MIT og SLAC nesten åleine med desse teoriane, men etter kvart fekk dei selskap av CERN. Ved CERN hadde eksperimentalistane jobba mykje med nøytrinoeksperiment. Laboratoriet tok eit stort steg fram i 1971 då det store boblekammeret Gargamelle sto klart. Det blei bombandert med både nøytrino– og antinøytrino–stråler. Forholdet mellom antinøytrino– og nøytrinokollisjonar viste seg å vera nær 1/3 noko som stemde bra med teorien om spinn ½ parton. Ut ifrå resultata frå Gargamelle kunne eksperimentalistane finne ein ny strukturfunksjon. Forholdet mellom strukturfunksjonen for nøytrinostråler og strukturfunksjonen for elektronstråler viste seg å vera nær 18/5. Dette stemmer perfekt med parton–kvark–modellen[21]. Dette eksperimentet gav ikkje så mange data, men det var likevel svært betryggjande å sjå at resultata stemde med SLAC–resultata. Ved midten av 1973 hadde eksperimentet blitt kjørt lenge nok til at ein såg på det som ei stadfesting av kvark/parton–modellen. Faktoren 18/5 stadfesta også at det var tre valenskvarkar i nukleonet. Gargamelle–gruppa publiserte same året resultat som viste at rundt 50% av protonets momentum blir bore av gluona, slik ein allereie hadde sett i djup inelastisk elektronspreiing. Feynman kunne dermed, etter alle desse bevisa konkludere med at "there is a great deal of evidence for, and no experimental evidence against, the idea that

21 18/5 er snittet av ladningskvadratet til u– og d–kvarkane. I nøytrinoeksperiment er det den svake krafta som verkar og den svake ladningen er lik for alle kvarkar. Konklusjon må derfor bli at nøytrinoa treff kvarkar.

hadrons consist of quarks...Let us assume it is true" (Pickering 1984a, s. 147).

4.2 Den elektrosvake krafta

Før eg held fram med den vidare utviklinga av kvarketeorien, vil eg gå litt tilbake i tid og sjå korleis ståa var blant fysikarane som jobba med svak og elektromagnetisk kraft. Utviklinga av gauge−teori var eit viktig framsteg for denne typen vekselverknad. Dette er ei viktig hending i historia til standardmodellen og denne starta på 1950−talet.

4.2.1 Gaugeteori

Ikkje alle gav opp jakta på ein QED−liknande feltteori for sterk og svak vekselverknad. Chen Ning Yang var ein kinesisk teoretikar som jobba med dette tidleg på 50−talet. Han var godt trena i gruppeteori, noko som ikkje var særleg vanleg på denne tida. Han prøvde å modellere ein feltteori for sterk vekselverknad direkte basert på QED. QED er, som eg nemnde i kapittel to, invariant under isospinn symmetrigruppa U(1). Yang prøvde å lage ein liknande teori for sterk vekselverknad som var invariant under gruppa SU(2). Gaugeinvariansen kunne bli ivaretatt dersom han innførte tre "gauge−partiklar", dvs ein isospinn−triplett. Arbeidet var vanskeleg og han la det vekk fram til 1954. Då tilbrakte han eit år ved Brookhaven National Laboratory der han delte kontor med Robert Mills. Saman prøvde dei å ta fatt i dette på ny, og arbeidet resulterte i det som blir kalla Yang−Mills gaugeteori. Teorien inneheldt mange problem. For å oppfylle krava om gaugesymmetri måtte gauge−partiklane vera masselause, men den sterke krafta hadde kort rekkevidde noko som impliserer svært tunge kraftoverførarar. Det skulle gå lang tid før ein klarte å løysa desse problema. Yang−Mills−teorien var likevel utgangspunktet til gaugeteori−tradisjonen i partikkelfysikken som skulle vise seg å bli ein stor suksess.

Når det gjeld svak teori hadde ein på denne tida Fermis teori. I 1958 publiserte Feynman og Gell−Mann V−A teorien (V minus A) som var ei slags påbygging av Fermis teori, og som fenomenologisk sett var ein suksessrik teori. I begge desse teoriane foregår vekselverknaden i eit punkt i rom–tid–systemet, dei er ikkje–renormaliserbare og gir sannsyn større enn ein ved høge energiar. Fleire teoretikarar kom fram til at det siste av desse problema kunne ein løyse ved å innføre kraftoverførarar i svak vekselverknad slik ein hadde i sterk og elektromagnetisk teori. Dei foreslo at all svak vekselverknad skjer gjennom utveksling av tunge ladde boson, eit negativt og eit positivt, seinare kjent som W^+ og W^-.

4.2.2 Elektrosvak sameining

I 1960–åra var det store skilje mellom sterk, svak og elektromagnetisk kraft. Det var tre ulike disiplinar som opererte med kvar sine metodar. Få hadde tenkt at desse kunne henge saman. Men i 1957 kom Julian Schwinger med ein framsynt tanke. Han foreslo at den elektromagnetiske og den svake krafta eigentleg var to sider av same sak. Ei elektrosvak sameining ligg ikkje heilt opp i dagen. Den svake krafta er mykje svakare enn den elektromagnetiske og i tillegg konserverer den svake krafta ikkje paritet, noko den elektromagnetiske gjer. Schwinger lot likevel W^+, W^- og fotonet vere medlem av same familie. Sidney Bludman innsåg i 1958 at kraftoverførarane i svak vekselverknad ikkje er noko anna enn gaugepartiklane i ein SU(2) Yang–Mills–gauge–teori. Han foreslo at det finst tre av desse som forma ein SU(2) triplett: W^+, W^- og W°, og gav dei stor masse. Yang–Mills–teorien viste seg altså å fungere betre for svak teori enn for sterk, som han eigentleg var mynta på. Sheldon Lee Glashow vidareutvikla denne ideen og kopla han til Schwingers ide om elektrosvak sameining. Han publiserte i 1961 ein modell der han presenterer mykje av teorien som skulle komme til å dominere i 1970–åra. I denne modellen blir den elektrosvake krafta skildra med ein SU(2) x U(1) symmetri. Dette gir ein triplett med tre vektorboson: eit nøytralt, eit positivt og eit negativt + ein singlett med eit nøytralt vektorboson. I følge Glashow blir dei nøytrale bosona miksa til ein massiv part, Z°, og ein masselaus part, fotonet.

Omtrent på same tida blei ein liknande modell presentert av Abdus Salam og J.C. Ward, begge ekspertar i feltteori. Dei publiserte frå 1959–1964 ei rekke artiklar der dei greidde ut om ein sameina elektrosvak gaugeteori som likna Glashow sin. Desse teoriane var eit stort steg framover, men det store renormaliseringsproblemet klarte dei ikkje å bli kvitt. Det kunne ikkje løysast på same måte som i QED utan å innføre masselause kraftbærarar, og W^+,

W^- og Z° måtte vera massive skulle det heile fungere.

4.2.3 Higgsmekanismen

Løysinga kom overraskande nok frå ein ide frå faststoff–fysikken: spontant symmetribrot. I 1961 kom ein artikkel av Yoichiro Nambu og G. Jona–Lasinio der dei introduserte dette konseptet for andre partikkelfysikk–teoretikarar. Jeffrey Goldstone viste same året at spontant symmetribrot krevde eksistens av masselause spinn 0 partiklar kalla "Goldstone–boson". Dette blei kalla Goldstone–teoremet. Mange viste interesse for spontant symmetribrot tidleg i 1960–åra, først og fremst i samanheng med sterk vekselverknad. I "The Eightfold Way" var SU(3)–symmetrien bare tilnærma. Dette blei prøvd forklart med at den eksakte symmetrien var broten gjennom spontant symmetribrot. Men pga Goldstone–teoremet fungerte ikkje dette, masselause partiklar kunne ikkje ha noko å gjere i sterk vekselverknad sidan denne hadde kort rekkevidde. Peter Higgs ved University of Edinburgh oppdaga at i feltteoriar som har lokal gaugeinvarians (slik QED og Yang–Mills–teori har) kunne ein unngå Goldstone–teoremet. Han undersøkte dette i ein enkel felt–teoretisk modell som bestod av ein standard QED–lagrangetettleik med eit tillegg på to skalare felt (spinn 0). Dette har sidan blitt kalla Higgsmekanismen. Ved hjelp av spontant symmetribrot går lagrangetettleiken frå å bestå av eit komplekst skalarfelt og eit masselaust gaugefelt, til å bestå av eit reelt skalarfelt (Higgs–feltet) og eit massivt vektor felt.

4.2.4 Glashow–Weinberg–Salam–modellen

Spontant symmetribrot skulle vise seg å vere svært nyttig i elektrosvak teori. Weinberg forstod at det var dette som skulle til for å fullføre sameininga av svak og elektromagnetisk vekselverknad. Han tok utgangspunkt i Glashow, Ward og Salam sine teoriar, men massen til W^+, W^- og Z° som ein før bare hadde putta inn utan vidare, blei nå introdusert gjennom Higgsmekanismen. Han skreiv ein artikkel om dette hausten 1967 som blei publisert i Physical Review Letters, men denne vakte lite oppsikt og blei fort gløymt. Feltteori var ikkje eit særleg populært område i fysikken på denne tida. Det fanst få relevante data, og dei fleste teoretikarane jobba på andre område. Salam høyrte også om Higgsmekanismen. Han skreiv ein artikkel med ein liknande teori om korleis Higgsmekanismen kunne gi gauge–bosona i elektrosvak teori masse, men heller ikkje denne vakte oppsikt. Denne modellen blir nå kalla Glashow−Weinberg−Salam−modellen (GWS−modellen) og dei tre opphavsmennene fekk nobelprisen for han i 1979, men det skulle gå nokre år før fysikarmiljøet forstod kor banebrytande han var. Eit problem som stod i vegen for det store gjennombrotet var at ingen ennå hadde klart å vise at teorien var renormaliserbar.

4.2.5 Renormalisering av gaugeteori

Martin Veltman, ein nederlandsk teoretikar, jobba med å skildre svak vekselverknad i gaugeteori på slutten av 60−talet, og ville undersøke renormaliserbarheita til denne. Den jamne teoretikar meinte på denne tida at teoriar som involverte massive vektorboson var ikkje−renormaliserbare, men Veltman lot seg ikkje stoppe av dette. Han hadde jobba mykje med current algebra og dette gav han eit litt annleis utgangspunkt. Han klarte likevel ikkje å løyse desse problema før han fekk hjelp av Gerard 't Hooft som var student under Veltman. 't Hootf ville jobbe med gaugeteori i doktorgraden sin sjølv om Veltman sa at dette "was so much out of line with the rest of the world that very likely one was producing specialists in a subject that nobody was interested in" (Pickering 1984a, s. 178). 't Hooft jobba først med renormalisering av masselaus gaugeteori og klarte å løyse dei siste problemene som stod igjen her. Men det ein var ute etter var det same for *massiv* gaugeteori. I 1971 kunne han vise fram arbeidet der han hadde løyst også dette problemet. Han klarte å vise at gaugeteoriar der vektor−partiklar får masse vha spontant symmetribrot er renormaliserbare og dermed at den nye elektrosvake teori var renormaliserbar. 't Hooft klarte å gjere eit så fornuftig val av gauge slik at uendelegheitene forsvann.

4.2.6 Nøytral straum

Beviset for renormalisering av massiv gaugeteori skulle vise seg å forandre fokus i partikkelfysikken. Gaugeteoriar blei det nye store og GWS−modellen frå 1967 blei interessant igjen etter å ha vore gløymd i fleire år. Både den gamle V−A teorien og den nye sameinte teorien krevde eksistens av W−bosona som ein framleis ikkje hadde sett. Fysikarane rekna med at desse var svært tunge og såg derfor ikkje på fråveret av desse som noko problem. Men den nye teorien krevde i tillegg eksistens av eit nøytralt vektorboson, Z°. Å finne spor etter denne ville dermed bli avgjerande for suksessen til denne teorien. Å leite etter sjølve partikkelen blei vanskeleg med maskinane på den tida sidan partikkelen mest sannsynleg var for tung til dei energiane ein kunne oppnå. Derfor leita ein etter såkalla "nøytral straum", dvs hendingar som blir formidla av denne partikkelen.

To prosjekt er spesielt viktige her: Experiment 1A (E1A)[22] utført av HWP−samarbeidet ved National Accelerator Laboratory (NAL) i Illinois, og Gargamelle−studiene[23] ved CERN i Geneve. I april 1972 starta jakta på Z° i nøytrino−nukleon spreiing i det enorme boblekammeret, Gargamelle. Bakgrunnseffektene skapte store problem i begge desse eksperimenta og mange metodar, blant desse ulike Monte Carlo−simuleringar blei brukt for å skilje slik effektar frå eit eventuelt verkeleg nøytral straum−signal. Ein såg tidleg resultat som kunne tyde på nøytral straum, men pga dei kompliserte bakgrunnseffektene var ein forsiktig med å trekkje konklusjonar.
I januar 1973 tok Gargamelle−gruppa eit stort steg framover. I gjennomgang av gamle Gargamelle−foto dukka det opp ein kandidat for nøytrino−elektron−spreiing. Dersom dette var ekte var det eit bevis på nøytral straum. Observasjonen blir ofte omtalt som ein "Golden Event"[24]. Sannsynet for at dette var falskt var svært lite. Saman med stadig betre data frå hadronske kanalar, gjorde dette at ein til slutt konkluderte med at nøytral straum eksisterer. 19. juli blei oppdaginga annonsert på CERN. Av totalt 290,000 fotografier hadde dei funne 166 nøytral straum−hendingar. HWP−gruppa i USA kunne vise fram ferdige resultat ein månad seinare og fekk dermed bare æra av å ha *stadfesta* nøytral straum.

Kort tid etter at eksistensen av nøytral straum var proklamert utførte HWP−gruppa nye eksperiment med ei forbetra utgåve av detektoren. I denne kjøringa av eksperimentet klarte dei ikkje å påvise nøytral straum−hendingar. Men etter mykje fortviling og heftig aktivitet blei feilkjelda funnen og dei nøytrale straumane viste seg igjen. I april 1974 blei eksistensen av nøytral straum på ny publisert, og den elektrosvake teorien til Weinberg og Salam fekk

22 Samarbeid mellom Harvard University, the University of Wisconsin ved Madison, the University of Pensyllvania og National Accelerator Laboratory (NAL, omdøypt til Fermilab i 1974). Ofte forkorta til HWP−samarbeidet.

23 Samarbeid mellom University of Oxford, Laboratoire de l'Accelerateur Lineaire ved Orsay, III. Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Aachen, Universita degli studi di Milano, University College, London, Ecole Polytechnique i Paris, the Interuniversity Institute for High Energies ved universitetet i Brussel (ULB−VUB) og CERN.

24 "Golden Events" er hendingar som er så tydlege og direkte at dei åleine kan vere eit bevis på eit fenomen. Partikkelen Ω^- blei td akseptert på grunnlag av eit enkelt fotografi.

dermed eit sikkert kort på handa[25].

4.3 Den sterke krafta

Utviklinga av ein vellukka gaugeteori for elektrosvak vekselverknad skulle også få innverknad på sterk teori. Mange problem oppstod i forsøka på å finne ein gaugeteori for sterk vekselverknad, men motivasjonen var håpet om å kunne sameine den sterke krafta med den elektrosvake, og dette var ikkje noko ein kunne gi opp så lett.

4.3.1 Asymptotisk fridom

I feltteori bruker ein ofte perturbasjonsteori (sjå fotnote 13). Dette fungerer bra i svak og elektromagnetisk teori fordi desse kreftene er svake (har liten koplingskonstant), men i sterk teori gir dette uendelege summar (den sterke krafta har stor koplingskonstant). Dermed kunne ein ikkje bruke same framgangsmåte på sterk vekselverknad som på svak og elektromagnetisk. Kenneth G. Wilson heldt fram med å prøve å utvikle ein feltteori for sterk vekselverknad då dei fleste andre hadde gitt opp og gått over til å jobba med S−matrisa. Han leita etter alternative måtar å rekne ut den sterke krafta på. I 1969 kom han med ein viktig artikkel som i følgje han sjølv inneheld "a discussion of how the renormalization group might apply to strong interactions, in which I discussed all possibilities except the one (asymptotic freedom) now believed to be correct" (Wilson 1982). Arbeidet hans fekk liten innverknad før andre såg på det med meir tradisjonelle metodar. Året etter utvikla Curtis Callan og Kurt Symanzik uavhengig av kvarandre ei likning basert på Wilsons arbeid som viste korleis styrken til ei kraft forandra seg frå ein skala til ein annan. Denne styrken er i feltteori spesifisert med koplingskonstanten. Frank Wilczek, David Gross og David Politzer jobba med dette og i juni 1973 stod artiklane deira om "asympotitisk fridom" på trykk i Physical Review Letters. Asymptotisk fridom er eigenskapen som gjer at kvarkane svirrer fritt rundt i kjernen. Den sterke krafta blir nemleg svakare ved små avstandar og sterkare dersom ein prøver å fjerne kvarkane frå kvarandre. Tidlegare hadde det skapt stor forundring at kvarkane verka som frie partiklar ved hard spreiing, men at ein samstundes

25 Eg vil gå meir detaljert inn i oppdaginga av nøytral straum i kapittel 6.1. Eg har også plassert figurane der.

aldri fann eksperimentelle spor etter frie einslege kvarkar. Asymptotisk fridom gav ei løysing på dette. Ved høge energiar blir koplingskonstanten mindre og den sterke krafta oppfører seg meir og meir som fri ikkje−vekselverkande feltteori. Dette gav teoretikarane ein realistisk teori for sterk vekselverknad og var dermed ei svært viktig oppdaging. Ved hjelp av asymptotisk fridom kunne dei skildre også den sterke krafta i gaugeteori.

4.3.2 Farge

Hausten 1971 klarte Gell−Mann og Harald Friszch å løyse mange store problem ved å gi kvarkane ein ny eigenskap, farge. Eit av desse problema var sundfallsraten til nøytrale pion. Desse sundfaller ni gonger fortare enn teorien med tre sortar kvarkar (u, d og s) tilseier. Men dersom kvar av kvarkane kjem i tre ulike utgåver, dvs tre ulike fargar har ein fått ei enkel løysing på dette problemet. Farge kunne også løyse problema med Pauli−prinsippet, dei to u−kvarkane i protonet var ikkje lenger identiske (har ulik farge) og kunne dermed opptre i same kvantetilstand. I tillegg fekk ein ei forklaring på kvifor ein bare fann to kombinasjonar av kvarkar: kvark−antikvark, eller tre kvarkar. Svaret var at desse kombinasjonane var dei einaste fargelause kombinasjonane, dei gav null nettofarge. Gell−Mann foreslo at ein skulle bruke fargane raud, kvit og blå, men ein gjekk seinare over til raud, grøn og blå fordi desse kan adderast opp til kvitt=fargelaust. Innføring av farge var også med på å forklara verdien til storleiken R som eg skal komme tilbake til i kap. 4.3.4 (ikkje den same R som nemnd tidlegare). Ideen om å gi kvarkane fleire kvantetal var ikkje heilt ny. Allereie i 1964 hadde Greenberg foreslått det han kalla "parakvarkar" for å løyse problemet med Pauliprinsippet. I 1965 hadde M.Y Han og Yoichiro Nambu også foreslått ein liknande teori som inneheldt tre kvark−triplettar. Men desse teoriane fekk altså ikkje særleg merksemd før Gell−Mann og Friszch tok opp tråden.

4.3.3 QCD

Gell−Mann var ein viktig del av utviklinga av gaugeteorien for sterk vekselverknad. Han gav teorien namnet QCD, Quantum Chromodynamics. Denne inneheld tre kvarkar (u, d, og s) som kan ha tre fargar (raud, grøn og blå). Innføringa av farge gav ei forklaring på korleis den sterke krafta verka: kvarkar vekselverkar ved utveksling av farge, utført av gluona, kraftoverførarane i sterk teori. QCD er ein gaugeteori der lagrangetettleiken er invariant

under symmetrigruppa SU(3). Teorien blei publisert hausten 1973 av Gell–Mann, Harald Friszch og Hans Leutwyler. Eit populært tema hos teoretikarane på denne tida var gluona. Gell–mann slo fast at det finst åtte ulike gluon med miksa fargar.
Teoretiske utrekningar viste nå at skaleringen SLAC hadde funne tidlegare ikkje var eksakt. Ved større Q^2 og høgare oppløysing ville talet på parton som delte nukleonets momentum auke. Ein ville sjå "skalerings–brot" (eng: scaling violations). Dei tidlegare SLAC–eksperimenta hadde ikkje vore presise nok til at ein kunne ha sett dei her. Dette gav ein god måte å teste ut teorien på.

QCD brukte tid på å trengje gjennom. Fram til 1975 blei han nesten ignorert, mykje pga at han var formulert i eit abstrakt og vanskeleg språk. Men ved SLAC starta eksperimentalistane å leite etter skaleringsbrot. Tidleg 1974 hadde dei resultat som kunne tyde på dette. Fysikarane ved SLAC hadde to tolkingar av resultata. Det eine alternativet var at dette tyda på at partona hadde struktur, sidan punktlike parton vil gi perfekt skalering. Det andre alternativet som skulle vise seg å vinne fram var at storleiken på partona (eventuelt kvarkane) kom i frå ei sky av virtuelle gluon og kvark–antikvark par som svevde rundt dei slik QCD–teorien sa. Få fysikarar utanfor SLAC var interesserte i dette. NAL gjorde liknande forsøk med djup inelastisk myon–spreiing og fann også små skaleringsbrot, men heller ikkje dette forsøket blei lagt særleg vekt på elles i partikkelfysikkmiljøet. Resultata var bare foreløpige, målt over små område og for lite detaljerte.

4.3.4 R–krisa

QCD–teorien hadde fleire store svakheiter som var medverkande til at han brukte lang tid på å bli allment akseptert. Mangelen på eksperimentelle bevis for einslege kvarkar og gluon var ein viktig faktor i forsinkinga av suksessen. Eit anna problem var det som ofte blir kalla *R–krisa.* R er eit tal som står for forholdet mellom tverrsnitta til danning av hadron og muon i elektron–positron kollisjonar og blir uttrykt slik:

$$R=\sigma(e^+e^-\rightarrow hadron)/\sigma(e^+e^-\rightarrow\mu^+\mu^-)$$

ADONE var ein akselerator i Italia der ein studerte elektron–positron–kollisjonar. I 1972 viste resultat frå denne at hadron kom ut omtrent dobbelt så ofte som myon, altså R=2 ved 1–3 GeV. Men i CEA–eksperimentet i Frankrike målte dei dette forholdet til mellom 4 og 6 ved 4 og 5 GeV. Tverrsnittet er proporsjonalt med kvadratet til ladningen på sluttpartiklane. Teorien gir oss derfor:

R=4/9 + 1/9 + 1/9=2/3 for fargelause kvarkar, og

R=3x (4/9 + 1/9 + 1/9)=2 for farga kvarkar.

Resulatat frå ADONE stadfesta altså fargeteorien. Men kva med tala frå CEA? CEA hadde gjort store feil før og ein ville derfor vente på resultata frå SPEAR før ein trakk slutningar. SPEAR kunne stadfesta resultata til CEA hausten 1973. Dei såg også at R blei stadig større ved høgare energiar. I følge teorien skulle R vera ein energiuavhengig konstant. Dette førte kvarkemodellen ut på tynn is igjen. Men teoretikarane var kreative. Det oppstod teoriar om at elektrona eigentleg var hadron innerst inne, og teoriar der kvarkane likevel ikkje var punktlike. Ein kunne også løyse dette problemet ved å leggje til fleire kvarkar i teorien (dvs fleire kvarksmakar). Ved ein konferanse i London i juli 1974 kunne John Ellis, ein teoretikar som diskuterte desse teorianе, konkludere med at ein nå hadde 23 ulike modellar der R var alt frå null til uendeleg. På den same konferansen heldt John lliopoulos ein tale der han hevda den nye kvarken "charm" var løysinga. Med denne kunne ein også forklara problemet med kvifor ein aldri hadde sett nøytrale kaon sundfalle til myonpar. (Nøytrale straumar var oppdaga på dette tidspunktet, men kaonsundfallet var framleis eit mysterium). John Ilipoulos var ein klok mann.

4.4 November–revolusjonen

Ved den nemnde konferansen (London, juli 1974) presenterer Iliopoulos store delar av det me nå kallar Standardmodellen. Bjorken hugsar det slik: "With passionate zealotry, he laid out with great accuracy what we call the standard modell. Everything was there: proton decay, charm, the GIM mechanism of course, QCD, the SU(2) x U(1) electroweak theory, SU(5) grand unification[26], Higgs, etc. It was presented with absolute conviction and sounded at the time just a little mad, at least to me" (Bjorken 1985, s. 5). Teorianе hadde ikkje fått skikkeleg fotfeste, men mykje var på plass. Alternative teoriar som Reggeteori dominert framleis delar av det teoretiske samfunnet, men november same året starta ein revolusjon

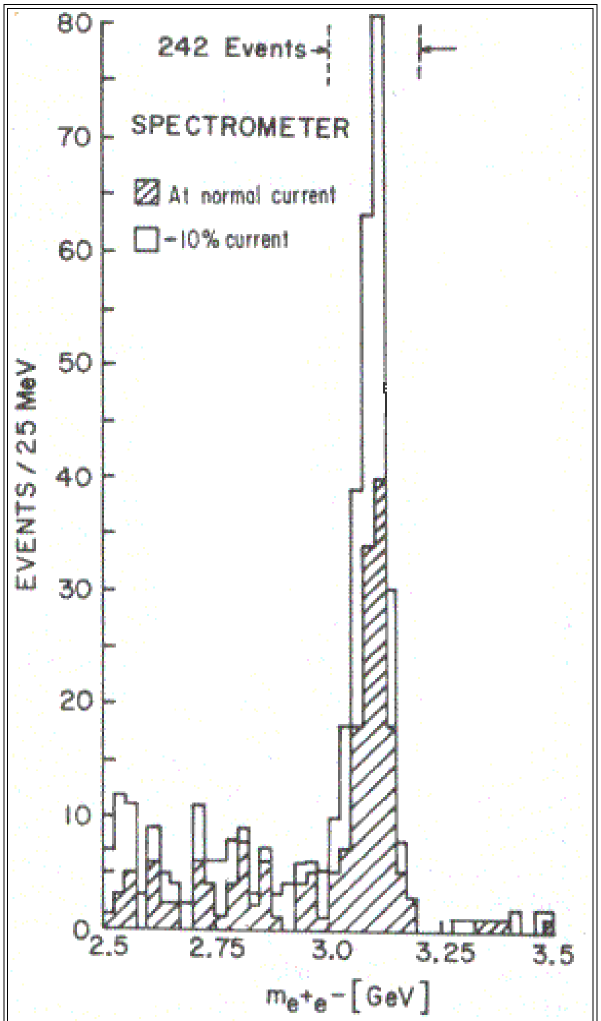
26 Sjå kapittel 4.6.4.

som skulle snu opp ned på dette.

4.4.1 J/ψ–resonansen

Samuel Chao Chung Ting var ein nøyaktig og streng fysikar ved Brookhaven National Laboratory. Han fann stor interesse i prosessen der elektron–positron–par blir produsert i kollisjonar av protoner med atomkjernar. Dette var eit komplisert eksperiment med mange bakgrunnseffekter. Med Ting i spissen stod fysikarane ved MIT klare i april 1974 til å studere dette i protonakseleratoren Brookhaven AGS (Alternating Gratient Synchrotron). Samstundes jobba fysikarar ved Stanford og Berkeley med den same prosessen i SPEARs Mark 1 detektoren, bare motsett veg: dei kolliderte elektron og positron og studerte hadrona som oppstod i desse kollisjonane.

Den andre veka i oktober fann gruppa til Ting ein skarp topp ved 3.1 GeV. Toppen var tydeleg, og svært smal noko som tyda på ein resonans med lang levetid. Ting var som sagt ein veldig nøyaktig mann og ville ikkje publisera noko før han hadde sjekka og dobbelsjekka. Medan dei dreiv på med det måtte dei anstrenge seg for å halde det hemmeleg slik at ikkje andre skulle komma dei i forkjøpet. Ulrich Becker, ein av partnarane til Ting gjekk så langt som å prøve å skjule dei tydelege resultata ved å manipulere diagramma på eit foredrag der han var nødt til å vise dei siste resultata. I tillegg viste han dette heilt på slutten av eit kjedeleg foredrag. Han klarte å lure dei aller fleste. Mange i gruppa var ivrige og pressa på at dei måtte publisere så fort som mogleg. Gruppa heldt fram med å kjøre mange ulike testar, men resonansen viste seg å vere stabil. Tidleg i november var dei heilt sikre på at dei hadde funne noko nytt. På denne tida gjekk det rykter om oppdaginga i partikkelfysikk–miljøet og presset for publisering blei dermed endå større, men Ting nølte nok ei veke med å annonsere den nye resonansen som han gav namnet J (sjå figur 4 og 8).



Figur 8 J−resonansen, slik han blei presentert i publikasjonen frå gruppa Brookhaven−gruppa.

Seint i oktober begynte ein å sjå noko rart ved 3.1 GeV også i resultata frå SPEAR, og gruppa avgjorde at dei ville sjå nøyare på kva som skjedde her. Mange var meir interesserte i å studere fenomen ved høgare energiar, men det blei likevel sett av litt ekstra tid til dette energiområdet. Resonansen var tydeleg og det var stor stemning i laboratoriet. Gruppa starta på artikkelen om oppdaginga og kalla resonansen ψ (psi) som var den første ledige bokstaven i det greske alfabetet, bortsett frå ι (iota) som betyr liten og dermed var svært upassande for ei så stor oppdaging.
Ryktet om at SPEAR hadde funne ein skarp resonans ved 3.1 GeV nådde gruppa til Ting og

skapte sjølvsagt mykje fortviling. Dei kunne ikkje sitje å sjå på at SPEAR snappa æra for den store oppdaginga rett framfor nasen deira. Det neste døgnet jobba gruppa til Ting derfor intenst og desperat med å få spreidd oppdaginga si. Dei ringte rundt til viktige personar i miljøet, og kopierte opp diagram som dei kunne sende rundt. Ting var på dette tidspunktet på veg til eit møte på SLAC. Der traff han Burt Richter, ein av dei viktigaste personane i SPEAR gruppa, og dei fann ut at dei hadde gjort den same oppdaginga. Måndag 11. november 1974 heldt dei kvar sitt foredrag, og sjokkerte publikum med denne resonansen som var så uvanleg skarp. Det heile endte altså med dødt løp. Laboratoria måtte dele æra og resonansen blei kjend som J/ψ (Aubert et al. 1974 og Augustin et al. 1974).

4.4.2 Charmionium–modellen

Breidden på J/ψ–resonansen gav ei levetid på rundt 10^{-20} sek, tusen gonger lengre enn det ein var vand med. Den "lange" levetida kunne tyde på ein ny eigenskap. Ein klarte ikkje å forklare ho med tradisjonelle metodar. Kunne dette vere eit teikn på konservering av noko heilt nytt? Teoretikarane starta å utvikle teoriar om kva dette kunne vere straks etter publiseringa. Mindre vellukka forslag var at dette var eit gluon, $u\bar{c}$ eller eit Z°–boson. Den mest populære teorien påstod at det ein hadde sett var $c\bar{c}$, ein c–kvark og ein anti–c–kvark som krinsa rundt kvarandre med parallelle spinn. Dette blei kalla charmionium–modellen og kunne forklare den lange levetida, samtidig som han var ein enkel analogi til atomfysikken[27]. Dersom denne var korrekt skulle ein kunne finna tyngre versjonar av charmonium (eksiterte tilstandar). Teoretikarane rekna ut at det skulle finnast ein ny resonans ved 3,7 GeV. Denne blei funnen i SPEAR bare eit par veker etter den første og blei kalla ψ'. To viktige artiklar blei skrivne om charmoniummodellen, ein av Politzer og Appelquist, og ein av Glashow og De Rujula. Her skreiv dei om mykje av det eksperimentalistane skulle finne framover, bl.a. fleire smale toppar med høgare massar. J/ψ førte med seg ein hektisk aktivitet både blant teoretikarane og eksperimentalistane. Det var spanande å vere partikkelfysikar på denne tida.

27 I atomfysikken har ein tilstanden positronium, som er eit positron og eit elektron som kretsar rundt kvarandre, som eit hydrogenatom der protonet er bytta ut med eit positron.

4.4.3 Kvarkane blir reelle

Ved SPEAR hadde dei rundt august 1975 gjort nøyaktige målingar av R og kjende seg nå ganske sikre på at R stabiliserte seg på rundt ved 5 GeV. R−krisa blei løyst ved oppdaginga av dei nye resonansane. Det var nemleg desse som hadde klussa til grafane til eksperimentalistane og gjorde at ein såg lineær stigning der ein helst ville sjå ein konstant. Når dei trekte frå effektene frå dei nye resonansane forsvann den komplekse strukturen. Dermed var eit alvorleg problem ute av verda og ein kunne konsentrere seg om dei nye resonansane. Dei fleste fysikarane støtta charmonium−modellen, men mange ville gjerne sjå "naken charm"[28], dvs $c\bar{q}$ eller $\bar{c}q$ der q = u,d eller s, for å la seg overtyde heilt. Denne blei leita etter gjennom hausten 75 og det neste året. I mai 76 såg SPEAR−eksperimentalistane endeleg ein topp som måtte vere "naken charm", også kalla D−meson. Ved midten av 1976 blei det slått fast at dei nye resonansane var bevis på at c−kvarken fanst, og novemberrevolusjonen som hadde starta november 74 med oppdaginga av J/ψ var over. Etter dette blei kvarkane sett på som verkelege, reelle partiklar. Det er altså god grunn til å kalle denne hendinga ein revolusjon.

4.5 Stadfesting av Standardmodellen

Etter november−revolusjonen blei omgrepet "QCD" brukt stadig oftare, og den Standardmodellen Iliopoulos hadde presentert i 1974 blei akseptert blant dei fleste. Bootstrapmodellen levde vidare hos nokre få grupper. Det viktigaste argumentet hos desse var at ingen ennå hadde sett ein isolert kvark. Men om ein ser bort frå desse vann kvark−modellen gjennom ganske lett. I åra framover skulle fleire bitar falle på plass og det blei funne eksperimentelle bevis for nye partiklar som lett kunne plasserast inn i modellen.

4.5.1 Tau (τ)

Dei fleste meinte at ein trong fleire kvarkar og lepton i Standardmodellen for å få det heile til å gå opp. Eksperimentalistane hadde leita etter tyngre lepton sidan tidleg i 60−åra, men

28 Charmonium blir ofte kalla "skjult charm" fordi c−kvarken og anti−c−kvarken kansellerer kvarandre ut, dvs gir "netto−charm" lik null.

ikkje funne noko. Martin Perl og Gary Feldman ved SPEAR kom saman fram til ein ny måte å leite på. Dei ville sjå etter såkalla "anomale e−my hendingar": i ein positron−elektron−kollisjon med nok energi kan det dannast to slike tunge lepton. Det eine vil sundfalle til elektron eller positron saman med to nøytrino, og det andre til myon av motsett ladning saman med to nøytrino. Denne typen hendingar blei funne og i juli 1976 kunne SPEAR publisere oppdaginga av tau−leptonet. Artikkelen inneheldt kompliserte argument og prosessen hadde mange bakgrunnsproblem, så mange lot seg ikkje overtyde før DESY (partikkelfysikk−laboratorium ved Hamburg i Tyskland) kom opp med liknande resultat neste vår.

Men dette nye leptonet gav ein asymmetri i standardmodellen som nå inneheldt seks lepton (ein rekna med at det nye tauleptonet hadde eit tilhøyrande taunøytrino), men bare fire kvarkar. Fysikarane tok dette som eit hint om at det fanst fleire kvarkar der ute.

4.5.2 Ypsilon (Υ) og b−kvarken

Leon Lederman si gruppe ved Fermilab kolliderte proton med atomkjernar og skapte på denne måten leptonpar. I 1976 dukka det opp ein resonans som blei kalla Υ (ypsilon) ved 6 GeV. Ved nye forsøk i same energiområde forsvann han igjen og gjekk inn i historia som ein feilmåling. Men ikkje lenge etter fann dei ein ny resonans ved 9,5 GeV og denne blei verande (sjå figur 4 i kap. 3). I august året etter hadde dei funne tre smale toppar i dette området. Dei nye resonansane blei kalla Υ, Υ' og Υ'' og det tok ikkje lang tid før dette blei tolka som eit nytt kvark−antikvark−system. Teoretikarane hadde lenge rekna med at det skulle finnast eit nytt kvarkpar, t− og b−kvarken med ladningane 2/3 og −1/3. Ledermans kvark viste seg å vere b−kvarken med ladning −1/3. Teknikkane som hadde oppstått rundt oppdaging av ψ−ane kom nå godt med og kunne brukast på ny.

Tau−leptonet og b−kvarken var lette å plassere inn i Standardmodellen. Der var det plass til opptil åtte generasjonar før den asymptotiske fridomen ville bryte saman. DESY og SLAC starta nå eit kappløp for å vera den første til å finne toponium og t−kvarken. Det skulle gå lenge før denne jakta tok slutt. Men dette blei ikkje sett på som eit problem for

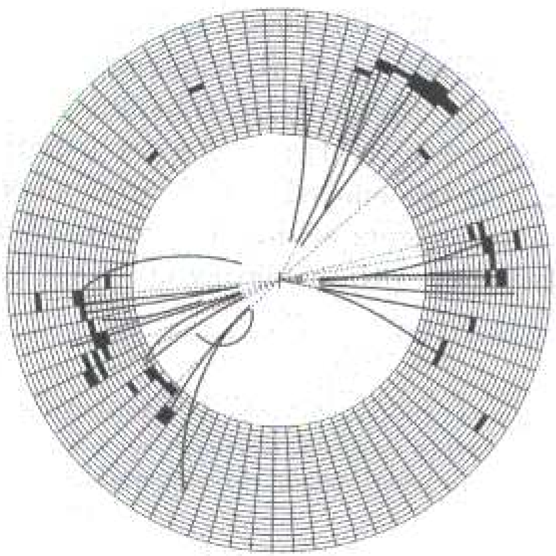
Standardmodellen. Ein rekna med at ein måtte leite ved endå høgare energiar.

4.5.3 Skaleringsbrot

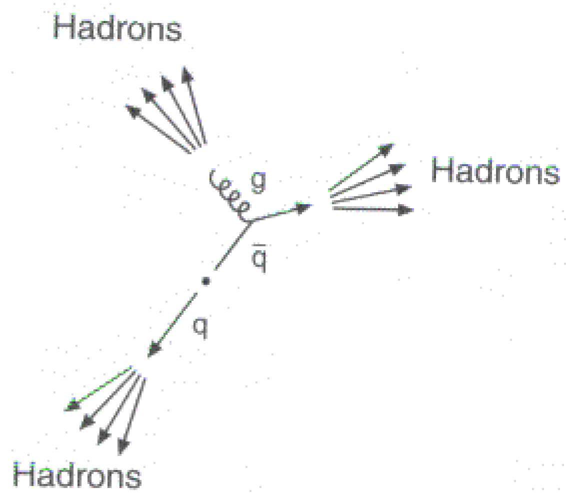
Seint på 1970–talet blei jakta på eksperimetelle bevis for gluon eit viktig område ved dei store partikkelfysikk–laboratoria. Skaleringsbrot blei som tidlegare nemnd sett på som stadfesting av QCD og eksistensen av gluon. For å få overtydande bevis ville ein gjerne sjå det nøyaktige mønsteret i skaleringsbrot. Til dette trong ein store energiar, høg presisjon og målingar over store energiområde. Tidlegare målingar ved SLAC og NAL hadde ikkje dette. Ved CERN gjekk ein inn for å studere skaleringsbrot i nøytrino– og antinøytrino–kollisjonar. Resultata viste at ved låge verdiar av x steig strukturfunksjonen litt, og ved høge x sank han litt. Ved eksakt skalering som i den enkle partonmodellen vil ikkje strukturfunksjonen vere avhengig av x. Dette blei altså ei stadfesting av QCD–teorien der kvarkane i hadrona er omgitt av ei sky av gluon og virtuelle kvark–antikvark–par som heile tida vekselverkar med kvarandre.

4.5.4 Jets

Fysikarane hadde ikkje gitt opp jakta etter "visuelle" bevis for kvarken. Bjorken og Feynman foreslo at ein skulle leite etter "jets", dvs straumar av "rester" som flyg vekk etter ein kollisjon. Desse oppstår ikkje tilfeldig, men som ein spray av partiklar i nokre spesifikke retningar. Den sterke krafta hindrar kvarken og antikvarken i å flyge på eiga hand i kvar sin retning i detektoren. I feltet av sterk kraft blir det danna nye kvarkar og antikvarkar som saman formar to sprayar eller "jets". Gail Hanson ved SLAC blei interessert i dette. Ved hjelp av avansert data–analyse såg ho tidleg 1975, at hadron kom ut som to rygg–mot–rygg–jets i SPEAR, begge med spinn 1/2. Det såg ut som om det var to kvarkar som var utgangspunktet for desse. Igjen hadde ein ei ny stadfesting på kvark–parton modellen. I 1979 såg ein det same i akseleratoren PETRA ved DESY, bare utan den kompliserte data–analysen. Ein kunne rett og slett sjå kvarkane, eller iallefall svært direkte spor etter dei, på skjermen. TASSO (Two–Armed Solenoidal SpectrOmeter), ein detektor ved PETRA, leita etter hendingar med tre jets, der den tredje jetten skulle komma frå eit gluon (også kalla gluon–bremsstrahlung). Ved eit nøytrinofysikkmøte i Bergen i juni 1979 påstod Bjørn Wiik at ein nå hadde sett fotspora til gluonet i slike hendingar. Han blei møtt med skepsis, men fleire data kom. I august kunne dei vise fram slike resultat frå dei andre detektorane ved PETRA. Dermed hadde ein også sett gluonet med "det blotte auge" (sjå figur 9 og 10).



Figur 9 Typisk 3−jet−hending frå JADE−detektoren ved PETRA.



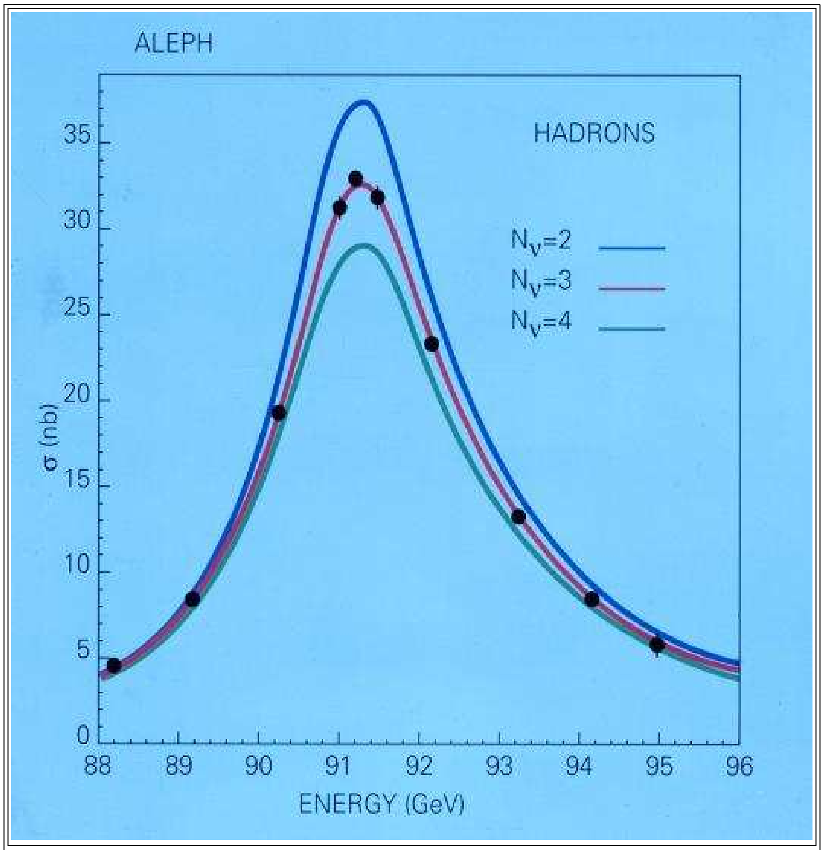
Figur 10 Forklaring av kva som har skjedd i 3−jet−hendinga.

4.5.5 W− og Z−boson

Då GWS−teorien etterkvart gav betre gjettingar for massane til W^+, W^- og $Z°$ starta den eksperimentelle jakta på desse. Ved oppdaginga av nøytral straum i 1973 hadde ein sett spora etter $Z°$, men ein var interesserte i meir direkte målingar på bosonet. Under leiinga av Carlo Rubbia og Simon Van der Meer blei SPS (Super Proton Synkrotron) ved CERN i 1978 gjort om til $Sp\bar{p}S$ der proton kolliderte med antiproton. To store detektorar, UA−1 og UA−2 blei bygde for å studere desse kollisjonane. Dersom ein u−kvark frå eit proton og ein anti−d−kvark frå eit antiproton kolliderte med tilstrekkeleg energi ville eit W^+−boson dannast. Desse ville så sundfalle til eit elektron og eit nøytrino. Ein fann slike hendingar og massen blei rekna ut til 81±5 GeV, noko som stemde bra med teorien. Dette blei annonsert i januar 1983.

Så starta jakta på $Z°$. Denne blei leita etter gjennom sundfallet $Z° \rightarrow e^+ e^-$. I juni same året kunne CERN meddele verda at $Z°$−bosonet hadde vist seg. Sidan har ulike eksperiment funne mange fleire slike hendingar og massane til W^+, W^- og $Z°$ er målte med stor presisjon.

Maskinane blei stadig betre og kunne etterkvart produsere store mengder av Z°−partiklar. Det blei mogleg å sjå Z° som resonans og utifrå denne kunne ein trekke viktige konklusjonar. I 1989 stadfesta eksperiment i LEP (Large Electron Positron collider) ved CERN og SLC (Stanford Linear Collider, ei oppgradering av den første lineære akseleratoren) ved SLAC at det finst tre, og bare tre generasjonar av fundamentalpartiklar, ved å sjå på at breidden til denne resonansen. Breidden gir oss levetida til resonansen, og levetida er avhengig av kor mange måtar han kan sundfalle på. Levetida til Z° er konsistent med at det bare finst tre veldig lette eventuelt masselause nøytrino, og frå dette konkluderer ein med at det bare finst tre generasjonar av elementærpartiklar. Figur 11 påneste side viser korleis eksperimentelle data stemmer bra overeins med teoretiske utrekningar med tre generasjonar. (Den høgaste kurva representerer to generasjonar, den i midten tre, og den lågaste fire).



Figur 11 Z°−resonansen

4.5.6 t–kvarken

Sidan b–kvarken blei funnen i 1977 hadde fysikarane leita etter partnaren til denne, t–kvarken, for å gjere den tredje generasjonen av kvarkar komplett. Det skulle gå 18 år før denne dukka opp. Etter diverse eksperiment og teoretiske utrekningar blei ein klar over at massen til t–kvarken var mykje høgare enn ein først hadde trudd. Denne tunge kvarken har svært kort levetid og var derfor vanskeleg å påvise. Men teorien sa at dersom maskinen klarte å produsera $t\,\bar{t}$ –par ville dei sundfalle til $b, \bar{b}$ og to W–boson med motsett ladning. Desse hadde ein meir trening i å påvise. I august 1993 hadde eksperimentalistane funne fleire slike kandidatar ved CDF (Collider Detector at Fermilab) som gav t–kvarken ein masse på rundt 175 GeV, men dette var ein vanskeleg prosess med mykje bakgrunnstøy og det tok lang tid å forsikre seg om at signalet var reelt. D0 eksperimentet ved Fermilab fokuserte også på dette området. I mars 1995 hadde begge eksperimenta mange nok data til at dei kjende seg sikre og observasjon av t–kvarken blei annonsert med masse 199±22 GeV (Abachi et al, 1995). Etter fleire og betre målingar er massen i dag målt til 173,8±5,2 GeV (The European Physical Journal C 1998).

4.6 Siste nytt og aktuelle framtidsplanar

Sjølv om dei fleste eksperiment i den siste tida har støtta Standardmodellen er det ikkje slik at partikkelfysikarane har slått seg til ro med dette. Mange spørsmål står framleis usvara og få trur at Standardmodellen vil bli ståande slik han er nå i all æva. Dei fleste meiner at det finst ei meir fundamental skildring av naturen. I dette kapittelet vil eg presentere nokre av desse usvara spørsmåla og områda ein fokuserer på i dagens partikkelfysikk–forsking.

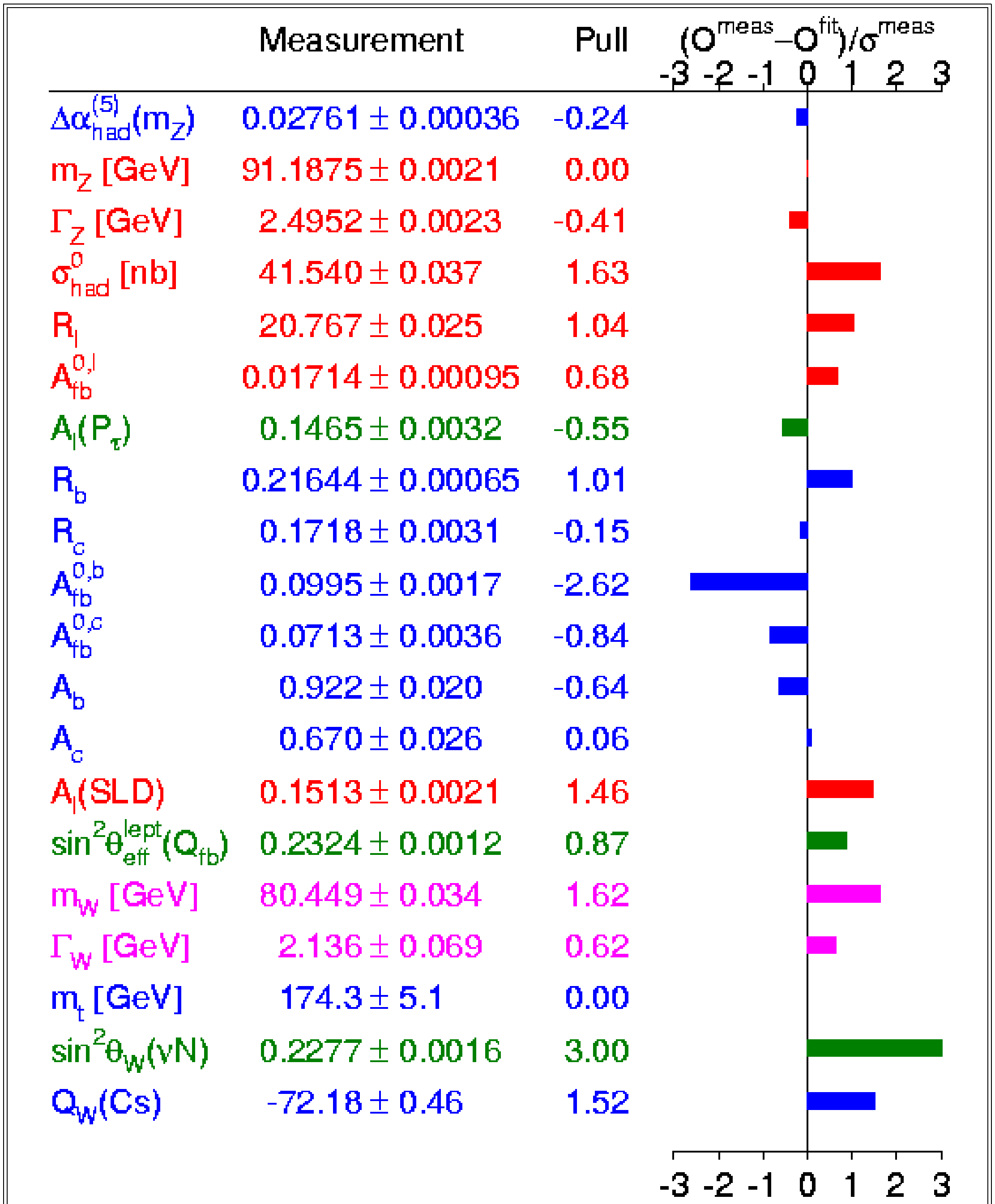
4.6.1 Nøytrinomassar

Ein har lenge gått utifrå at nøytrinoa er masselause, men seinare eksperiment tyder på det motsette. Data frå Super Kamiokande–eksperimentet i Japan, som detekterer nøytrino frå kosmisk stråling, viser at mengda av ν_{μ} (myon–nøytrino) som kjem inn i detektoren ovanfrå er større enn mengda av ν_{μ} som har gått gjennom jorda og kjem inn bakvegen.

Konklusjonen er at mest sannsynleg har nokre ν_μ konvertert til ν_τ (tau−nøytrino, som ikkje kan detekterast i denne detektoren) på vegen. Dette tyder på såkalla nøytrino−oscillering, som krever at nøytrinoa har masse. Eksperiment har gitt øvre grenser på desse massane og dei viser seg å vere veldig små, men dette vil likevel føre til ein liten modifisering av Standardmodellen. Nøytrinofysikk er i dag eit aktuelt forskningsområde og nøytrino−eksperimenta kan bl.a. hjelpe oss å forstå aspekt ved sameining (sjå kap. 4.6.4), kosmologi, opphavet til baryon−asymmetrien i universet og fysikk utover Standardmodellen (Murayama 2002).

4.6.2 Presisjonsmålingar

Standardmodellen har blitt testa ut på mange måtar. Mange driv nå med presisjonsmålingar for å samanlikne teori og eksperiment og ein har mange døme på at dette stemmer overeins med imponerande nøyaktigheit. Tabell 1 på neste side viser status i presisjonsmålingar av ulike observerbare storleikar i elektrosvak fysikk ved International Conference on High Energy Physics (ICHEP) i Amsterdam, juli 2002 (Grünewald 2002). Resultata er henta frå dei nyaste eksperimenta i Brookhaven, Fermilab, SLAC og CERN. Målingane er samanlikna med teoretiske utrekningar med grunnlag i Standardmodellen. (Eg vil ikkje gå nærmare inn på kva dei ulike parametrane tyder, tabellen skal bare illustrere kor godt teori og eksperiment stemmer overeins).

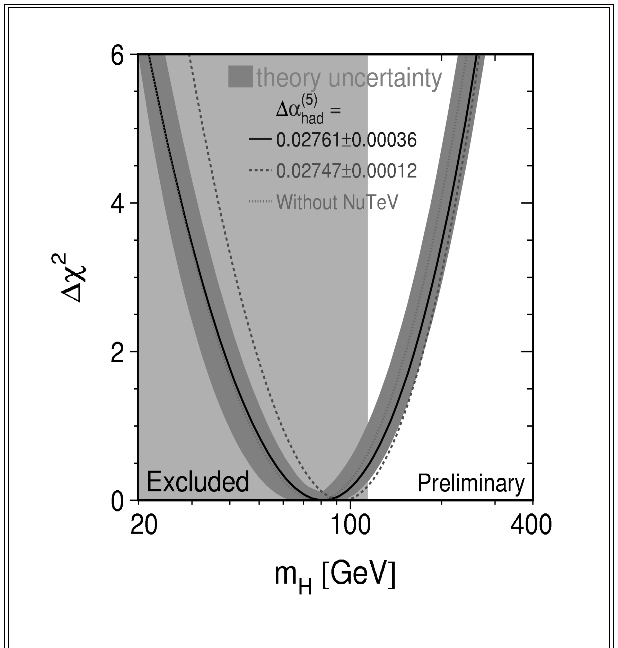


	Measurement	Pull
$\Delta\alpha^{(5)}_{had}(m_Z)$	0.02761 ± 0.00036	-0.24
m_Z [GeV]	91.1875 ± 0.0021	0.00
Γ_Z [GeV]	2.4952 ± 0.0023	-0.41
σ^0_{had} [nb]	41.540 ± 0.037	1.63
R_l	20.767 ± 0.025	1.04
$A^{0,l}_{fb}$	0.01714 ± 0.00095	0.68
$A_l(P_\tau)$	0.1465 ± 0.0032	-0.55
R_b	0.21644 ± 0.00065	1.01
R_c	0.1718 ± 0.0031	-0.15
$A^{0,b}_{fb}$	0.0995 ± 0.0017	-2.62
$A^{0,c}_{fb}$	0.0713 ± 0.0036	-0.84
A_b	0.922 ± 0.020	-0.64
A_c	0.670 ± 0.026	0.06
A_l(SLD)	0.1513 ± 0.0021	1.46
$\sin^2\theta^{lept}_{eff}(Q_{fb})$	0.2324 ± 0.0012	0.87
m_W [GeV]	80.449 ± 0.034	1.62
Γ_W [GeV]	2.136 ± 0.069	0.62
m_t [GeV]	174.3 ± 5.1	0.00
$\sin^2\theta_W(\nu N)$	0.2277 ± 0.0016	3.00
$Q_W(Cs)$	-72.18 ± 0.46	1.52

Tabell 1 Presisjonsmålingar

4.6.3 Higgs–partikkelen

I LEP–akseleratoren ved CERN har eksperimentalistane leita etter Higgs–partikkelen. Eksperimentet er nå avslutta og ingen Higgs blei funnen. Desse eksperimenta dekka energiar opp til 114,4 GeV og har stadfesta med 95 % sikkerheit at Higgs ikkje ligg i dette energiområdet. Teorien tilseier at han ligg på rundt 115 GeV og ikkje over 193 GeV (Ellis 2002). Eksperiment som skal leite etter Higgs ved større energiområde står på trappene. Dersom Higgs ikkje viser seg her vil dette gi Standardmodellen store problem. Då må parikkelfysikarane finne ein ny måte å gi masse til partiklane på. Figur 12 viser χ^2–kurva for kvar det er mest sannsynleg å finne Higgs (dvs der χ^2 er minst), etter utrekningar vha elektrosvake presisjonsdata frå LEP og andre eksperiment. Figuren har også merka av området der ein allereie har ekskludert Higgs.



Figur 12 χ^2–kurva

4.6.4 Sameining av teoriar, supersymmetri og strengeteori

I midten av 1970–åra kunne både elektrosvak og sterk kraft skildrast i gaugeteoriar og teoretikarane byrja å spørje seg om ikkje desse to kunne sameinast til ein Stor Sameina Teori (Grand Unified Theory, GUT). I slike teoriar går ein ut ifrå at leptona og kvarkane er del av ei stor symmetrigruppe som blir spontant broten. Glashow og Howard Georgi publiserte i 1974 ein GUT basert på SU(5) symmtrigruppa, der denne blir broten til SU(2) x U(1) symmetri for elektrosvak vekselverknad og SU(3) symmetri for sterk vekselverknad ved enormt høge energiar (rundt 10^{15} GeV). Denne teorien føreseier protonsundfall, og i store underjordiske tankar fyllt med vatn har eksperimentalistane leita etter teikn på dette.

Ingen protonsundfall er funne og ein har derfor gått bort i frå denne typen GUT, men tanken om ei større sameining har ein likevel ikkje gitt slepp på.

Supersymmetri er ein av teoriane som kanskje kan løyse nokre av problema rundt Standard–modellen. Supersymmetri krever at alle partiklar har ein tilhøyrande supersymmetrisk partner, desse blir kalla skvarkar, slepton, fotino, gluino osv. Supersymmetrien er broten i den verda me lever i og dei supersymmetriske partiklane er så tunge at me ikkje har klart å detektere dei til nå, men dersom denne teorien er korrekt skal ein kunne finne slike i framtidige eksperiment. Dette vil vere eit stort gjennombrot i partikkelfysikken. Mange arbeider i dag med MSSM i staden for SM. Dette står for Minimal Supersymmetric extension of the Standard Model og er altså den Standardmodellen me får dersom supersymmetriske partiklar viser seg å eksistere.

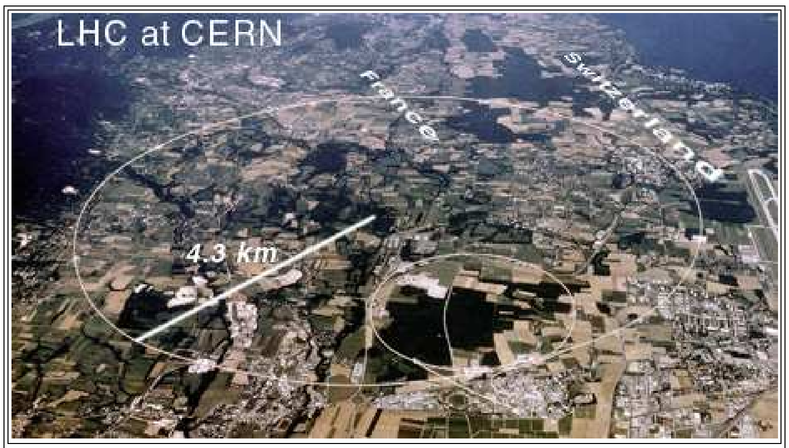
Den største draumen til ein partikkelfysikkar vil vere å finne Teorien Om Alt (Theory of Everything, TOE). Dette er ei sameining av GUT og den fjerde krafta, gravitasjonen. Ein teori som inneheld denne moglegheita er strengeteori. Dette går ut på at ein ser på fundamentalpartiklar som ein–dimensjonelle strenger i staden for matematiske punkt. På same måte som ein gitarstreng kan desse strengene vibrere i ulike modar og kvar mode tilsvarer ein elementærpartikkel (kvark, gluon, Z° osv). Strengeteoriar er bare matematisk konsistente dersom det eksisterer ti dimensjonar. Den verda me observerer til dagleg har bare fire (tre–dimensjonelt rom + tid), men dei resterande seks kan i framtida bli observert indirekte i eksperiment dersom denne teorien stemmer.

4.6.5 Problem ved standardmodellen

Standardmodellen fungerer veldig godt, men det vil ikkje seie at han forklarer alt. Eit spørsmål mange har stilt seg er kor alle desse tilsynelatande vilkårlege tala kjem i frå. Kvifor har me seks kvarkar, seks lepton, tre fargar og tre generasjonar? Korleis skal me forklare storleiken på miksevinklane og styrken på koplingskonstantane? Kvifor er det så stor spreiing i massen til elementærpartiklane, frå masselause foton til den svært tunge t–kvarken? Er det noko mønster i massane? Ikkje alle er nøgde med måten Higgsmekanismen gir masse til elementærpartiklane. Eit av ankepunkta er at denne mekanismen ikkje klarer å forklare det spekteret av massar partiklane har. Og kvifor er det så mange fundamentalpartiklar? Er dei eigentleg sett saman av endå meir grunnleggjande partiklar? Kanskje det finst fleire fundamentale krefter og partiklar ved høgare energiar? Andre spørsmål som vil prege framtida er kvar er det blitt av antimaterien, om me vil klare å sameine alle kreftene. Mange av desse spørsmåla går utover Standardmodellen. Dette gjeld også supersymmetri, ekstra dimensjonar og superstrengar. Dette blir ofte kalla *ny fysikk*. Jakta på ny fysikk er i all hovudsak motivasjonen for framtidas akseleratorar. I desse vil me kunne studere høgare energiområde, eller me vil kunne undersøkje allereie kjende energiområde ved høgare luminositetar.

4.6.6 LHC

LHC (sjå figur 13) er eit godt døme på framtidas partikkelfysikk−eksperiment. Denne skal stå klar ved CERN i 2007 og blir bygd inn i den 27 km lange tunnelen der LEP heldt til tidlegare. Dette er den kraftigaste akseleratoren verda har sett til nå og kan oppnå enorme energiar. Protonstråle−energien er på 7 TeV. Tre detektorar skal ta seg av prosesser ved proton−proton kollisjonar: ATLAS (sjå figur i kap. 3), CMS og LHCb. I tillegg deltar også ALICE−eksperimentet, ein tung−ione−detektor som skal leite etter signal frå kvark−gluon plasma i kollisjonar av tunge kjernar. Ved LHC vil ein gjere presisjonsmålingar av eigenskaper til t−kvarken og W−bosona og Z°−bosonet, ein vil leite etter Higgspartikkelen, spor etter supersymmetri og ekstra dimensjonar.



Figur 13 Oversiktsbilete av LHC ved CERN

5 REALISME OG KONSTRUKTIVISME

Mange har meint mykje om naturvitskapen. Han har blitt idealisert og kritisert. Alle må på ein eller annan måte forhalde seg til naturvitskap og forsking, enten det er som student eller forbrukar. Dermed er det naturleg å gjere seg opp nokre tankar om kva føresetnadar som ligg under. I dette kapittelet vil eg presentere fire syn på naturvitskapen: naiv realisme, sosial konstruktivisme, og teoriane til vitskapsteoretikarane Pickering og Galison.

5.1 Naiv realisme

Den "moderne" naturvitskapen oppstod på 1600–talet med Galileo Galilei og det mekaniske verdsbiletet. Galilei prøvde å skildre naturen matematisk ved å finne målbare storleiker og utføre eksperiment. Sjølv om metodane våre med tida har blitt meir kompliserte, og kunnskapen vår om naturen har vokse dramatisk sidan den gong, går naturvitskapleg forsking framleis mykje ut på det same. Ein leitar etter dei teoriane som stemmer best med det ein observerer. Men kva føresetnader ligg under eit slikt bilete av vitskapleg aktivitet? Omgrepet "naiv realisme" kan forklare tankegangen bak dette synet på naturen og naturvitskapen. Naiv realisme er ideen om at det eksisterer noko i verda uavhengig av menneska, at det finst ein slags objektiv realitet. Vitskaplege teoriar er sanne dersom dei korresponderer med denne. Oppgåva til ein naturvitar er å observere naturen og finne regelmessigheiter, strukturar og naturlover. I dette tradisjonelle synet på vitskap ligg også tanken om at vitskapen er kumulativ. Me lærer stadig meir om verda rundt oss. Ein teori er enten sann eller falsk, og ved hjelp av gode vitskapelege metodar klarer me å sile vekk dei falske slik at me heile tida nærmar oss sanninga, dvs ei total korrespondanse med røynda.

I teoriane til Karl Popper (1902–1994) finn me mykje av denne naive realismen. Sjølv seier han det slik: "I wish to confess ... that I am a realist: I suggest, somewhat like a naive realist, that there are physical worlds and a world of states of consciousness, and that these two interact" (Popper 1972, s. 107). Den fysiske verda han nemnar er uavhengig av menneska, men me kan vekselverke med ho og prøve å forstå ho gjennom naturvitskapeleg aktivitet. I følgje Popper består god vitskap i å framsetje hypoteser som ein så testar empirisk (hypotetisk–deduktiv metode). Ved hjelp av denne metoden prøver vitskapen å nærme seg sanninga. Kunnskapen er uavhengig av kven som oppdager han. "Knowledge in the objective sense is *knowledge without a knower*: it is *knowledge without a knowing subject."* (ibid., s. 109). Dette er eit viktig poeng for Popper. Han ser på vitskapen som upersonleg og ahistorisk, altså utan tilknytting til historiske forhold. Han vil nok ikkje nekte for at i sjølve oppdaginga av ein teori speler sosiale og historiske faktorar inn, men han set eit viktig skilje mellom oppdagingskontekst og grunngjevingskontekst. Oppdagingskonteksten er uinteressant, det er grunngjevinga av eit fenomen eller ein teori som er viktig å studere. Vha empiriske testar kan me avgjere om ein teori er god eller dårleg, om me har gode nok grunnar for å tru på han. Vitskapelege fakta er objektive, og god og objektiv vitskap nærmar seg heile tida sanninga.

Steven Weinberg er ein annan beinhard realist. Haldningane hans kjem tydeleg fram i følgjande sitat: "I think that if we ever discover intelligent creatures on some distant planet and translate their scientific works, we will find that we and they have discovered the same laws" (Weinberg 2001, s. 150). Det er det same som å seie at teoriane våre representerer verda slik ho er uavhengig av oss, dei er upersonlege og ahistoriske. Det finst ein objektiv realitet der ute som me kan nå gjennom vitskapen.

5.2 Sosial konstruktivisme

Thomas Kuhn (1927–1996) snudde alt på hovudet. I den kjente boka *The Structure of Scientific Revolutions* (Kuhn 1970) som kom ut første gong i 1962 legg han fram eit *relativistisk* syn på vitskapen. Han bruker omgrepa "paradigme" og "normalvitskap" for å skildre vitskapleg aktivitet. Normalvitskap er det som går føre seg innanfor eit paradigme. Her finn ein faste, og som oftast uartikulerte reglar om kva som er viktige problem å arbeida med, kva som er ein adekvat metode for å undersøkje dette problemet, og kva som er ein akseptabel løysing på problemet. Eit paradigme kan bli avløyst av eit anna (td slik det heilosentriske verdsbiletet erstatta det geosentriske) gjennom ein vitskapleg revolusjon. Ein kan gjere framsteg innanfor eit paradigme, men eit paradigmeskifte inneber ikkje vitskaplege framsteg, bare eit skifte i måtar å sjå verda på. Det er dette som bryt mest med den tradisjonelle haldinga til naturvitskap. Å vere i to ulike paradigme er som å sjå verda på to ulike måtar og ein klarer ikkje å sjå begge samstundes: paradigma er inkommensurable. Ein kan ikkje seie at det eine paradigmet er betre eller sannare enn eit anna. Dette medfører til dømes at det ikkje går an å seie at Newton har meir rett enn Aristoteles i læra om krefter og rørsle. Ein bør heller leggje vekt på at dei passar inn i kvar sitt verdsbilete, kvar sitt paradigme[29].

Tanken om at vitskap er relativ, og ikkje objektiv og sann var attraktiv for mange. I løpet av 1970–åra voks det fram ulike grupper, spesielt rundt universiteta i Edinburgh og Bath, som greip fatt i ideen om at vitskapen er eit resultat av noko anna enn objektiv forsking. Dei ville studere den vitskaplege prosessen, det dei såg på som *konstruering* av kunnskap, og korleis interessene til forskarane spelte inn her. Dei utvikla eit program der hovudpoenget var å studere vitskapleg forsking sosiologisk, omtrent på same måte som ein sosialantropolog studerer ein framand kultur. Denne retningen blir ofte kalla sosial konstruktivisme[30]. Påstanden er at kunnskap er produkt av ulike sosiale faktorar og ikkje av objektiv forsking. "Knowledge for the sociologist is whatever men take to be knowledge" (Bloor 1976, s. 2). Sosial–konstruktivistar legg vekt på å forklare trua på ein teori ved hjelp av *eksterne* årsaker, td sosiale eller psykologiske årsaker, i staden for *interne* årsaker dvs vitskaplege bevis. Det finst mange ulike grader av sosial konstruktivisme.

29 *The Structure of Scientific Revolutions* gav mykje næring til sosiologiske tilnærmingar til vitskap, men Kuhn sjølv likte ikkje dette. I det meste han produserte etter denne boka prøvde han å gjeninnføre fornuften. Han foreslo bl.a. fem objektive kriterie for å velje eit paradigme framfor eit anna; "accuracy, consistency, scope, simplicity, and fruitfulness". Kuhn såg på paradigmeskifte som ei rasjonell affære. Dermed blir også normalvitskap rasjonelt, i og med at det kjem frå eit rasjonelt val av det beste paradigme. Paradigmelæra blir vanlegvis tolka annleis.

30 Mange andre namn har også blitt nytta bl.a. the Sociology of Scientific Knowledge (SSK), ofte oversett til vitskapsosiologi eller kunnskapsosiologi. "Vitskapstudier" er også eit omgrep som blir nytta. Eg vil også påpeike her at denne retninga er langt frå einsretta. SSK og sosial–konstruktivisme har blitt samleomgrep som dekker mange ulike haldningar. Eg vil ikkje gå særleg inn på dette her då eg ikkje finn det relevant for oppgåva.

5 REALISME OG KONSTRUKTIVISME

David Bloor, som tilhøyrte Edinburgh–skulen, kom i 1976 med boka *Knowledge and Social Imagery* som er blant dei viktigaste bøkene innanfor sosial konstruktivisme. Den inneheld metodiske ideal og prinsipp ein skulle følgje i den sosiologiske undersøkjinga av vitskapen. Dette kalla han "Det sterke program" og det bestod av fire viktige krav:

<u>Krav om kausalitet.</u> Ein skal prøve å finne årsakane som bringer fram kunnskap og trua på ein teori.

<u>Krav om nøytralitet.</u> Ein skal vere upartisk med omsyn på kva som blir rekna som sanne teoriar, mislukka teoriar, suksessfulle teoriar osv. Begge sider treng forklaring.

<u>Krav om symmetri.</u> Ein skal forklare teoriar som har vunne gjennom og teoriar som blir sett på som feil eller irrasjonelle *på same måte*.

<u>Krav om refleksivitet.</u> Argumenta må ikkje undergrave seg sjølv. I prinsippet må desse forklaringsmetodane også kunne brukast på sosiologien sjølv.

Det nye var at sosiologien nå fekk ei avgjerande rolle i *alle* område av vitskapen og ikkje bare i periferien. Ein realist vil lett kunne gå med på at sosiologi er viktig når ein skal forklare kvifor forskinga tar ei viss retning, kvifor ein bruker meir ressurser på eit spesielt område ol. Dette kan bli omtalt som "det svake program". Dette tillèt å fokusere på sosiale faktorar når ein skal forklare irrasjonelle vitskaplege haldningar, vitskaplege prioriteringar o.l., men ikkje når det gjeld sjølve innhaldet i vitskapen. Det sterke programmet er altså mykje meir omfattande, og dermed svært kontroversielt og omdiskutert. Her blir det påstått at vitskaplege fakta og kunnskap er sosialt konstruert. Me har alle eit utgangspunkt: ein utdanningsbakgrunn, eit livssyn, eit kjønn. Dette påverkar oss i arbeidet vårt, også innanfor naturvitskapen. Vitskap må derfor bli studert som ein sosial prosess. I det tradisjonelle synet på vitskapen ligg ein føresetnad om at det finst ei korrespondanse mellom vitskaplege teoriar og røynda. Sosial–konstruktivismen meiner at dette ikkje er noko ein kan ta for gitt, me har ingen openberr grunn til å tru at det finst ei slik korrespondanse.

Det er ikkje vanskeleg å seie seg einig i kravet om nøytralitet. Når ein skal skildre korleis kvarketeorien vann gjennom er det naturleg å ta med dei teoriane som måtte gi tapt på vegen. Kravet om symmetri er derimot svært kontroversielt og set fingeren på noko av det viktigaste i sosial–konstruktivismen. I boka *Who Rules in Science* (Brown 2001) bruker

James Brown følgjande døme for å vise kor radikalt dette kravet er[31]: Martha er sjuk. George trur at ho har influensa. John trur at ein gjeng marsbuarar har bortført ho, voldtatt ho og gjort ho gravid. Når me skal forklare kvifor George trur at Martha har influensa bruker me bevisa han har. Han har målt feberen, observert at ho har spydd og veit at ho har vore i kontakt med andre influensapasientar dei siste dagane. Men når me skal forklare trua til John vil me seie noko slikt som at John er litt mentalt ustabil, han har sett ein værballong som han har tatt for ein ufo osb. Dette vil vere ein asymmetrisk forklaring. Me har forklart trua til George utifrå fornuft og bevis, og John si utifrå psykologiske og sosiale årsaker. Dette er ikkje noko problem for folk flest. Me er vande med denne asymmetrien og syns dette er den mest fornuftige måten å angripe dette på.

Symmetrikravet bryt veldig med det tradisjonelle synet om at vitskapen er kumulativ og enten rett eller feil. Det følgjer av det sterke program at dersom me bruker sosiale faktorar på å forklare irrasjonelle meiningar må me også bruke det på rasjonelle meiningar. Tanken om at me vha vitskaplege bevis, fornuft og resonnering kan finne fram til dette "noko" som eksisterer i verda uavhengig av menneska blir avvist. Det finst ikkje slike bevis, det finst ikkje ein objektiv realitet, og me må derfor leite i andre typar forklaringar, først og fremst gjennom sosiologien.

Ein observasjon er ikkje nok til å avgjere kva teori som er rett i følgje sosial–konstruktivismen. Dersom eit eksperiment blir utført for å teste ein teori og gir dei svara ein søkjer, gir ikkje dette oss nokon garanti for at det ikkje finst ein annan teori som kan gi akkurat dei same svara. Det er alltid mogleg å skape fleire teoriar som kan forklare eit gitt sett av eksperimentelle data. Dette blir kalla "problemet med underbestemtheit". Teoriar er underbestemte med omsyn på bevis. Eit anna poeng som ligg til grunn for ei sosial–konstruktivistisk haldning er det Harry Collins[32] kallar "experimenters regress": gode resultat er dei som kjem frå gode laboratorium. Men gode laboratorium er dei som produserer gode resultat (Franklin 1998). Dermed har ikkje eksperimentalistane nokon formelle kriterium for

31 Eg vil påpeike at James Brown er skeptisk til dette kravet og at dømet han gir er litt farga av dette. Symmetrikravet kan bli framstilt på ein meir "sympatisk" måte. Til dømes brukte Einsteins relativitetsteori lang tid på å nå gjennom. Dersom me vil følgje symmetrikravet må me bruke same type forklaring for å forklare kvifor dei først ikkje godtok teorien, og for å forklare kvifor dei seinare godtok han. Her verkar det meir fornuftig å følgje symmetrikravet.

32 Harry Collins er ein viktig person i den sosial–konstruktivistiske tradisjonen. Han har blant anna studert aktiviteten rundt "gravitasjonsbølgjer", eit fenomen som viste seg å forsvinne ved nærmare forsking.

å avgjere om eit apparat fungerer skikkeleg. Altså kan ikkje eksperimentelle observasjonar dømme mellom teoriar. Forskarane *vel* kva teori dei vil tru på på grunnlag av sosiale faktorar. Sosial–konstruktivistane vil studere vitskaplege prosessar for å finne kva desse faktorane er, og korleis desse har gjort at vitskapen ser ut som han gjer i dag.

Såkalla "case"–studier er ein viktig del av denne forskinga. I 1971 skriv Paul Forman ein artikkel som kan sjåast på som ein slags start på sosial–konstruktivismen. Her tar han for seg veksten av kvantemekanikken i Weimar–republikken i tida etter første verdskrig. Han påstår at kvantemekanikken oppstod pga den mystiske, anti–mekanistiske tidsånda som var rådande i Tyskland på denne tida. Fysikarane skapte denne ikkje–kausale, ikkje–deterministiske teorien for å passe inn i tidsånda slik at dei kunne gjenoppnå sin høge sosiale status blant folk (Brown 2001). Det radikale nye her er påstanden om at det er sosiale interesser som styrer handlingane til fysikarane. Forman prøver å forstå vitskap i eit historisk lys, og utifrå sosiale faktorar i staden for empiriske bevis.
Bruno Latour og Steven Woolgar tar for seg ein annan episode i nyare vitskapshistorie. I to år studerte dei livet i eit laboratorium som oppdaga (eller konstruerte) hormonet TRH[33]. Dei observerte gjeremåla og metodane til forskarane som jobba der. Dette "felt–arbeidet" resulterte i boka *Laboratory Life* (Latour 1979). Her prøver dei å vise at det forskarane finn er ein konsekvens av det arbeidet dei gjer. Det er ikkje slik at dei avdekkjer noko som eksisterer "der ute" uavhengig av oss, dei vitskaplege fakta veks fram i sjølve prosessen. Boka undersøkjer dei ulike stega i denne konstruksjonen av vitskaplege fakta, og var eit pionerarbeid på dette området. Seinare har det kome mange slike studier. Pickering gjer noko tilsvarande i *Constructing Quarks* der han studerer historia til partikkelfysikken og opphavet til Standardmodellen.

Ofte er motivasjonen til sosial–konstruktivistar å setje spørsmålsteikn ved tilhøve som blir tatt for gitt. Feministar hevdar at kjønn er ein sosial konstruksjon. Poenget med denne påstanden er å få fram at mykje av det som blir rekna som "kvinneleg" har opphav i kulturen og ikkje er noko kvinner har i seg frå naturen si side. Dei fleste feministar meiner at etter at

33 Eit hormon som har innverknad på vekst, modning og stoffskifte hos menneska. Nobelprisen i medisin og fysiologi i 1977 blei gitt for oppdaginga at dette hormonet.

ein har innsett dette, bør ein prøve å forandre på dette for å frigjere kvinnene frå dei tradisjonelle haldingane til korleis ei kvinne skal vere. Motivasjonen for å hevde at noko er ein sosial konstruksjon er ofte, slik som i dette dømet, for å forandre eit område, og haldningane våre til dette (Hacking 1999, s. 6). Men det finst mange ulike grader av konstruktivisme. Pickering vil til dømes ikkje at me skal gå vekk i frå kvarketeorien og erstatte han med noko anna. Han vil bare påpeike at kvarkane er eit historisk produkt og at me også kunne ha kome fram til ein annan konklusjon. Ein viktig konsekvens av ei sosial–konstruktivistisk haldning er nettopp ideen om at vitskapen ikkje hadde trunge å sjå ut slik han gjer i dag. Han kunne ha utvikla seg i mange andre retningar. Ein representant for det tradisjonelle synet på vitskapen vil påstå at utviklinga ikkje kunne vore annleis. Popper meiner at vitskapen er upersonleg og uavhengig av personane som gjorde oppdagingane. Historisk kontekst spelar inga rolle. Pickering og sosial–konstruktivistane meiner det motsette. For å forstå ein teori må me studere historisk kontekst og sosiale forhold: "scientific knowledge has to be seen, not as the transparent representation of nature, but rather as knowledge relative to a particular culture, with this realitivity specified through a sociological concept of interest" (Pickering 1992, s. 11).

5.3 Andrew Pickering

Andrew Pickering har PhD både partikkelfysikk og i vitskapsteori (Science Studies), men det er mest i det siste feltet han har engasjert seg. Han er for tida professor ved Department of Sociology ved University of Illinois, og har vore ein viktig aktør og debattant innan vitskapsteori.

5.3.1 Sosial konstruktivisme

Den mest kjende boka hans, *Constructing Quarks* kom ut i 1984 og er ei framstilling av historia til partikkelfysikken sett med sosial–konstruktivistiske auge. Pickering har i denne boka gått detaljert inn i utviklinga til partikkelfysikken frå 1945 til 1984. Han studerer praksisen til vitskapsfolka, "the scientific practice", og ser på vanar, metodar, rutiner, skikk og bruk. Han meiner at det er viktig å skildre kva vitskapsfolka gjer og ikkje bare kva dei rapporterer. Som han sjølv skriv: "The aim of this history of HEP[34] has been to analyse the establishment of the new–physics world–view. I have sought to explain how particle physicists came to believe that the world was built from quarks and leptons and that the interactions of these fundamental entities were described by gauge theory" (Pickering 1984a, s. 403). Ein naiv realist vil seie at fysikarane trur på dette fordi det er slik verda er og fordi dei gjennom eksperiment har avdekt dei grunnleggjande kreftene i naturen. Pickering stiller seg svært kritisk til dette og leiter etter andre årsaker. Han plasserer seg dermed innanfor den sosial–konstruktivistiske tradisjonen, og i arbeidet med partikkelfysikk–historia kan det nok seiast at han følgjer det sterke programmet. "An image of experimenters and theorists in the production, rather than the discovery, of a congenial phenomenal world seems more appropriate" (Pickering 1984b, s. 115).

5.3.2 Pickering vs. tradisjonen

For å få fram poenget sitt betre set han si framstilling av historia opp mot den tradisjonelle framstillinga. (Han bruker omgrepet "scientist's account" om denne). I denne typen framstilling blir eksperimentet sett på som overordna teori. Eksperimentelle fakta dikterer kva teoriar som skal bli godtatt eller forkasta[35]. Denne oppfatninga vil Pickering utfordre. Eit problem ved denne framstillinga er at val av teori er underbestemt av empiriske data (som er forklart nærmare i kap. 5.2). Eit anna problem er at svært få eksperiment produserer utvetydige fakta. Det er ikkje rett fram å lese av data frå eit eksperiment. Det konkrete eksperimentalisten ser kan vere små prikkar, strekar, ei rekkje tal e.l. Dei data eit eksperiment gir må først tolkast før dei kan gi meining. Forståinga av eit eksperiment er altså avhengig av teori. Dette gjeld i høgste grad partikkelfysikk–eksperiment der observasjonane blir gjort svært indirekte, gjennom tolkning av ulike signal. Det må avgjersler gjort av menneske til for å avgjere kva som er bakgrunn og kva som er signal. Ei problemstilling han tar for seg er kvifor nokre målingar blir sett på som feilmålingar. For Pickering er dette langt frå uproblematisk. Det er i slike situasjonar fysikaren må ta eit *val*. I den tradisjonelle framstillinga av vitskapens historie blir ikkje slike avgjersler tatt med. Her ser det ut som om fysikaren blir tvinga av eksperimentet til å trekke dei konklusjonane han

34 HEP=High Energy Physics.
35 Tilsvarer det eg tidlegare kalla naiv realisme.

gjer.

Pickering meiner at det er dei vala fysikarene kontinuerleg må ta som til saman konstruerer det verdssynet me endar opp med. Derfor er det svært viktig å studere vitskaplege avgjersler. "This involved the recognition that scientists are genuine agents: doers as well as thinkers, constructers as well as observers" (Pickering 1984a, s. 405). Forskaren er ikkje lenger den objektive observatøren som me finn i den tradisjonelle framstillingen. "Philosophically, the key objection was that [the scientist's account] obscured the ever−present role of scientific judgements in the research process – judgements relating to whether particular observation reports should be accepted as facts or rejected, and to whether particular theories should be regarded as acceptable candidate explanations of a given range of observations" (ibid., s. 404). For å forstå desse vala må ein studere dei daglege gjeremål i vitskaplege miljø.

5.3.3 Retrospektiv realisme

Eit tredje problem ved den tradisjonelle framstillinga er at i denne ser ein *retrospektivt* på historia. Historia om kvarkane blir forklart utifrå at ein nå ser på dei som verkelege objekt. Observasjonar som tyder på at dei ikkje eksisterer blir sett på som feilmålingar, medan data som støttar det synet me har i dag blir presenterte som fakta. Teoriar som støttar dagens verdssyn blir framstilt som dei mest fornuftige, og eksperimentelle data tvingar fysikaren til å godta dei. Svært ofte er det ikkje slik det fungerer. Ved å ta utgangspunkt i det synet me har i dag, går ein glipp å finne ut korleis ting verkeleg skjedde og korleis vitskapsfolka til slutt blir overtyda om at td nøytrale straumar eksisterer. "If one is interested in how a scientific world−view is constructed, reference to its finished form is circularly self−defeating; the explanation of a genuine decision cannot be found in a statement of what the decision was" (ibid., s. 404). Pickering vil vise at vitskapsfolk er meir enn passive observatørar som avdekkjer naturen gjennom eksperiment. Han meiner at oppgåva til ein historikar er å studere handlingane til fysikarane, og ikkje oppbygginga til naturen. Det er derfor viktig å unngå det retrospektive synet, som ein får ved å ta utgangspunkt i det ein veit i dag og ikkje det ein visste då[36].

36 Vanen med å skrive vitskapleg historie i lys av det som nå er akseptert som reelt blei først påpeika av Thomas Kuhn (Pickering 1984a, s. 18).

5.3.4 Symbiosen mellom eksperiment og teori

Pickering tar for seg forholdet mellom teori og eksperiment, noko han skildrar som eit symbiotisk fohold. "This idea of the symbiosis of research practice, wherein the practice of each group of physicists constitutes both justification and subject matter for that of the others, will be sentral to my analysis of the history of HEP" (ibid., s. 10–11). Teoretikarane produserer teoriar som eksperimentalistane kan teste ut, og eksperimentalistane produserer data som teoretikarane kan tolke og lage teoriar av. I 1950–åra var det lenge slik at eksperimentalistane fann nye hadron og teoretikarane prøvde å forklara desse. Innføringa av "The Eightfold Way" gav meir balanse i denne symbiosen. Til dømes føresa teoretikaren Gell–Mann Ω^- som eksperimentalistane fann like etterpå. Ved hjelp av kvarketeorien kunne teoretikarane hjelpe eksperimentalistane med å finne energiområde der dei kunne påvise resonansar.

Pickering meiner at biletet av vekselverknaden mellom teori og eksperiment ofte blir framstilt altfor enkelt. Også her er det viktig å sjå på kva val fysikarane gjer. Forskingstradisjonar utviklar seg bare dersom forskarar tar eit val om at dei er viktige å sjå vidare på. For å studere denne dynamikken nærmare introduserer Pickering slagordet "opportunisme i kontekst".

5.3.5 Opportunisme i kontekst

"Opportunisme i kontekst" går ut på at alt må setjast inn i ein samanheng. Kva retning forskinga tar er avhengig av molegheitene ein får tildelt, dvs tilgjengelege ressurser i fysikkmiljøet. Desse finst i form av menneskeleg kunnskap (matematiske formalismer, teknikkar osv) og i form av materiellt utstyr (detektorar, datamaskinar osv). Dette er ein nyttig metode for å forstå slike val. "Scientific choice is in principle irreducible and open, but historically, options are foreclosed according to the opportunities perceived for future practice" (ibid., s. 405). Dette er lett å godta dersom ein ser på ein enkelt forskar som avgjer kva ho vil jobbe vidare med utifrå kva moglegheiter ho har. Men det er når ein ser på større grupper av fysikarar at ein kan dra meir interessanne og kanskje mindre opplagde konklusjonar. Store avgjersler blir tatt i grupper, det er mange som må bli einige. For å undersøkje strukturen til det Pickering kallar sosial produksjon av fakta, må ein altså sjå på dei ressursene miljøet deler. "I seek to explain the dynamics of practice in terms of the context within which researchers find themselves, and the resources which they have available for the exploitation of those contexts" (ibid., s. 11). Når det gjeld partikkelfysikk er dette enkelt fordi det meste av aktiviteten er konsentrert ved nokre få store laboratorium. Dette gjeld spesielt den eksperimentelle delen. Eksperimentalistane delte det same utstyret, altså dei same materielle ressursene. Når det gjeld teori blir dette vanskelegare fordi teoretikarane er spreidd over heile verda. For å utvikle teoriar treng ein bare blyant, papir og hjerne. Men det er likevel noko som framstår som den viktigaste ressursen som teoretikarane delte: analogien. Teoriar blir ofte laga som analogi til andre teoriar, i tidlege atommodellar brukte ein td solsystemet som analogi. I partikkelfysikken var det to hovudanalogiar som blei brukt i stor grad:

1) Samansette system: atomet er bygd opp av kjerne og elektron, kjernen er bygd opp av nukleon, nukleona er bygd opp av kvarkar. Samansette partiklar hadde ein jobba med lenge og tanken om å sjå hadrona som samansette system låg lett tilgjengeleg.

2) Kvantefelteori: gaugeteorien for sterk og svak kraft blei bygd opp som analogi til den allereie veletablerte QED.

På desse områda hadde ein tilgang til mykje ekspertise. Alle teoretikarane innan partikkelfysikk på denne tida var trente i å analysere samansette system, og i metodane og teknikkane i QED. "Analogy was not one option amongst many (as some authors have argued); it was the basis of all that transpired. Without analogy, there would have been no new physics" (ibid, s. 407). Ved å bruke analogiar kunne ein resirkulere metodar og utnytte allereie eksisterande ekspertise.

Ved hjelp av "opportunisme i kontekst" kan me sjå på tidlegare nemnde problem i eit nytt perspektiv. Ta til dømes problemet med feilbarheita til eit eksperiment: Alle eksperiment er i prinsippet feilbare, men dette kan ikkje ein eksperimentalist ta omsyn til. Han rapporterer om resultatet han har funne, og så er det opp til kollegaene om dei vil godta det *ut ifrå dei ressursene dei har tilgjengeleg*. Dersom ein teoretikar klarer å forklare eksperimentet teoretisk kan ein ikkje vente seg at verken han eller eksperimentalisten vil prøve å utfordre resultata frå eksperimentet.

Problemet med teoretisk underbestemtheit kan også bli sett på i lys av dette. Mange av dei moglege teoriane som kan forklare eit sett eksperimentelle data blir sett bort i frå. For at ein teori skal vere attraktiv må han kunne testast ut eksperimentelt, han må omhandle tema og teknikkar som andre fysikarar kan forstå og interessere seg i, han må gi nye forskingsområde osv. Det er altså andre kriterium som må oppfyllast enn at ein teori klarer å føreseie utfallet på eit eksperiment. "A choice which is impossible to make on purely empirical grounds can thus be straightforward when construed in terms of the dynamics of practice" (ibid., s. 13). Ved å studere dynamikken i den vitskapelege praksisen kan ein forstå kvifor teoriane våre ser ut som dei gjer i dag. "The scientific judgements, which in the scientist's account are retrospectively legitimated by reference to the reality of theoretical entities and phenomena, will here be related to the dynamics of contemporary practice. That dynamics will be analysed as a manifestation of opportunism in context" (ibid., s. 13).

5.3.6 Inkommensurabilitet

Pickering meiner at teorien til Thomas Kuhn om paradigme og inkommensurabilitet kan brukast på partikkelfysikk–historia. Han deler inn i lokal og global inkommensurabilitet. Den lokale ser ein dersom ein går inn på enkeltepisodar, td oppdaginga av nøytrale straumar, noko eg skal gjere i neste kapittel. Novemberrevolusjonen kan også brukast som døme på lokal inkommensurabilitet. Då J/ψ–resonansen dukka opp tok det ikkje lang tid før charmonium–modellen blei utvikla. Fysikarane trykka han til brystet sitt, og då D–mesonet (naken charm) til slutt viste seg blei kvarkane sett på som reelle partiklar. Pickering meiner at ein generell aksept av kvarketeorien ikkje var eit uunngåeleg resultat av november–revolusjonen. Mykje av grunnen til suksessen charmoniummodellen fekk var at analogien til atomfysikken gjorde han lett å forstå, og samtidig gav eksperimentalistane ein strategi for vidare forskning, sidan ein kunne bruke liknande metodar som då ein undersøkte positronium. "At no point, before 1976, or after, was charm proved to be right or its rivals wrong. The key to charm's success lay in the social and conceptual unification of HEP practice which was achieved during the November Revolution" (Pickering 1984a, s. 273). Mykje innsats blei lagd inn i jakta på D–mesonet. I midten av 1975 måtte SLAC publisere ein rapport om dei ikkje hadde funne spor etter denne mellom 4 og 7 GeV. Ein SPEAR–eksperimentalist uttalte: "Nobody understands it – just nobody understands it". Pickering sin kommentar til dette er: "Perhaps the easiest way to understand it would have been to recognise that the new particles were not manifestations of charm, but in the theoretical context of the time the experimenters did not find this an attractive option" (ibid., s. 268).

Den globale inkommensurabiliteten viser seg i inndelinga Pickering gjer av historia i "old physics" og "new physics", ny og gammal fysikk. Den gamle fysikken dominerer i 1960–åra. Her blir fokus sett på dei hendingane som er vanlegast, dvs hendingar med store spreiingstverrsnitt slik som resonansproduksjon ved låge energiar, mjuk spreiing ved høge energiar osv. Det han kallar den nye fysikken oppstod som ein perifer avdeling av fysikken i midten av 1960–åra og blei dominerande i slutten av 1970–åra. Denne er meir teori–orientert, ein legg meir vekt på å studere svært sjeldne hendingar slik som svak nøytral straum, hard spreiing osv. Pickering meiner det er store ulikskapar i eksperimentell praksis i ny og gammal fysikk. Detektorane i den nye fysikken blei programmerte til å filtrere ut fenomena frå den gamle fysikken. Teoriar frå den gamle fysikken hadde ingenting å seie om fenomena i ny og vice versa. "New–physics phenomena were invisible by default in mainline old–physics experiments. Old–physics phenomena were invisible by construction in new–physics experiments" (ibid., s. 410–411). Fordi dei forklarer ulike fenomen kan ein ikkje velje mellom teoriane, dei er inkommensurable og eksisterer i to ulike paradigme. "Each phenomenological world was, then, part of a self–contained, self–referential package of theoretical and experimental pracitce" (ibid., s. 411). Ein "vanleg" fysikar vil avvise tanken om at den gamle fysikken ikkje trong å bli erstatta av ein ny. Pickering påstår derimot at den gamle fysikken kunne heldt fram, det var ikkje uungåeleg at han slutta å vere fruktbar.

I følgje Kuhn skal eit slikt paradigmeskifte ikkje skje gjennom rasjonell tankegang, men gjennom revolusjon. Men overgangen frå gammal til ny fysikk foregjekk fredeleg og utan store opprør. Pickering forklarer dette med at alle fysikarar alltid er på jakt etter meiningsfull verd. I den gamle fysikken var dei fleste områda skilde frå kvarandre, partikkelfysikken var delt inn i mange grupper med lite til felles. "With the advent of the new physics, the conceptual unification of forces was accompanied by a social unification of practice" (ibid., s. 411). Nesten alle grupperingar innanfor partikkelfysikken vann på å gå over til den nye fysikken.

5.3.7 Vitskapen er kontingent

Pickering meiner at Standardmodellen er eit kulturelt produkt og at den historiske konteksten er svært viktig for korleis vitskapen har utvikla seg. Men han meiner ikkje nødvendigvis at kvarkane ikkje eksisterer. Han skriv ikkje om sanning og røynd, men om korleis teori og eksperiment påverkar kvarandre gjennom kompleks vekselverknad. Apparaturen og naturen oppfører seg ikkje alltid sånn me vil, det gir motstand og vitskapsfolk tilpassar seg denne motstanden. Dette kan gjerast på mange måter: ved forandring av teori, apparatur el. Dermed hadde ikkje teoriane trunge å sjå ut slik dei gjer i dag. Me kunne hatt ein annan suksessrik standardmodell, td ein utan kvarkar. Pickering meiner at vitskapen er kontingent, dvs at det aldri var absolutt nødvendig eller tvingande at han tok den retningen som han har tatt. Utifrå dette trekkjer Pickering følgjande radikale slutning: "..given their cultural resources, only singular incompetence could have prevented members of the HEP community producing an understandable version of reality at any point in their history. On the view advocated in this chapter, there is no obligation upon anyone framing a view of the world to take account of what twentieth−century science has to say. The particle physicists of the late 1970s were themselves quite happy to abandon most of the phenomenal world and much of the explanatory framework which they had constructed in the previous decade. There is no reason for outsiders to show the present HEP world−view any more respect" (ibid., s. 413).

5.4 Peter L. Galison

Peter L. Galison er professor i vitskapshistorie og fysikk ved Harvard University. Han har interessert seg for filosofiske og historiske spørsmål som oppstår når ein ser på rolla til eksperimentet i moderne fysikk. Han har fokusert på tre viktige element i fysikken og dette har resultert i tre bøker. <u>Eksperimentet</u> blir sett under lupa i *How Experiments end* (1987), i *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics* (1997) tar han for seg instrumentering, og i *Theory Machines* som han framleis jobbar med vil han studere teori. Han representerer ei ny vitskapsteoretisk retning som studerer vitskapleg praksis utan å trekkje same konklusjonar som Pickering & co.

5.4.1 Å avslutte eit eksperiment

I *How experiments end* vil Galison undersøkje kva som skal til for at eit sett eksperimentelle resultat blir tatt som bevis på eit nytt fenomen. Målet hans er "to analyze modern experiments on microphysics with sufficient detail to capture the debates and assumptions that lie behind the experimentalists' decisions that an effect 'will not go away'[37]" (Galison 1987, s. 13). Spørsmålet i tittelen på boka er eit viktig og nyttig spørsmål dersom ein vil studere vitskapleg praksis. For å finne svar på dette må ein studere ulike faktorar som teori, instrumentering, erfaring, kalkulering og sosiologi. "To understand how endings are constructed, we must narrow our historical gaze in order to identify the arguments, evidence, skills, and hardware that drive the investigators themselves to feel confident that they have gold in their pans, not pyrite" (ibid., s. 2).

I boka bruker Galison døme frå mikrofysikken. Døme frå denne delen av naturvitskapen er spesielt konstruktive sidan dette er fenomen som ikkje kan sjåast med det blotte auge. Det er meir komplisert å bli overtyda om at Z°–bosonet eksisterer enn om at ein magnet tiltrekker seg jernspon. I eksperiment i partikkelfysikk er det største problemet å klare å isolere signal frå bakgrunnstøy. Dette kan gjerast på ulike måtar, men verda er for kompleks til at ein kan ta med alle bakgrunnseffekter. Dermed går det ikkje an å setje opp nokre enkle reglar for kva tid ein skal setje strek. Det er bortkasta å leite etter ein universell formel som fortel oss kva tid me har gjort "ei oppdaging". Slike avgjersler blir likevel tatt. Eit eksperiment må avsluttast, og ved å leite etter argumenta som blir brukte i ei slik avslutting kan ein lære mykje om dynamikken i eit eksperiment. "Our task is...to look inside the laboratory to understand how teams of physicists mount a case for the existence of a process that takes place in a hundred–millionth of a second and looks like ten other processes" (ibid., s. x).

37 Speler på David Clines utsegn etter oppdaginga av nøytral straum: "At present I don't see how to make these effects go away" (Galison 1987, s. 235).

5.4.2 Kritikk av sosial konstruktivisme

Galison kritiserer den naive tanken om at eit eksperiment endar når dei relevante observasjonane er samla inn. Men han avviser også sosial konstruktivisme. Galison er einig i at det er andre argument enn rein observasjon som speler inn, men han meiner det blir for enkelt å påstå at eksperimentalistane styrer resultatet etter eigne interesser. Ein teori er ikkje så fleksibel at han kan tilpassast kva som helst. Eit anna viktig punkt som viser svakheiter i argumenta til vitskapsosiologane[38] er at eksperimentalistane og teoretikarane ikkje nødvendigvis utviklar seg saman. Teori og eksperiment utviklar seg ikkje i same tempo. Ulike delar av den vitskapleg kulturen utviklar seg i sitt eige tempo og i sin eigen stil. Ofte er det brot i den teoretiske tradisjonan utan brot i den eksperimentelle samstundes. Ein ser også ofte at eit eksperiment kan dekke over fleire teoriar. Galison meiner dessutan at føresetnadane som fysikarane tar med seg til eit eksperiment ikkje skal sjåast på som eit problem. Utan desse kan ein verken starte eller avslutte eit eksperiment. "Such commitments cannot all be optional, nor can they be treated as if they were distorting ’biases’. Rather they are the sine qua non of beginning an experiment–as well as ending it" (ibid., s. 4).

Teoretisk og eksperimentell kunnskap frå fortida speler ei viktig rolle i argumenta som til slutt overtyder eksperimentalistane. Galison stiller spørsmål om kva føresetnadar eit eksperiment byggjer på, og korleis dette påverkar eksperimentet. Kor mykje er den eksperimentelle historia avhengig av den teoretiske historia? Han meiner at "the truism that ’experiment is inextractable from theory’ or that ’experiment and theory are symbiothic’ is useless" (ibid., s. 245). Me treng eit kvalitativt betre bilete av forholdet mellom eksperiment og teori. Det må fange den delvise autonomien me finn hos begge, utan å antyde at dei aldri vekselverkar. Dette har blitt viktigare med åra pga den enorme veksten i skala som har vist seg, spesielt innanfor partikkelfysikk.

Han påpeiker at innan sosial–konstruktivismen har ein vore meir opptatt av kva måte teoretikarar bruker eksperiment, enn av sjølve prosedyrane til eksperimentalistane. Diskusjonar om eksperiment har svært ofte handla om korleis teoretikarar bruker

38 Det er dette uttrykket Galison bruker om Pickering og hans meiningsfeller, dvs dei eg har kalla sosiale konstruktivistar.

observasjonar. Svært få vitskapsteoretikarar har studert sjølve eksperimentet[39]. Galison meiner at dette ikkje er godt nok, ein må tilnærme seg dette temaet på nye måtar. Ein må studere sjølve eksperimentet, livet i laboratoriet. Det er ikkje bare tolking av data ein må stille spørsmål til, også oppsamling av data kan vere problematisk. Galison meiner at instrumentering er eit viktig felt i fysikken som det har blitt forska alt for lite på. "Only the first step towards this kind of history of instrumentation have been taken, but such an account is essential to provide a link between the goals of physics and the silent skills that constitute laboratory life" (ibid., s. 249). Me treng til dømes meir forsking på korleis teori blir bygd inn i instrumenta. "What is needed is something quite orthogonal to the antiquarian history of instrument that glorifies pure technique. The history of instruments that we need must be an archaeology that uses the material culture of science to unearth burried theoretical assumptions and experimental practices" (ibid, s. 252).

Publikasjonen til eit eksperiment gir bare eit delvis bilete av prosessen og argumenta som til slutt overtyder eksperimentalistane. Dei fleste detaljane blir utelatt her. Derfor må ein leite i alternative kjelder for å studere utviklinga i eit eksperiment. I moderne tid blir mykje av den viktige informasjonen gitt over telefon og han blir dermed ikkje lagra for ettertida. Tidlegare blei mykje av den vitskaplege aktiviteten dokumentert i brevveksling og dagbøker. Mangelen på dette gjer det vanskeleg å studere nyare eksperiment. Galison løyste dette med å leite i "project proposals, progress reports, circuit diagrams, blueprints, scanning records, administrative correspondence, report transparencies, even the archaeological remnants of the equipment stacked in the storage areas" (ibid, s. x). Det han fant mest nyttig var å studere referat frå konferansar. Han brukte også mykje tid på å leite etter "feila" som blir gjort. Ein historikar kan lære mykje om metodar og tankemåtar ved å studere eksperiment som blir sett på som mislukka, eller målingar som blir forkasta og stempla som feilmålingar. Desse står det som oftast ingenting om i sluttrapportane, men studier av slike kan hjelpe oss til å forstå eit eksperiment.

5.4.3 Føringar

For å studere historia på ein mest mogleg konstruktiv måte bruker Galison omgrepet

39 Dette har forandra seg dei siste tiåra.

føringar (eng: constraints). Han deler inn i tre typar av desse: long–, middle– and short–term constraints, som kan omsetjast med kortsiktige føringar, langsiktige føringar og føringar over mellomlang tid[40]. Ved hjelp av desse omgrepa kan me sjå nærmare på korleis tidlegare eksperimentelle og teoretiske tradisjonar leiar eksperimentalistane til det dei ser på som fornuftige avgjersler. Galison vil med dette prøve å lage eit språk som gjer det mogleg å diskutere teoretiske føresetnadar i eksperimentellt arbeid både i tilfelle der resultata blei akseptert og i tilfeller der dei blei forkasta. Dette er Galisons måte å unngå den tidlegare nemnde asymmetrien som ofte oppstår når ein skriv vitskapleg historie.
I *langsiktige føringar* inngår syn på naturen, kva ein ser på som målet med vitskapen o.l. Dette er ofte uartikulerte haldningar som blir overført gjennom undervisning i ein spesiell tidsepoke el. Konservering av energi og målet om å sameine naturkreftene er døme på langsiktige føringar. Ein finn også langsiktige føringar innanfor metode og eksperiment. For å kunne utnytte ekspertisen som blir utvikla i den eksperimentelle kulturen bruker me ein type instrument fleire gonger og over tid. *Føringar over mellomlang tid* er meir knytta til spesifikke institusjonar og personar, planar og mål, medan *kortsiktige føringar* legg retningslinjer for individuelle modellar og individuelle kjøringar av eit eksperiment. I partikkelfysikk–eksperiment gjeld dette til dømes kva modellar som blir brukte i kalkulering av bakgrunn, sortering av data ol.

Slike føringar er med på å avgjere kva retninga forskinga tar. På alle dei tre nivåa ligg det haldningar, forventningar og føresetnadar som vidarefører eller utelukkar ei retning. Galison meiner at ved å bruke det språket føringar gir oss kan me forklare handlingar som fornuftige, utan å snakke om ein vitskapleg metode som alltid gjeld. Dei tilbyr eit vokabular der vitskapleg praksis "neither [is] utterly divorced from its cultural context nor relegated to a mere puppet of other forces" (Galison 1995, s. 18). Føringane skaper og formar forskingsområde, dei gir struktur og retning. Dette plasserer Galison ein stad mellom naiv realisme og sosial konstruktivisme. Han meiner at sosiale og historiske faktorar speler viktige roller i naturvitskapen. Dei styrer ikkje alt, men legg føringar på kva veg forskinga tar.

40 Omgrepet "middle term constraints" skapte mykje hjernebry og "føringar over mellomlang tid" var det beste eg og språkkonsulentane mine klarte å presse fram.

5.4.4 Direkteheit og stabilitet

Sjølv om resultat i partikkelfysikken må gå gjennom mange ledd av teori og tolking før me ser kva dei tyder, impliserer ikkje dette ifølgje Galison at dei kan tøyast slik me vil ha dei. "[E]xperimental conclusions have a stubborness not easily canceled by theory change" (Galison 1987, s. 259). Denne "staheita" til eit resultat er avhengig av to storleikar: "the increasing *directness* of measurement and the growing *stability* of the results" (ibid., s. 259). Eit resultat er *direkte* dersom ein ikkje må gå gjennom mange mellomledd for å sjå kva det tyder. Fysikarane er til dømes svært nøgde når dei klarer å sjå "jets" frå partikkelkollisjonar, då dette er mykje meir direkte bevis på gluona og kvarkane enn formen på struktur–funksjonane og skaleringsbrot. Resultat kan også bli meir direkte ved at ein måler bakgrunn som tidlegare blei kalkulert, måler to effekter saman som tidlegare blei målt kvar for seg osv. Jo færre ledd jo betre. *Stabiliteten* til eit resultat ser ein ved å gjere forandringar i apparaturen. Nokre gonger fører dette til at signala forsvinn og dette kan tyde på at signalet hadde opphav i ein feil ved apparaturen, i programmet som blei brukt til å simulere bakgrunn e.l. Den beste måten å forsikre seg om at eit fenomen er reelt er ved å teste det på ulike måtar. Ved dei fleste eksperiment er det mange variablar ein kan forandre på, ein kan td bruke ulike typar detektorar eller ulik dataanalyse. Dersom dette ikkje forandrar på signalet er resultata stabile[41]. Det er stabiliteten og direkteheita til eit resultat som til slutt overtyder oss om at eit fenomen er reelt.

Sosiologiske faktorar speler inn på alle nivå av eit eksperiment. Men Galison meiner at dette *ikkje tvinger oss til å innta ei relativistisk haldning*. "The whole thrust of this book is to communicate that experiments are about the assembly of persuasive arguments, ones that will "stand up in court" by their exploration of the many articulated branches of trees of background causal relations" (ibid., s. 277). Ved å få meir og meir direkte og stabile resultat har me ikkje anna val enn å la oss overtyde. Argumentet for eksistensen av eit fenomen følgjer ikkje eit fast skjema, men blir sakte og sikkert bygd opp av grundige og varierte

41 Ian Hacking er ein annan vitskapsteoretikar som argumenterer på ein liknande måte: "If you can spray them then they are real". Når me bruker eit fenomen til å undersøkje eit nytt fenomen, må me betrakte det første som reelt. Men Hacking er opptatt av å kunne manipulere fenomen, manipulering ein måte å undersøkje stabilitet. For Galison er det derimot viktig med *både* stabilitet og direkteheit. Ved stor direkteheit er ikkje stabilitet (eller manipulering) så viktig (Galison 1987, s. 261).

eksperiment.

5.4.5 Vekst i skala

Galison påpeiker at det er viktig å studere konsekvensene av den enorme veksten i skala ein har sett i partikkelfysikken. Det billige utstyret i eksperimenta tidleg på 1900–talet gjorde det lett å variere parametrar. Dette gjorde også at små grupper kunne jobbe uavhengig av kvarandre. Forandringa som kom med dei nye maskinane var stor. Svært mykje penger er involvert og saman med den fysiske storleiken på apparaturen gjer dette dei vanskelege å variere. Ofte blir maskinar brukte til heilt andre formål enn det dei opprinneleg blei bygde til. Tida frå planlegging til publisering av eit eksperiment har blitt lang. Sjølve bygginga av akseleratorar og detektorar er ein enorm jobb som krever mykje tid. Maskinane er vanskelege å manipulere, det krever store mengder tid og ressurser for å justere eller omstille, og dette har medført at simuleringar er blitt ein del av eksperimentet. Nye og store eksperiment gir sjølvsagt betre, men også mykje større mengder av data. Pga dette er også dataanalysen etter sjølve eksperimentet blir svært viktig.

Veksten i skala har også ført med seg at samarbeid på tvers av institusjonar og landegrenser har blitt ein viktig del av eksperimenta. Dei fleste moderne partikkelfysikk–eksperiment er internasjonale samarbeid der ulike grupper ved ulike universitet tar seg av kvar sin del. Å få dette til å fungere er ei utfordrande oppgåve, og administrasjon blir dermed også ein viktig del av det heile. Nokre må ta dei store avgjerslene om kva retning eksperimentet skal ta, og forskinga blir med dette mindre demokratisk i forhold til den tida då ein kunne jobbe åleine eller i små grupper. Konferansar og møter speler også ei mykje større rolle enn før.

Å skrive partikkelfysikk–historie har altså blitt ein mykje meir komplisert aktivitet med åra. Ingen klarer å ha oversikt over alle område i eit eksperiment. Ein kan seie at det var Rutherford som oppdaga protonet, men på publiseringa av eksperimentelle bevis for W–bosonet står 135 namn. Det blir dermed også mykje vanskeligare for vitskapsteoretikarar å studere vitskapen. "We are faced with a new kind of historical phenomenon that must be accorded the multiple structures of a true and heterogenous community" (ibid., s. 275). Det er på grunn av alt dette me treng å sjå på vitskapen på ein ny måte. "The location and nature of these constraint clusters are changable: in the cosmic−ray physics of the 1930s, instrument makers and experimenters were in many instances one and the same; in particle physics during the 1980s, instrument makers, computer programmers, and experimenters often drifted apart into quasi−autonomous communities" (Galison 1995, s. 27−8). Vitskapleg aktivitet, særleg innanfor partikkelfysikken, har forandra seg mykje dei siste åra og vitskapsteoretikarane må følgje etter.

6 NØYTRAL STRAUM

Oppdaging av nøytral straum er ein viktig episode i partikkelfysikkens historie. Nøytral straum stadfesta Weinberg og Salams modell for elektrosvak vekselverknad og gjorde gaugeteori til standard teori innanfor partikkelfysikk. Både Pickering og Galison har gitt sine versjonar av denne hendinga i bøkene *Constructing Quarks* og *How Experiments End*. Dermed gir dette eit godt utgangspunkt for ei samanlikning. For å ha den nødvendige bakgrunnen til dette vil eg først gi ei meir detaljert framstilling av denne episoden (som er gjennomgått kort i kapittel 4.2.6).

6.1 Historia om nøytral straum[42]

Med 't Hoofts renormaliseringsbevis i 1971 eksploderte interessa for gauge–teoriar. Teoretikarane utvikla mange ulike gaugeteoriar for elektrosvak vekselverknad med kvanteteori som grunnlag. GWS–modellen frå 1967 blei tatt ut i sola igjen. Jakta på nøytral straum blei ein viktig del av testinga av denne og liknande teoriar. HWP–samarbeidet ved NAL og Gargamelle–samarbeidet ved CERN var som sagt dei viktigaste deltakarane i denne jakta. Begge desse laboratoria hadde jobba med nøytrinoeksperiment sidan tidleg på 1960–talet. Nøytrinoeksperiment er ein god måte å teste svak teori på fordi nøytrino er immune mot sterk og elektromagnetisk kraft.

Jakta på nøytrale straumar hadde i utgangspunktet låg prioritet både ved CERN og ved NAL. Mangelen på spor etter følgande sundfall:

$$K^{+} \rightarrow \pi^{+} + \nu + \bar{\nu}$$

blei lenge sett på som eit godt bevis på at nøytrale straumar <u>ikkje</u> eksisterte. Dermed såg ein ikkje det store poenget i å bruke tid og ressurser på nøytral straum. Ein hadde også leita etter spor frå nøytrale kaon som sundfall til myonpar via Z°, men dette fann eksperimentalistane heller ikkje. Glashow og Bjorken hadde i 1964 skrive ein artikkel der

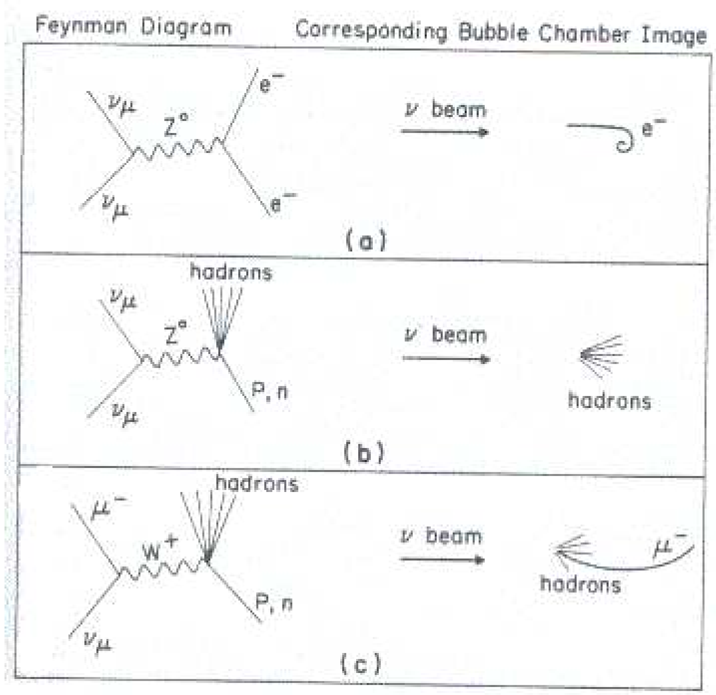
42 Hovudkjelda til dette kapittelet er kapittel 4 i *How Experiments End* (Galison 1987).

dei hadde foreslått at det fanst ein fjerde kvark, c−kvarken. Denne blei ikkje tatt omsyn til før i 1970, då Glashow, Iliopoulos og Maiani forstod at det var denne som undertrykka kaonsundfallet (GIM−mekanismen). Det skulle ennå gå ennå nokre år før denne mekanismen blei knytta opp mot GWS−teorien. Gargamelle og E1A−detektoren blei planlagd lenge før dette og hadde derfor andre mål i starten. Dei ville bl.a. teste rom−tid−strukturen til svak vekselverknad, leptonkonservering, elektron−myon universalitet, og dei ville leite etter W−bosona. Men pga renormaliseringen av gaugeteoriar blei nøytrale straumar aktuelle og nøytrinoeksperiment som Gargamelle og E1A stakk seg ut som dei beste stadane å leite.

6.1.1 Gargamelle – oppdaging av nøytral straum

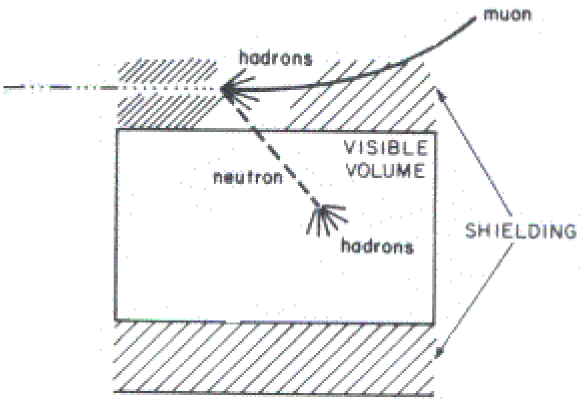
Figur 14 viser feynmandiagram og korresponderande boblekammer−bilete av tre hendingar: a) leptonsk nøytral straum slik "the Golden Event" var eit døme på (eg skal gå nærmare inn på denne hendinga seinare), b) hadronsk nøytral straum som viser seg i boblekammeret som ein hardon−spray, og c) ei ladd straum−hending, der det i tillegg til hadron−sprayen blir sendt ut eit myon. Omgrepet "ladd straum" blir brukt om hendingar som er formidla av ladde boson, dvs W^+ eller W^-. Det som skilde desse frå nøytral straum−hendingane var altså myonet. Seint i 1971 jobba teoretikarane ved CERN hardt for å overtyde eksperimentalistane om kor viktig det var å leite etter nøytrale straumar. Og dei lukkast. I april 1972 starta ei gruppe eksperimentalistar ved CERN å leite etter myonlause hendingar i nøytrino−nukleon−spreiing i Gargamelle. Dermed var jakta i gang.

Sidan starten på Gargemelle−eksperimentet i 1971 hadde myonlause hendingar blitt observerte og desse blei nå studerte grundigare for å sjå om dei kunne vere bevis for nøytrale straum. Denne type hendingar hadde blitt lagt merke til tidlegare, men ingen hadde tenkt at dette kunne vere spor etter Z°. Nå kom dei same observasjonane i fokus på ny, samtidig som Gargamelle produserte store mengder nye hendingar som måtte analyserast. Den vanskelege jobben var å fjerne bakgrunnseffektene. Mykje arbeid blei lagt ned i å utvikle gode metodar ein kunne bruke i utrekninga av slike effekter. Desse skulle trekkast ifrå den totale mengda med nøytral straum−kandidatar, og slik kunne ein finne ut om alle hadde opphav i bakgrunn eller om ein sat igjen med eit signal som kunne bevise eksistensen av nøytral straum.

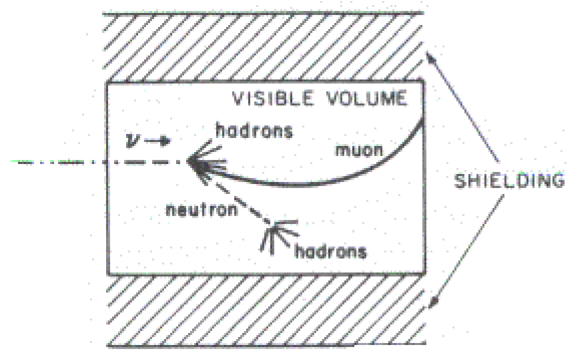


Figur 14 Nøytral straum

Den viktigaste av bakgrunnseffektene var nøytron frå materialet rundt boblekammeret (sjå figur 15). Når nøytrino treff dette materialet kan det bli produsert nøytron som tar vegen inn i boblekammeret. Desse nøytrona kan forvekslast med nøytrino sidan dei begge er nøytrale og dermed ikkje lagar spor i boblekammeret. I utgangspunktet blei to metodar brukte for å skilje nøytron–bakgrunnen frå dei eventuelle verkelege nøytral straum–hendingane. Den eine var å sjå på den romlege fordelinga av slike hendingar. Nøytrino har eit veldig lite tverrsnitt og vil vekselverke jamnt fordelt i boblekammeret. Nøytrona som vekselverkar med den sterke krafta vil vekselverke ganske snart etter at dei er komne inni boblekammeret. Ved å sjå på kvar nøytral straum–kandidatane plasserte seg kunne ein finne ut om dette var bakgrunn eller ei. Dette argumentet kunne brukast sidan Gargamelle var så stor, men ikkje på eldre og mindre kammer der nøytrona kunne rekke rundt i heile kammeret. Kandidatar til nøytral–straum–hendingar i tidlegare boblekammer blei derfor tilskrive denne bakgrunnen. Den andre metoden var å studere noko kalla "associated events" (AS) (sjå figur 16). Ei vanleg ladd straum–hending frå nøytrinostråla dannar hadronspray. Eit av nøytrona i denne kan vekselverke igjen til myonlaus hadronspray. Ved å studere slike kunne ein så bruke denne kunnskapen til å simulere oppførselen til nøytron frå veggane.



Figur 15 Falsk nøytral straum–hending.



Figur 16 "Associated Event".

Robert Palmer ved Gargamelle–samarbeidet jobba mykje med desse problema, og var ein av dei som tidleg blei overtyda om at nøytrale straumar eksisterte. Eg vil gå litt inn i nokre at argumenta hans for å vise døme på korleis fjerning av denne bakgrunnen blei utført. Han fann at kandidatane for nøytral straum fordelte seg jamnt i boblekammeret og kunne dermed bruke argumentet over om romleg fordeling. For å forsikre seg om at desse ikkje kunne ha opphav i nøytron frå utstyret rundt kammeret brukte han ein tilnærmingsmetode der han lot nøytrona vekselverke i materialet rundt boblekammeret på same måte som dei gjorde i boblekammeret. Når han trakk i frå desse sat han framleis igjen med eit overskot av verkelege nøytral straum–observasjonar. I tillegg brukte han eit anna argument med "associated events": når energien til ladd straum–hendingar auker kjem nøytrona ut i større grad i same retning som partikkelstråle–retninga. Derfor skal fleire av dei falske nøytral–straum–hendingane ha opphavet sitt (ladd straum) innanfor synleg del av boblekammeret for aukande energi. Dersom alle kandidatane for nøytral straum oppstod pga nøytronbakgrunn skulle forholdet AS/NC (NC=tal på nøytral straum–kandidatar) auke med energien. Men motsett, dersom kandidatane er ekte nøytral–straum skulle det avta. Dette fordi talet på nøytrino–vekselverknadar auker med energien, og fordi sannsynet for produksjon av nøytron som kan produsere falske hendingar avtar raskt ved energiar over 1 GeV. Palmer hadde ikkje skikkeleg datautstyr til å finne ut dette, men brukte enkle tommelfinger–reglar og sunn fornuft. Han kom fram til at forholdet avtok med aukande energi. Palmer var overtyda, men det same gjaldt ikkje kollegaene hans ved Gargamelle. Arbeidet hans var kontroversielt fordi han baserte kalkuleringane sine på få hendingar. Han fekk publisert ein artikkel i Physical Review og mange blei irriterte på han fordi dette ennå var usikre data. Metodane hans hadde mange sårbare punkt og dei fleste kjende seg ikkje komfortable med å publisera på eit så tidleg tidspunkt.

Dei fleste var likevel einige om at dette var eit fenomen som var viktig å sjå nærare på, og jakta på nøytrale straumar blei etterkvart eit av hovudmåla ved nøytrino–programmet ved CERN. Gargamelle–eksperimentet spydde ut enorme mengder data, og desse blei sendte til fysikarar rundt om i Europa for analyse. Ved sommaren 1972 var ein klar over fem bakgrunnseffekter som kunne skape problem:

1. Andre nøytrale partiklar enn nøytrino kunne komme inn i kammeret med nøytrino–stråla og vekselverke i kammeret.
2. Nøytron eller nøytrale kaon genererte i materialet rundt kammeret av nøytrino kunne komme inn i kammeret og vekselverke.
3. Nøytral kosmisk stråling eller nøytrale partiklar produsert av kosmisk stråling kunne vekselverke i kammeret.
4. Ladd straum–hendingar kunne produsere myon med lite energi som stoppa medan dei framleis var i væska, før dei nådde fram til myondetektoren, og derfor blei mistolka som hadron.
5. Nøytrale kaon kunne, ved å oscillere fram og tilbake mellom to formar inni kammeret, auke gjennomtrengningslengden utover det ein naivt forventa.

Dei fleste var einige om at kosmisk stråling ikkje burde bli tatt for mykje omsyn til, men elles la fysikarane ulik vekt på dei ulike argumenta og mange tilnærmingsmåtar blei prøvd ut med meir eller mindre hell.

I januar 1973 dukka "the Golden Event" opp. Dette kunne vere eit bevis for nøytrino–elektron–spreiing, noko som ville bevise eksistensen av nøytral straum. Biletet kunne tolkast som eit einsleg elektron, godt isolert og godt inne i det synlege område av Gargamelle. Dette eliminerte at det hadde opphav i eit foton sidan fotona sjeldan nådde så langt inn i kammeret. Elektronet hadde same retning som nøytrinostråla noko som tyda på at det var blitt truffe av ein partikkel frå denne stråla. Det hadde så høg energi at det ikkje kunne komma frå nøytrale hadron sendt ut frå ladd straum–hendingar, då desse hadde låg energi. Den mest aktuelle bakgrunnskandidaten var inverst betasundfall: $\nu_e + n \rightarrow e + p$ (protonet er ikkje sett på fotografiet, har blitt reabsorbert inn i kjernen). Nøytrinostråla i eksperimentet bestod av anti−myon−nøytrino, men det klarte alltid å lure seg inn nokre elektron−nøytrino. Dataanalyse og simulering viste at sannsynet for å få eit slikt elektron utan proton var veldig liten. Ein rekna også med at mengda av elektron−nøytrino som kom inn var svært liten.

"The Golden Event" førte til mykje større interesse for nøytrale straumar. Før denne hendinga dukka opp hadde bare små undergrupper jobba med nøytrale straumar, men etter dette blei jakta på nøytrale straumar prioritert i mykje større grad. Ein hadde også sett fleire hadronske myonlause hendingar, noko som også var med på å auke entusiasmen. Gruppa fekk utvida eksperimentet i Proton Synchrotron med nokre veker slik at dei skulle få fleire data og dermed kunne bli sikrare før ei publisering. Bakgrunnspøkelse lurte framleis i krokane og ein gjekk gjennom kvar einaste nøytral straum−kandidat svært detaljert for å utelukke alle moglegheiter for falske hendingar.
Stadig nye måtar å takle bakgrunnsproblema på blei presenterte. Antonino Pullia utvikla ein metode kalla "potensiell veglengd metode" (eng: potential path method) der han gjekk utifrå karakteristikken til reaksjonar i den synlege delen av kammeret. R. Baldi og Paul Musset kom fram til ein annan metode ved å gjere ei imaginær inndeling av kammeret til indre og ytre skal. Begge desse metodane gav som konklusjon at det var for mange nøytral straum−hendingar til at det kunne vere bare bakgrunn. Mange grupper fokuserte på å lage Monte Carlo−simuleringar. For å få data ut av desse måtte ein gjette på materiefordeling, nøytronenergi−fordeling, nøytron−vinkelfordeling og liknande parametrar som var meir eller mindre ukjende. André Rousset utvikla ein metode som var overtydande for mange. Gjennom simuleringar kom han fram til at mindre enn 20% av nøytral straum−kandidatane var bakgrunn.

William Fry og Dieter Haidt var blant dei mest skeptiske. Dei kritiserte Roussets metode. Denne metoden var svært avhengig av korleis ein modellerte dynamikken til nøytronet, noko ein ikkje hadde gode studier på. Ingen hadde undersøkt skikkeleg moglegheita for at nøytron kunne treffe ein kjerne, bli spreidd og så vekselverke igjen. I kollisjonen med ein kjerne kunne eit energirikt nøytron også sparke laust fleire nøytron og proton som igjen kunne spreie fleire gonger. Dette blei kalla ein nøytronkaskade, og denne kunne generere falske nøytral–straum–hendingar over ein "kaskade–lengde" som kunne vere lengre enn gjennomsnittleg vekselverknad–lengde. Dei fleste hadde sett bort frå dette problemet ved å bruke forenkla modellar av nøytrondynamikken. Fry og Haidt laga ein datamodell for dette som viste at bakgrunnen var vanskelegare å gjetta enn kollegaana deira trudde. Mange blei engstelege. Dersom Fry og Haidt hadde rett forsvann det gode gamle argumentet om romleg fordeling. Gjennom kaskader kunne nøytronbakgrunnen også fordele seg jamnt rundt i kammeret slik nøytrinoa kunne. Frå mai og fram til publisering i juli jobba Fry og Haidt hardt for å overtyde kollegaane om at utan å sjå på kaskade–kalkuleringar ville resultata vera ufullstendige.

Vekene før publisering var hektiske. Nye bakgrunnseffektar blei foreslått for så å bli tilbakevist igjen. "Using a plethora of approaches, techniques, heuristic arguments, prior data, theories, and models, the members of the collaboration persuaded themselves that they were looking at a real effect" (Galison 1987, s. 193). Det var altså ikkje eit enkelt argument, men mange som gjorde at ein til slutt blei overtyda og klar for publisering. I tillegg høyrte ein rykter om at den amerikanske gruppa var i hælane på dei tidleg i juli. 19. juli blei oppdaginga annonsert på CERN. Artikkelen som følgde (Hasert et al. 1973) inneheldt mange argument for at dette var ein reell effekt og ikkje eit resultat av bakgrunnseffekter:

– Romleg fordeling og energifordeling var lik for ladd straum– og nøytral straum–kandidatar. Dette ville vera overraskande dersom myonlause reaksjonar hadde oppstått pga noko anna enn nøytrino.

–Ved å bruke "potensiell veglengd"–analyse såg ein at vekselverknadslengd for både ladd straum– og nøytral straum–hendingar var konsistent med den virtuelle uendelege gjennomtrengningslengda til nøytrino.

–Ein hadde ekskludert moglegheita om at langsame myon kunne bli tatt for proton.

–Nøytrino og antinøytrino gav ulike NC/CC[43] forhold noko som ikkje var forventa dersom nøytral straum–kandidatane var eit resultat av nøytrale hadron.

43 NC = neutral current, mengd av nøytral straum–kandidatar. CC = charged current, mengd av ladd straum–kandidatar

–Nøytrale kaon var ikkje aktuelle sidan desse ville ha produsert lambda–partiklar som ikkje var sett.
–Monte Carlo–programma utelukka at det var kaskader som utgjorde nøytral straum–kandidatane.
–Roussets metode blei også nemnd i ein setning

Etter subtrahering av bakgrunnseffekter ga eksperimentet desse resultata:

$NC/CC_{\nu} = 0{,}21 \pm 0{,}03$

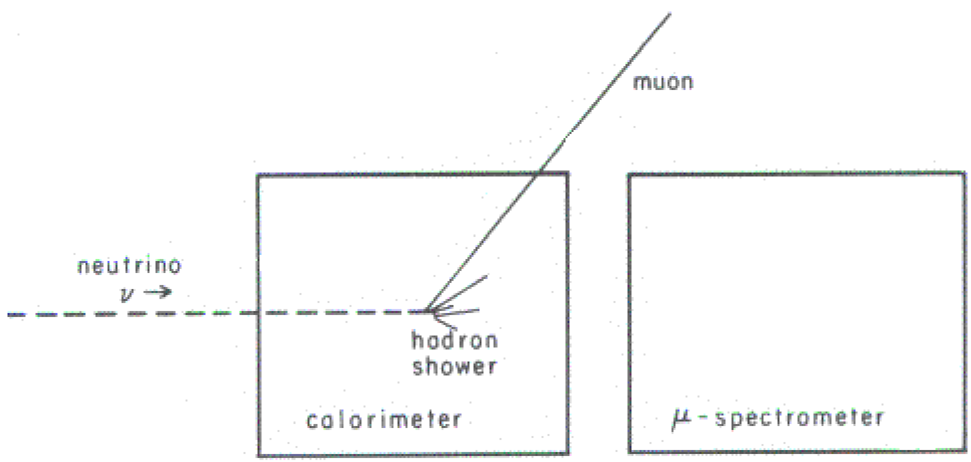
$NC/CC_{\bar{\nu}} = 0{,}45 \pm 0{,}09$

6.1.2 HWP – stadfesting av nøytral straum

I USA var det Weinberg som overtyda leiarane i HWP–gruppa ved NAL om at dei måtte leite etter nøytrale straumar. Det heile skjedde under leiing av Carlo Rubbia. Amerikanarane kom ikkje skikkeleg i gang med før hausten 1972. CERN hadde då allereie publisert data, men utan å konkludere med noko. Sjølv om den amerikanske gruppa hadde same mål som ved CERN, likna ikkje apparaturen. I staden for boblekammer satsa HWP–samarbeidet på ein elektronisk detektor. Desse registrerer bare det som er definert som interessante hendingar og avgrenser dermed arbeidet med sortering av data. Dessutan kan all informasjon behandlast elektronisk med datamaskinar noko som sjølvsagt går mykje raskare enn ved manuell behandling. Elektroniske detektorar kunne også vere større enn boblekammer, noko som gav større målmasse (eng: target) og dermed fleire hendingar på kortare tid. I tillegg opererte NAL med mykje høgare energiar og dei klarte derfor snart å ta igjen forspranget til CERN.

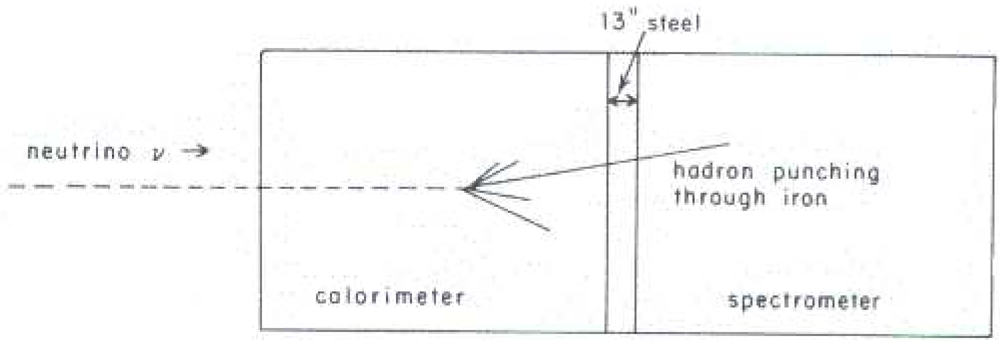
Sjølve utforminga på den opprinnelege apparaturen for nøytrinoeksperiment ved NAL var slik at dei ikkje kunne oppdaga nøytral straum. Apparaturen bestod av ein framdel som registrerte hadron og ein bakdel som registrerte myon. Dei logiske kretsane var utforma slik at dei registrere ei hending bare når ein partikkel trengde gjennom eit tjukt jernstykke inn i myonspektrometeret. Nøytral straum–hendingar er som sagt myonlause hendingar og kunne dermed ikkje oppdagast i denne apparaturen. Gruppa fann ut at den nødvendige omstillingen verka mogleg utan for mykje forandring på apparaturen. Elektronikken blei gjort om slik at detektoren ville reagerere enten når hadronenergien var over eit visst minimum, eller når eit myon trengde inn i myonspektrometeret. Dermed kunne apparaturen brukast i jakta på nøytral straum.

Nøytronbakgrunnen spelte ei mindre rolle i E1A–detektoren sidan kunne nå høgare energiar, men problemet med "escaping muons" (sjå figur 17) dukka opp. Apparaturen var tynn og lang og myondetektoren klarte derfor ikkje å detektere alle myona. Nokre av dei stakk nemleg av til sidene før dei nådde fram til myondetektoren. Eksperimentet registrert dermed for mange myonlause hendingar. For å rekne ut dette bidraget blei det brukt Monte Carlo–simuleringar og desse viste at sjølv om ein trekte frå dette bidraget hadde ein data som viste nøytral straum. Arbeidet med ein artikkel starta og då ein høyrde ryktene frå CERN førte dette til ein hektisk aktivitet i laboratoriet. Rubbia skreiv eit brev til Andrè Lagarrigue ved CERN der han spør om han skal nemne deira resultat i sin artikkel og vice versa. Han blir høflig avvist, CERN hadde nå moglegheita til å vere først og ville benytte denne. Artikkelen frå HWP–gruppa blei levert til Physical Review Letter 3. august 1973, men kom ikkje på trykk før i april året etter pga følgjande episode:



Figur 17 Myon som stikk av til sidene før dei når fram til myondetektoren.

Mange var ikkje nøgde med bevisa, særleg Monte Carlo–simuleringane blei kritiserte. Fleire og betre simuleringar blei gjort i tida som følgde, og gruppa ville også teste empirisk forhold som tidlegare var blitt simulert. Ved å gjera visse forandringar på detektoren og kjøre eksperimentet på nytt kunne ein fange opp myona som tidlegare hadde stukke av til sidene. I dei tidlegare resultata hadde storleiken på dette bidraget rekna ut vha simuleringar. I modifiseringa av detektoren inngjekk bl.a. utskifting av eit tjukt jernskjold med eit mykje tynnare. Det viste seg at akkurat denne operasjonen gav svært alvorlege konsekvenser: nøytral−straum−signalet forsvann! Hadron som før hadde blitt stoppa i jernskjoldet kunne nå trengje gjennom til myonspektrometeret (sjå figur 18). Der blei dei registerte som myon og dette skapte dermed falske ladd straum−hendingar.



Figur 18 Hadron trengjer gjennom til myondetektoren

Det skulle ta to månadar før fysikarane innsåg at det var utskiftinga av denne delen som var årsaken til at signalet forsvann. Problemet var at ein ikkje visste nok om korleis sterkt vekselverkande partiklar trengde gjennom materie. Slike gjennomtrengjande hadron hadde ikkje vore noko problem tidlegare og derfor tok det lang tid før ein fann ut av det. I tillegg blei Monte Carlo−simuleringa dei tidlegare hadde brukt utsett for massiv kritikk. Ved midten av november blei HPW−gruppa meir og meir sikre på at dei ikkje lenger hadde bevis for nøytrale straumar og starta på ein ny artikkel til Physical Review Letters.
Gargamelle−gruppa fekk høyre om dette og blei sjølvsagt svært stressa. Dei kjørte nye testar, men hos dei blei signalet verande. Men også her oppstod forvirring. Jack Steinberger som jobba ved CERN, men som ikkje var medlem av Gargamelle−samarbeidet publiserte sine eigne Monte Carlo−simuleringar som viste at ein stor del av nøytral straum−hendingane ein hadde funne i Gargamelle likevel kunne tolkast som nøytronbakgrunn.
Ved NAL begynte dei etterkvart å estimere bidraget frå gjennomtrengjande hadron som viste seg å vere høgare enn venta. Lawrence Sulak utvikla ein god metode for dette i slutten av november. Ved stadige forbetringar av denne og andre metodar steig dette bidraget meir og meir. Dei nøytrale straumane viste seg igjen og etterkvart som simuleringane blei betre lot fleire og fleire seg overtyde. Resultata blei sjekka og dobbelsjekka. I april 1974 publisert

dei den opprinnelege artikkelen frå 1973 (Benvenuti et al. 1974) og snart etter artiklar med dei nyaste resultata frå den modifiserte detektoren (Aubert et al. 1974). Artikkelen som omhandla ikkje–eksistens av nøytrale straumar blei aldri publisert. Nøytrale straumar var gjenoppstått frå dei døde. Mange eksperiment gjenstod, men eksistensen av Z° var sikra.

6.2 Pickerings versjon

Prosessen med å skilje nøytral straum–signalet frå bakgrunnseffektene var alt anna enn rett fram, den kan verke vilkårleg og full av gjettingar. Den kan derfor støtte teorien til Pickering om at kva teori som til slutt vinn fram er empirisk underbestemt. Fysikarane må gjere eit val, dette valet er ope og har meir å gjere med sosiale forhold enn med direkte observasjon av naturen.

I den tradisjonelle framstillinga av denne historia blir det tatt for gitt at nøytrale straumar eksisterer. Historia som blir fortalt blir prega av dette. Eksperimentet blir behandla som ein uproblematisk observasjon av verda og som uavhengig av teori. "How should the relationship between the experimental discovery of the weak neutral current and the development of the unfied electroweak gauge theory be conceptualised? In the archetypal 'scientist's account', the former would be seen as an unproblematic observation of the state of nature and an independent verification of the latter" (Pickering 1984a, s. 188). Pickering meiner at dette fører til ein tar for gitt vitskapleg praksis som eigentleg er problematisk. Ein historikar skal ikkje avgjere kva som er relle fenomen, men studere kva som hendte og kva fysikarane gjorde. Pickering hevdar at den beste måten å fortelje fysikk–historie på er ved å sette praksisen først, og *ikkje* fenomenet. "I argue that the reality of the weak neutral current was the *upshot* of particle physicists' practices, and not the reverse" (Pickering 1984b, s. 87). Dette er så viktig for han å få fram at det blir overskrifta til ein artikkel han skriv om oppdaginga av nøytrale straumar: "Against putting the phenomena first" (Pickering 1984b). Her argumenterer han for at observasjonsrapportane som kom frå CERN gjennom 1960– og 70–åra var basert på tolkningsprosedyrer som var pragmatiske og diskuterbare. Fysikarane måtte *velje* kva prosedyrer og resultat dei ville akseptere eller avvise. Han vil vise at det er stor forskjell på tolkningsprosedyrer i 1960–åra og i Gargamelle–eksperimenta, og at dette har innverknad på eksistensen av nøytrale straumar.

Den teoretisk modellen ein hadde for svak vekselverknad på 60–talet var V–A teorien. Denne inneheldt bare ladde straumar. Så starta nøytrinoeksperimenta ved NAL og CERN. Resultat frå desse eksperimenta gjennom 60–åra blei tatt som stadfesting av V–A teorien. Eksperimentalistane gjorde då mange nøytral straum–observasjonar, men såg på desse som nøytronbakgrunn. Faktisk blei alle nøytrale hendingar utan lepton (altså kandidatar til nøytral straum–hendingar) rekna som nøytronbakgrunn. Desse hendingane blei brukt i måling av nøytronbakgrunnen, og på grunnlag av desse rekna ein ut tverrsnittet til ladd straum–hendingar. Fysikarane stolte på fenomenet, dei hadde som utgangspunkt at nøytrale straumar ikkje eksisterte, og med slike tolkningsprosedyrar var det sjølvsagt umogleg å oppdage nøytral straum.

E.C.M. Young kalkulerte i sin PhD i 1967 forventa fluks av bakgrunnsnøytron i eksperiment utført ved CERN 1963–65, og fann at ikkje alle nøytral straum–kandidatane kunne tilskrivast nøytronbakgrunnen. Han fekk omtrent same resultat som seinare blei rapportert frå CERN. "In 1967, however, the apparent neutral–current signal was ascribed to some shortcoming of Young's calculations rather than to the existence of a new phenomena" (Pickering 1984a, s. 191). Ved Gargamelle blei det fleire år etter brukt ein oppdatert versjon av kalkuleringane til Young for å estimera nøytronbakgrunnen, og på denne tida blei prosedyren akseptert sjølv om han ikkje hadde blitt det i 67. Ein diskuterte altså bakgrunnsproblema også i samtida, men fysikarane sette fenomenet først: nøytrale straumar eksisterer ikkje. I dei første nøytrinoeksperimenta ved NAL var designen faktisk slik at ein ikkje kunne oppdage nøytrale straumar. For å få eit "reint" nøytrinosignal stilte dei detektoren inn slik at han bare registrerte hendingar der myon blei produserte. Ved å påpeike dette vil Pickering vise korleis praksisen på 60–talet utelukke eksistensen av nøytral straum. Medan dei ved CERN kategoriserte slike hendingar som bakgrunnseffekt, blei nøytral straum ved NAL utelukka pga sjølve utforminga av detektoren.

6 NØYTRAL STRAUM

Så kom Gargamelle. Pga renormaliseringa av GWS−teorien hadde nøytrale straum nå ein heilt annan status. Tidleg i 1972 starta arbeidet med analysering av Gargamelle−film og i juli 1973 kom publiseringa. Gjennom ulike Monte Carlo−simuleringar hadde dei (tilsynelatande) klart å kvitte seg med bakgrunnsproblema. Pickering vil vise at desse resultata var sårbare på mange punkt. Bevisa var ikkje tvingande på nokon måte. Også innanfor Gargamelle−samarbeidet var mange klar over dette. Mykje kritikk blei retta mot simuleringane. Pickering presenterer fire argument for at simuleringane var usikre:
1) Dei visste ikkje nok om innkomande nøytrinostråle, denne kunne bare målast indirekte.
2) Sannsynet for produksjonen av nøytron frå nøytrino var ukjent og blei estimert.
3) Dei relevante parametrane for vekselverknaden til nøytron og proton med atomkjernar var ikkje funne eksperimentelt. Dei blei derfor utleia frå eit avgrensa sett av målingar av proton−proton−kollisjonar der ein brukte ein veldig enkel modell av kjernen.
4) I kalkuleringane blei det brukt ein idealisert geometri for apparaturen. Store uventa effektar i partikkelfysikken har ofte oppstått pga at ein ikkje har tatt hensyn til tilsynelatande uviktige detaljer i konfigurasjonen til utstyret.
I tillegg til dette, dersom ein nå skulle sjå på punkta ovanfor som uproblematiske, må ein også ta med den ekstremt komplekse numeriske utrekninga som ligg skjult i simuleringen, innpakka i kode og utilgjengeleg for alle.
Denne kritikken er ikkje einestående for akkurat dette eksperimentet, det var vanleg å gjera slike tilnærmingar og "gjettingar" i partikkelfysikk−eksperiment. Pickering vil vise at mange av desse kan stillast spørsmål ved. Innanfor miljøet var ein også klar over at Monte Carlo−simuleringane kunne kritiserast på mange punkt. Det som førte til at dei til slutt avgjorde at tida var komen for publisering var, ifølgje Pickering, at gruppa fekk vite at amerikanarane snart var klare, og ikkje at dei følte at dei på dette tidspunktet hadde sikre observasjonar.

Vinteren 73 forandrar NAL på apparaturen og dei nøytrale straumar forsvinn. I tillegg set nye simuleringar gjort av Steinberger Gargamelle−resultata i dårleg lys. Amerikanarane finn så etterkvart ved hjelp av Monte Carlo−simuleringar at dei likevel har bevis for nøytrale straumar. Dette medfører også at debatten om simuleringane til Steinberger tar slutt. Det kjem ikkje fram nye overtydande simuleringar som viser kva som er feil i Steinbergers simuleringar, det er resultata frå NAL som avslutter debatten. Men også ved NAL var mange diskuterbare simuleringar brukte. "The American experimenters were thus obliged to copy their European counterparts in making ’reasonable’ assumptions and theorethical extrapolations from what little was known" (Pickering 1984b, s. 104).

Det Pickering vil vise med denne historia er at før ein kan godta fenomenet må ein godta metodar, praksis, framgangsmåtar og tenkemåtar. "Assent to the practices implied assent to the existence of the weak neutral current, but any physicist dissenting from the latter could quite legitimately question the former. Interpretative practice and natural phenomenon stood and fell together" (ibid., s. 97). Dersom ein aksepterte simuleringane av "escaping muons" og "punchthrough hadrons" kunne ein konkludere med at nøytrale straumar eksisterte. Men desse prosedyrene var ikkje uproblematisk. Mange av metodane kunne setjast spørsmålteikn ved og dette gjorde fysikarane også i samtida. Likevel konkluderte dei med at nøytrale straumar eksisterer, og gjennom denne konklusjonen aksepterte dei også Monte Carlo−simuleringane som fjerna bakgrunnen frå signalet. Dette er grunnlaget Pickering har for å hevde at nøytral straum er empirisk underbestemt. Ingen av argumenta var absolutt pressande, fysikarane måtte ta eit val.

I ettertid har mange påpeika at bevisa for nøytrale staumar var der heile tida, også før Gargamelle. Eksperimentalistane hadde bare ikkje tolka resultata rett. Men kvifor såg ein dei ikkje ved eksperimenta i 1960−åra? Her kjem påverknad av teori på eksperiment inn. Teoretikarane begynte å snakke høglytt om nøytrale straumar i 1971. Pga renomaliseringsbeviset til ’t Hooft blei GWS−modellen sett på med nye auge. V−A teorien var ikkje−renormaliserbar, og teoretikarane foretrakk derfor GWS−modellen. Denne hadde blitt meir eller mindre ignorert i starten, men ’t Hooft forandra situasjonen totalt. Nå var GWS−modellen ikkje lenger bare ein fin matematisk modell, men også ein potensiell realistisk teori for svak vekselverknad. GWS−modellen var ulik V−A teorien ved at han krevde eksistens av nøytrale straumar og derfor blei jakta på desse så viktig på dette tidspunktet. Teorien førte til at tolkningsprosedyrene forandra seg slik at ein kunne finne nøytral straum.

Pickering meiner at den beste måten å forstå prioriteringane fysikarane gjer, er ved å studere symbiosen mellom eksperiment og teori. I 1971 heldt gaugeteoretikarane ved teoriseksjonen i CERN ein presentasjon for eksperimentalistane der dei påpeikte kor viktig det var å leite etter nøytrale straumar. I USA var det Weinberg som måtte overtale gruppa ved NAL. Det var altså press frå det teoretiske miljøet som avgjorde. Kvifor blei så desse usikre simuleringane godtatt? "The answer is simple: the various simulations and estimates implied the existence of the weak neutral current which was, in the early 1970s, a most socially–desirable phenomen" (ibid., s. 109). Nøytrale straumar var eit fenomen som gav teoretikarane "justification and subject matter for their practice" (ibid., s. 111). Det same gjaldt for eksperimentalistane. Eksistensen av nøytrale straumar var det beste argumentet for at det fysikarane hadde heldt på med så lenge var fornuftig og seriøst arbeid. Samtidig gav dette mykje å jobbe med i framtida. Svake nøytrale straumar blei akseptert pga moglegheitene dei gav i framtidige eksperimentell og teorietisk praksis i partikkelfysikk. "As a real phenomenon, the weak neutral current was a bonzana[44] for the theorists an experimenters alike and the acceptance of novel interpretative practices was a small price to pay" (ibid., s. 112). For at ein skulle kunne godta nøytral straum må ein godta simuleringane. Fysikarane godtar desse fordi eksistensen av nøytral straum gir dei mykje å jobba med framover, dette er den mest ønskte teorien pgs sosiale forhold. Pickering meiner at "[i]t is hard to see the work of either group [Gargamelle og HPW] as a direct and unproblematic observation of the state of nature" (Pickering 1984a, s. 193).

Historia kan ifølgje Pickering delast inn i to stabile periodar med ein turbulent imellom. Frå 1960–åra til 1971 er ein stabil periode der nøytrale straumar ikkje eksisterer. Etter 't Hoofts bevis oppstår ein turbulent periode med disharmoni mellom eksperiment og teori. "Theorists found themselves articulating models referring to phenomenas which seemed to have no experimental counterparts" (ibid,. s. 186). Frå midten av 1973 går me igjen inn i ein stabil periode med harmoni mellom teori og eksperiment, og eksistens av nøytrale straumar. Her er tolkningspraksisen for nøytrinoeksperiment forandra og eksperimenta viser at nøytrale straumer eksisterer. "[E]xperimental practice and natural phenomena are inextricably bound together; assessment of one is ultimately an assessment of the other" (Pickering 1984b, s.

44 Opprinneleg Murray Gell–Mann sine ord:" The proposed [electroweak] models are a bonzana for experimentalist" (Pickering 1984b, s. 111).

113). Vitskapleg praksis består av ein kontinuerleg prosess av prioriteringar eksperimentalistar må gjera om å utføre eit eksperiment framfor eit anna, og for teoretikarar om å utvikle ein teori framfor ein annan. Vurderingane blir gjort på grunnlag av tidlegare erfaringar og framtidige mål. "Once more particle physicists had in hand the required tools – experimenters their neutrino detectors and interpretative practices; theorists their electroweak gauge theories–to proceed in a socially–constructive manner in a phenomenal world which now included the weak neutral current" (ibid., s. 114). Tidlegare erfaringar blei altså brukt som ressurser. Område som ein allereie hadde ekspertise i og eksperimentelt utstyr for, blei foretrukke.

Historia om nøytrale straumar er for Pickering eit godt døme på lokal inkommensurabilitet. Når det gjeld eksistensen av nøytral straum kan ein sjå på 1960–åra og 1970–åra som to paradigme. I 1960–åra brukte dei ein praksis som førte til at nøytral straum blei ikkje–eksisterande, og ein teoretisk tilnærming, V–A teori, som heller ikkje inneheldt anna enn ladde straumar. Men i løpet av 1970–åra blei mykje arbeid lagt ned i elektrosvak teori, GWS–modellen. Det voks også fram ein ny eksperimentell praksis, nøytrinoeksperiment. Saman førte dette til at nøytral straum blei eksisterande. Tolkningsprosedyrene er ulike i desse to paradigma. I begge periodane stadfesta eksperimenta teorien og omvendt. Ingen av praksisane var totalt overtydande, begge var opne for motargument. Derfor meiner Pickering at fenomenet og praksisen er heng saman, og at nøytral straum er empirisk underbestemt. Det var ikkje eintydige og klare bevis som gjorde at dei nå er ein del Standardmodellen, men ei komplisert prosess der symbiosen mellom teori og eksperiment var eit viktig element.

6.3 Galisons versjon

Galison finn også at historia om nøytral straum er konstruktiv for å lære korleis vitskapleg praksis fungerer, men har eit anna utgangspunkt enn Pickering. Målet hans er å forklare kvifor det var pressande og fornuftig for fysikarane å godta nøytral straum som eit reelt fenomen. Galison meiner ein må sjå på kva føringar som eksisterte i det gjeldande tidsrommet for å forklare kvifor historia blei som ho blei. Ved å leite etter kortsiktige og langsiktige føringar, og føringar over mellomlang tid blir det lettare å forstå kvifor forskarane har tatt avgjerslene som fører fram mot oppdaginga av nøytral straum.

Under langsiktige føringane kjem detektor–tradisjonar. På denne tida fanst det to slike tradisjonar i partikkelfysikk–eksperiment: visuelle og elektroniske detektorar. I Europa var det dei visuelle som var vanlegast. Gargamelle var eit døme på dette. I USA var elektroniske (også kalla logiske) detektorar meir brukte. Dette gjeld også E1A–detektoren. Elektroniske og visuelle detektorar har kvar sine ulemper og fordelar. Dei frå den visuelle tradisjonen mistenkte at skjulte effekter kunne verke i elektriske detektorar, medan dei frå denne tradisjonen var vande med å stola på store mengder observasjonar, og forstod ikkje at ein kunne leggje så mykje vekt på "Golden Events". Kva som tel som eit bevis forandrer seg over tid og frå tradisjon til tradisjon. For dei som kom frå den elektroniske tradisjonen var det utenkeleg å leggje så mykje vekt på eit enkelt fotografi, at dette eine biletet kunne bevise eksistensen av nøytral straum. Men for mange frå den visuelle tradisjonen var "the Golden Event" det avgjerande beviset.

Føringar over mellomlang tid er knytta til spesifikke institusjonar og instrument. Her er det viktig å sjå på korleis teoretiske føresetnadar inngår i utforming av eksperimentelt utstyr. Apparaturen har alltid innebygd teori i seg. Eit mikroskop inneheld til dømes teori om korleis lys blir brutt i linser. Apparaturen i dei tidlege HPW–eksperimenta viser dette tydeleg. Her var detektoren stilt inn slik at han bare registrerte hendingar med myon. Dette var ein god måte å undersøkje prosesser med ladd straum, men det utelukka at ein kunne finne nøytral straum. "Thus the mashine itself carried the material embodiment of earlier theoretical presuppositions" (Galison 1987, s. 252). Men sjølv om ein i konstrueringa av ein detektor har baktankar om kva teori ein gjerne vil verifisere, kan ikkje eksperimentalisten styre resultata. "[T]he shaping of a device, procedure, or analysis in the framework of one theory does not so constrain experiment as to preclude the destruction of an original expectation" (ibid., s. 252). Omforminga av detektoren *garanterte* ikkje på nokon måte at eksperimentalistane skulle finne nøytral straum.

6 NØYTRAL STRAUM

Modellane Gargamelle−gruppa laga for å rekne ut nøytronbakgrunnen er døme på kortsiktige føringar. Gargamelle−eksperimentalistane måtte td modellere korleis nøytron trengjer gjennom materie. Dei hadde ikkje oversikt over kva fysiske lovar som gjaldt, men brukte dei eksisterande fenomenologiske modellar for korleis dette gjekk føre seg. På det eksperimentelle område ligg dei kortsiktige føringane i kvar enkel kjøring i eksperimentet, kvart enkelt boblekammer−foto. Kva hendingar skal ein stole på, kva er feilmålingar? Sortering av data er ein avgjerande prosess i slike eksperiment. Kvar og eit Gargamelle−foto måtte studerast og sorterast. Nokon kriterie for å godta eller forkaste er rutine. Andre er mindre formelle og kan verke vilkårlege for ein utanforståande. "But here, as everywhere in the scientific process, procedures are *neither rule−governed nor arbitrary.* This false dichotomy between rigidity and anarchy is as inapplicable to the sorting of data as it is to every other problem−solving activity. Is it so surprising that data−taking requires as much judgement as the correct application of laws or the design of apparatus?" (ibid., s. 254). Også her ser me korleis Galison skapar ein slags middelveg: vitskaplege prosesser er i følgje han verken totalt kaotiske eller strengt regelbundne.

Tabell 2 viser ei oppsummering av føringane som i følgje Galison verka inn på avgjerslene tatt i samanheng med eksperiment med nøytrale straumar (ibid., s. 254).

	Theorethical	Experimental
Long	Unification	Instrument type
Medium	Gauge theories	Specific device
Short	Models; phenomenological laws	Individual runs

Tabell 2 Føringar som i følgje Gailson verka inn på oppdaginga av nøytral straum.

Alle desse typane føringar avgrensar alternativa og hjelper laboratoriet til å ta fornuftige avgjersler om vegen vidare. Fjerning av bakgrunn var ein svært viktig del av nøytral straum−eksperimenta. Når ein fjernar bakgrunnen identifiserer ein samstundes signalet. Denne prosessen kan verke vilkårleg ved første augekast, men Galison meiner at ved å studere føringar på alle nivå ser me at det ikkje var tilfeldigheiter som avgjorde. Først må ein sjå på utvikling av apparaturen. Ein eksperimentalist vil forme utstyret slik at han utelukkar bakgrunn og vel kva han skal fokusere på. Dette kan, som tidlegare nemnt, føre til at ein eksluderer fenomen som seinare blir viktige. Gjennom kjøring av eksperimentet blir endå fleire hendingar eksluderte, ofte elektronisk ved at ein stiller inn på kva hendingar ein skal registrere. Mange hendingar blir dermed ikkje registererte av detektoren i det heile. Når ein så har samla inn data kjem igjen nye ekskluderingar i utskiljing av gode hendingar frå dårlege. Dette blir gjort på grunnlag av generelle prinsipp som td energikonservering, eller fenomenologiske modellar som skildrar prosessen eller apparaturen. Alt dette utgjer føringar som til slutt avgjer kva som blir resultatet av eksperimentet.

Galison bruker omgrepa direkteheit og stabilitet for å forklare kvifor fysikarane såg seg tvinga til å godta nøytral straum. Mange av Gargamelle−medlemmene såg på "the Golden Event" som eit overtydande bevis trass i at dette bare var ei enkel hending. Galison prøver å forklare kvifor det var ei fornuftig slutning. Grunnen til at denne eine observasjonen blei sett på som tilstrekkeleg bevis blant mange var at han var svært direkte. Som leptonsk kanal var han "reinare" enn dei hadronske kanalar som blei tilsmussa av mange og store bakgrunnseffekter. Men medan leptonske kanalar var meir direkte var dei hadronske meir stabile. Tverrsnittet var mykje høgare og dette gav mykje større mengder data som viste stabile resultat. For gruppa som eit heile var det kombinasjonen av hadronske og leptonske data som til slutt overtyda, altså ein kombinasjon av direkte og stabile observasjonar.

Galison bruker episodar frå historia om oppdaginga av nøytral straum for å vise korleis val som kan verke tilfeldige og interessestyrte, eigentleg er fornuftige og rasjonelle dersom ein studerer dei nærmare. Ein slik episode er då Gargamelle−gruppa prøvde å fjerne nøytron−bakgrunnen ved å gjere energikutt. Dei kutta vekk hendingar med låg energi og såg bare på resultata ved høg energi. Tanken bak dette var at nøytronbakgrunn kjem av sekundære interaksjonar. Den totale energien vil derfor vera mindre for bakgrunn enn for ekte nøytral straum−hendingar. Energikutt er eit døme på korleis teori påverkar eksperiment. På ein måte oppstod energikuttet frå den nye teorien, dvs GWS−teorien. Utan den elektrosvake teorien hadde ikkje dette energiområdet blitt peika ut. Men Galisons poeng er at: "Making such cut in no way *guaranteed* that the number of neutrino candidates would exceed the expected number of neutron−induced events. The cut craved out a domain of phenomena" (ibid., s.

176–77). Den nye teorien sa at ein burde leite etter nøytral straum i dette energiområdet, medan den gamle teorien sa det motsette, at nøytrale straumar ikkje finst nokon stad. Det var ikkje slik at dette energikuttet produserte bevis for nøytral straum. Å gjere energikutt er ein viktig del av jobben til ein partikkelfysikar. Dette krever at ho tar avgjersler, men dette er ein del av arbeidet med å skilje ut signalet frå støyen, det er ikkje slik at ho avgjer kva ho vil sjå.

Ein annan episode han trekk fram er då ein i starten ikkje tolka dei same resultata som bevis på nøytral straum. Ikkje lenge etter at kjøringa av det amerikanske eksperimentet starta begynte det å dukke opp myonlause hendingar. Eksperimentalistane såg på dei som feilmålingar. Dei rekna med at det dei eigentleg såg var prosesser med ladd straum, men at myona klarte å lure seg unna detektoren på ein eller annan måte. Resultata frå kaonsundfall som viste ikkje–eksistens av nøytral straum blei tatt veldig seriøst og det skulle meir til for at ein forkasta desse. "I cannot too often stress that only much later was it accepted that neutral currents could be heavily suppressed in strangeness–changing processes and unsuppressed in strangeness–conserving events studied by E1A and Gargamelle [pga GIM mekanismen]. It was therefore perfectly natural for experimentalists with an unproved detector on a newly minted accelerator exploring unknown energies to conclude that some error was producing the ratio of over 30% muonless events to events with muons" (ibid., s. 216). Galison vil her vise at det faktisk var det mest fornuftige og rasjonelle å ikkje stole på desse hendingane. Det var ikkje var fordi eksperimentalistane ikkje *ville* sjå nøytral straum fordi det passa dårlig inn i teoriane deira.

Ei studie av korleis Gargamelle–gruppa til slutt blei overtyda om at nøytral straum eksisterer viser godt kor komplisert prosessen med å avslutte eit eksperiment er. Det var heilt klart at det ikkje var eitt enkelt argument som avgjorde. Det var ei mengd argument, teknikkar, teoriar og modellar som overtyda gruppa til slutt. Og det var gruppa som eit heile som til slutt fann ut at nøytrale straumar eksisterer. Medlemmene forma eit kritisk publikum til kvarandre, stilte spørsmål og utfordra kollegaane sine. Dei peika på ulike problem alt etter kva dei hadde kunnskap om. "In this sense, despite the striking contributions of individual members, the collaboration truly functioned as a dynamic heterogenous collective and not as a homogenous enterprise" (ibid., s. 194). "Only as a group can the collaborators marshal the results of the subgroups into a coordinated whole" (ibid., s. 275).

6.4 Diskusjon

Det store spørsmålet her er om eksistensen av nøytrale straumar empirisk underbestemt eller ikkje. Pickering meiner at valet stod ope. Det fanst ingen empirisk måte å skilje signal frå bakgrunn. Fysikarane tok eit val om at nøytrale straumar eksisterer, og alt som har skjedd sidan har grunnlag i dette valet og vil dermed støtte det. Galison meiner det motsette, at resultata frå eksperimenta viser oss at nøytrale straumar eksisterer. Signala var til slutt så stabile og direkte at det ikkje gjekk an å motseie dei. Begge har gått detaljert inn i historia og har ein svært lik bakgrunn. Korleis kan dei då komma fram til så ulike konklusjonar? Har den eine feil og den andre rett? Klarer Pickering å argumentere godt nok for at det var eit ope val, eller er han ein kverulant som ikkje vil sjå sanninga i augene? Klarer Galison å overtyde oss om at resultata frå nøytrinoeksperimenta viser nøytrale straumar, eller er han blitt så indoktrinert av å leve i fysikarverda at han ikkje kan sjå anna?

Eg hadde i utgangspunktet trudd at eg i denne oppgåva måtte ta Pickering sine påstander konfrontere dei med eksperimentelle resultat. Eg har kome fram til at dette hadde vore fånyttes. Ulikskapane mellom Pickering og Galison ligg djupare enn som så. Dei har ulike utgangspunkt og kjem dermed fram til ulike konlusjonar. Nøytral straum er eit godt døme på korleis dei same hendingane kan bli brukt som argument for ulike standpunkt. Eg vil gå meir inn på dette i neste kapittel.

7 PICKERING VS. GALISON

Sjølv om Pickering og Galison har den same utdanningsbakgrunnen, har dei på mange måtar ulike utgangspunkt når dei vil forklare hendingane i partikkelfysikkhistoria. Medan Pickering skriv si framstilling som kritikk av den naive realismen og den tradisjonelle måten å skrive vitskapshistorie på, skriv Galison si framstilling meir som ein kritikk av Pickering og vitskapsosiologane. Pickering vil vise at konklusjonen ikkje har nok fakta. Galison meiner at Pickering har gjort eit viktig og grundig arbeid i *Constructing Quarks*, men at konklusjonen hans er feil: teoriane i partikkelfysikken er godt grunngjevne og han vil vise kvifor.

7.1 Galisons kritikk av Pickering og vitskapsosiologien

Mykje av grunnen til at Galison bruker oppdaginga av nøytrale straumar som døme er at det her allereie finst "a ’strong’ sociological interpretation" (Galison 1987, s. 257), dvs Pickering si framstilling som kom nokre år før *How Experiments End*, og han kan dermed bruke denne til å vise kva han meiner blir skildra feil av vitskapsosiologane. Galison meiner ikkje å seie at sosiologiske faktorar ikkje er avgjerande, han studerer også korleis sosiale faktorar speler inn på resultatet av eit eksperiment. Men han kjem fram til heilt andre konklusjonar enn Pickering. "The lesson to be drawn is not that experiments are merely capricious or that experimenters are "biased". Rather, we must come to see laboratory judgement as a subtle but essential part of the experimental process from the beginning to the end" (ibid., s. 254).

Galison angriper argumenta til Pickering direkte. Pickerings påstår at tolkinga av resultata frå Gargamelle som bevis på nøytral straum ikkje var tvingande. For Pickering er konklusjonane som blir dratt empirisk underbestemte og i dette ligg det at det må vera noko anna enn fornuft som avgjer. Det er her interessene til forskarane kjem inn. Nøytrale straumar blei akseptert "because they could see how to ply their trade more profitably in a world in which the neutral current was real" (ibid., s. 257–8). Galison meiner at ein ikkje kan redusere eksperiment til eit spørsmål om interesser. Han bruker hendingar frå historia om nøytral straum til å argumentere for dette. Ein periode viste data frå E1A–detektoren at nøytrale straumar ikkje eksisterte. Dei var klare til å motseie sitt eige og CERN sitt resultat frå tidlegare. Så, etter nokre månadar med forvirring og fortviling dukka signalet opp igjen. David Cline, ein av leiarane i HWP–gruppa, hadde heile karriera trudd på ikkje–eksistens av Z° og gav desse opp med orda "I do not see how to make these effects go away", noko som impliserer at han helst ville vore forutan nøytrale straumar, men at han ikkje klarer å bli kvitt dei same korleis han vrir og vendar på resultata. Interessene gjorde ikkje at han beheldt synet sitt. Han lot dei empiriske resultata avgjere. I følgje Galison finst det noko som ligg utanfor kontrollen til vitskapsfolk som Pickering ikkje tar omsyn til i si historie.

Galison meiner at Pickering og sosial–konstruktivistane har feil bilete av korleis teori påverkar eksperiment. Etter at begge gruppene hadde proklamert oppdaging av nøytrale straumar, har fysikarmiljøet framleis ikkje full teoretisk forståing av resultata. GIM–mekanismen var framleis ikkje akseptert og dermed hadde dei to resultat som motsa kvarandre teoretisk. Dei gamle resultata frå kaonsundfall sa at nøytrale straumar ikkje eksisterer, medan dei nye frå Gargamelle og E1A sa at nøytrale straumar eksisterer. "As I have tried to stress throughout each of the preceding chapters, experimentalists ... use theory, but not the full array of theorethical ideas that one might wrongly ascribe to them in retrospect" (ibid., s. 222). Det var ikkje teori som gjorde at resultata frå Gargamelle og E1A–detektoren blei godtatt, andre eksperimentelle resultat motsa GWS–teorien, og både dei nye og dei gamle resultata blei godtatt utan at ein klarte å forklare det teoretisk. Fysikarane stolte altså på dei empiriske bevisa sjølv om dei ikkje hadde teoretisk støtte.

Galison meiner det er kunstig å påstå at tidlege og seinare teoriar om svak kraft er inkommensurable. Ingenting i kalkuleringane og målingane gjort i samanheng med "escaping muons"–problema i E1A–detektoren inneheldt bruk av GWS–modellen. Den nye modellen blei ikkje brukt for å verifisere seg sjølv, istaden brukte dei metodar frå det "gamle paradigmet" for svak kraft, og med desse kom dei fram til at bidraget frå "escaping muons" var så høgt at det gav grunnlag for å konkludere med at nøytrale straumar eksisterte. "Of

course in the real world background calculations involve theory, but there is nothing about that involvement that makes it impossible (or unreasonable) for the physicist to start with one set of beliefs and come, as many members of E1A did, to experimental conclusions contradicting the starting assumptions" (ibid., s. 258). Ein kan skifte tru gjennom ein rasjonell prosess, og utan å gå gjennom eit paradigmeskifte.
Galison kritiserer Pickering si framstilling av ny og gamal fysikk som to paradigme, to isolerte øyer med eit uoverkommeleg hav mellom. "[I]t may well be that the impassability of the seas appears such only because the experimental and instrumental navigators who daily crossed them are given no place in history. For the men and woman who built the Standford Linear Accelerator Center's colliding–beam facility [SPEAR] 1974 did not mark a great year of revolution; it was a time of virtually complete continuity with efforts begun over a decade earlier" (Galison 1995, s. 34). Medarbeidarane på SLAC brukte dei gamle metodane i den nye fysikken, og merka ikkje eit voldsomt brot. "Breaking a history of particle physics incommensurablility in 1974 has many benefits, but it comes at a price: the exclusion of other voices, the voices of those experimentalists whose practices did not mutate, those technicans whose machines did not change, those Monte Carlo programmers whose goals were constant–along with the broader domain of culture in which techniques in particle physics are shared by those in industry and in the military" (ibid., s. 34–35).

Oppdaginga av nøytrale straumar var ein sosial prosess. Møter og konferansar, sosialt og profesjonelt hierarki, og mange liknande sosiale element hadde stor innverknad. Pickering meiner at det var dei sosiologiske faktorane som avgjorde at ein nå ser på nøytral straum som eit reelt fenomen og at ein kunne tatt eit anna val. Galison meiner derimot, som eg har nemnd tidlegare, at ein kan studere dei sosiologiske faktorane i prosessen og meine at desse er viktige, utan å ta eit relativistisk standpunkt. Me må sjå på naturvitskapen på ein ny måte. Det viktigaste er å studere korleis fysikarane saman kom fram til at signalet ikkje ville forsvinne, og at nøytrale straumar eksisterer. Fysikarsamfunnet er langt ifrå ei homogen gruppe der alle er einige til ei kvar tid. Galison skildrar vitskapleg praksis som bygd opp av "often quite disparate subcultures [that] follow their own rhythms, and with their own conflicting views on the appropiate laws, objects, and demonstrations" (Baigrie 1995, s. 96). Det vitskaplege samfunnet er delt inn i eksperimentelle, instrumentelle og teoretiske grupper, som består av undergrupper med kvar sine oppgåver. Desse gruppene kan igjen vere delte inn i mindre undergrupper som spesialiserer seg på eit område. Det eksperiment handlar om, i følgje Galison, er å finne ei mengd argument som til slutt dannar overtydande argument for alle desse gruppene, resultat som er så direkte og stabile at dei ikkje etterlater nokon tvil. "I see science, or at least physics, as a collection of finite bits, put together piecewise–and it is just this disorder that holds it together. Carpenters know that a homogenous board is far less strong than a laminated one: where one layer cracks, another holds" (Galison 1995, s. 41).

7.2 Pickerings kritikk av føringar

Pickering kjem i 1995 med artikkelen "Beyond Constraints" (Pickering 1995a), der han kommenterer kritikken som møtte han i åra etter at *Constructing Quarks* kom ut. "Its reception induced in me a profound allergic reaction to the word "constraint". Suddenly "constraint" seemed to be everywhere .... Peter Galison devoted an entire chapter of his *How Experiments end* to "constraint" and made me a villain of his discussion" (Pickering 1995a, s. 43). Pickering meiner at Galison framstiller synspunkta hans feil. I *How Experiments End* ser det ut som om Pickering representerer ein slags ønske–relativisme der vitskapsfolka finn dei resultata dei har mest lyst å finne. Motargumentet mot dette er å finne døme på ein forskar som kjem fram til noko anna enn det ho håpa på, noko som ikkje er vanskeleg å finne. Pickering kjenner seg ikkje igjen i denne framstillinga. Han påstår at han med unntak av "a single flirtation in my youth"[45] har unngått interessesnakk og "wish–relativism". Galison kritiserer Pickering for ikkje å ha med at det ligg noko utanfor kontrollen til vitskapsfolk, men Pickering er på dette punktet einig med Galison. Dette kjem kanskje ikkje så godt fram i *Constructing Quarks*, men i det seinare arbeidet hans har han lagt mykje vekt på motstanden frå det materielle og det han kallar "material agency": "Scientists, as human agents, maneuver in a field of material agency, constructing mashines that, as I shall say, variously capture, seduce, download, recruit, enroll, or materialize that agency, taming and domesticating it, putting it at our service, often in the accomplishment of tasks that are

45 Ein artikkel han skreiv i 1981.

simply beyond the capacities of naked human minds and bodies, individually or collectively" (Pickering 1995b).

Pickering meiner at bruk av omgrepet "føringar" leiar oss ut på ville vegar. For Galison er det føringane som gjer at vitskapsfolk ikkje kan tru kva dei vil. Føringar skildrar han som "obstacles that while restrictive are not absolutely rigid" (Galison 1987, s. 257). Dei blir dermed kulturelle element som avgrensar den vitskaplege praksisen. Pickering meiner at ting ikkje er så fastlåst. Føringar blir sett på som noko som allereie er til stades i samfunnet og i kulturen. "In constrast, I am of the opinion that cultural elements have no such inherent cagelike properties, and that whatever obstacles do indeed arise in practice are not "already there" to begin with; instead they genuinely emerge in time" (Pickering 1995a, s. 47). Eit av hovudpoenga til Pickering er at vitskaplege prosesser er opne (open–enden). Dei møter motstand på vegen, men denne motstanden avgjer ikkje kvar slike prosesser ender. I omgrepet "føringar" ligg noko negativt, noko som avgrenser. Pickering meiner derimot at det Galison peiker ut som føringar blir brukt som *ressurser,* og desse kan brukast på mange ulike måtar. Eit anna problem med faktorar som blir presenterte som "føringar" er at det kan forandre seg raskt og diskontinuerleg, "and it escapes me how such change can be conceptualized and analyzed within the language of constraint itself. I cannot see how "constraint" can speak to the requisite dynamics. Alternatively, within the language of resources and modeling that I am recommending, such conceptualization and analysis are possible" (ibid., s. 49–50).

Pickering meiner at føring–terminologien ikkje klarer å gripe fatt i den dynamikken som ligg i ein forskingsprosess. Han vil innføre bruk av omgrepa "motstand" (resistance) og "tilpassing" (accommodation). Ved bruk av desse meiner han at me betre kan forstå denne dynamikken, dei gir oss ein meir fruktbar måte å studere vitskapleg historie på. Motstand er hindringane som ligg i vegen for at me skal nå våre mål med forskinga, td motstand frå naturen og apparaturen. Motstand er ikkje noko som ligg der frå før, men noko som oppstår i praksisen. Tilpassing er responsen frå forskaren på denne motstanden. "And the production of facts, I claim, is the outcome of a goal–oriented, temporally exdended dialectic of resistance and accommodation of the form just described" (ibid., s. 52). Forsking er ein slags

vekselverknad mellom naturen og forskaren. Det er dette han kallar "the mangle of practice" i boka frå 1995 med nettopp dette som tittelen. Naturvitarane formar naturen slik at han passar best inn i verdsbiletet deira, men naturen strittar i mot og kan ikkje tilpassast kva som helst. "Modeling, association, resistance, accommodation, and contingency are many ways of thinking about practice beyond constraints. My technical claim is that these concepts enable one to get past the placebo of constraint–talk and grapple with the difficulty of practice" (ibid., s. 52). Pickering meiner at naturvitskaplege fenomen er produserte av vitskapsfolk, men ikkje at alt er opp til dei. Det oppstår alltid ulike typar motstand som ikkje kan overvinnast. Han meiner at ein ved å analysere vitskapleg praksis i lys av omgrep som motstand, tilpassing kan unngå dei vante todelinga i objektivisme og relativisme, natur og kultur. Bruk av slike skilje, og uttrykk som interesser og fornuft er gammaldags og fører oss ingen stader i forsøka våre på å forstå kva vanskane i vitskapleg praksis er.
Pickering er på denne måten ikkje ein sosial–konstruktivist i vanleg forstand. Han er svært oppatt av at *det materielle* gir motstand, me kan ikkje forme naturlege fenomen slik me vil. Dette kallar han *material agency*. Når Galison kritiserer Pickering bruker han Pickering som eit typisk døme på ein sosial–konstruktivist, men dette er ikkje heilt korrekt.

7.3 Samanlikning

Det er mange likskapar mellom haldningane til Pickering og Galison. Begge meiner at sosiologiske faktorar speler ei stor rolle i utviklinga av naturvitskaplege teoriar. Pickerings bruk av motstand frå naturen, og hans teori om "opportunisme i kontekst" kan minne mykje om Galisons føringar. Det handlar begge om korleis sosiale, kulturelle og naturlege element styrer vitskaplege prosesser. Dei stiller seg begge svært kritiske til naiv realisme og den tradisjonelle måten å studere vitskapshistorie på, og begge avviser tanken om vitskap som unitær og homogen kultur. Debatten om kva ord som er best å nytte (*føringar* eller *motstand*) i skildring av vitskapleg aktivitet kan til tider minne om flisespikkeri. Det er derfor på sin plass å påpeike kva som er dei viktigaste ulikskapane.

7 PICKERING VS. GALISON

Kunne vitskapen sett annleis ut, er eit viktig spørsmål i denne samanhengen. Pickering meiner at den vitskaplege prosessen har ein open ende. Der er ikkje bestemt på førehand korleis teoriane vil sjå ut til slutt. Det er ikkje slik at naturvitaren passivt observerer naturen, han grip inn i naturen, og formar han. Sjølvsagt ikkje utan å møte motstand, men det er på ingen måte slik at teoriane ligg "der ute" og bare ventar på å bli funne. Pickering meiner at det kunne ha eksistert eit like suksessrikt forskingsprogram i partikkelfysikken som det me har sett, men med andre teoriar, ulik fenomenologi og apparatur. Her kan det vere interessant å stille dette opp mot meininga til ein ekte realist, Steven Weinberg. Weinberg var ein viktig aktør i dei episodane Pickering skildrar. Han meiner at før kvarketeorien hadde teorien om sterk vekselverknad kome så langt som han kunne kome. Fysikarane kunne ha heldt fram å studere partikkelkollisjonar, og undersøkt kva symmetriprinsipp som verka, men dei kunne ikkje ha forklart kvar desse kom i frå, og dei kunne ikkje ha gjort kalkuleringar på dette. Weinberg sjølv var skeptisk til kvarketeoriene og godtok han først i 1973 då teorien om asymptotisk fridom blei kjend. Han meiner at fysikken hadde stagnert utan kvarketeorien, me hadde rett og slett ikkje kome vidare utan kvarkane (Weinberg 2001, s. 266–267). Dette viser tydeleg korleis Pickering skil seg frå det tradisjonelle synet. Galison ville nok på dette punktet stilt seg på Weinbergs side. Han legg vekt på å forklare kvifor vala til fysikarane var rasjonelle, og meiner ikkje at dei godt kunne vore annleis. Han gir oss ikkje noko eintydig svar på om han skal plasserast som realist eller anti–realist, men meiner at eksperimentet på mange måtar lever sitt eige liv uavhengig av teori og ikkje kan ta kva retning som helst.

Pickering legg stor vekt på å vise eit brot mellom den gamle og den nye fysikken, i motsetning til Galison som meiner at overgangen var kontinuerleg. Også her er usemja tydeleg. Galison meiner at Pickering gjer feil i å adoptere Kuhns paradigmelære. "I have argued here that a thoroughgoing contextualism works in exactly the opposite direction. In a world in which the solution to scientific questions is often simultaneously the solution to problems in the wider culture, it becomes more, not less, difficult to see scientific knowledge as carved neatly into isolated frameworks. Contextualism works against framework relativism" (Galison 1995, s. 40). "Frameworks" tyder her paradigme o.l. Galison har mange motargument mot paradigmeteorien. I partikkelfysikkhistoria ser me ofte at teori og eksperiment ikkje utviklar seg i same tempo. Det er ikkje slik at når ein ny teori er blitt populær blant teoretikarane så adopterer eksperimentalistane han umiddelbart og stadfestar han i dei neste eksperimenta. Ulike delar av den vitskaplege kulturen utviklar seg i i ulikt tempo. Eit anna motargument er at fysikarsamfunnet ikkje er ei homogen gruppe. Dei som arbeidar innanfor det Kuhn vil kalle eit paradigme er ikkje ei gruppe like menneske med lik bakgrunn og like mål, sjølv om dei har mykje til felles. Pickering er einig i at fysikarsamfunnet er ei heterogen gruppe. Framstillinga hans er likevel ei vidareføring av Kuhns teoriar. Han ser som sagt på ny og gammal fysikk som to paradigme, der teoriane i det første ikkje har noko å seie om fenomena ein fokuserer på i det andre og vice versa.

Pickering avsluttar boka si med ein påstand om at sidan fysikarane på 1970–talet ikkje hadde problem med å gi opp den fysikken dei hadde streva med så lenge for den nye fysikken (gaugeteori og kvarkemodell), så treng ikkje me å vise noko meir respekt for den nåverande partikkelfysikken. Dette viser tydeleg kor mykje meir radikal Pickering er. Her er ikkje rom for kompromiss. På grunnlag av denne kommentaren kan Pickering plasserast blant relativistane. Verdssynet til partikkelfysikarane er ikkje viktigare enn andre verdssyn. For Galison er det dermed viktig å understreke at ein ikkje treng å innta ei relativistisk haldning sjølv om me tar avstand frå ein naiv realisme.

Kanskje kan noko av denne skilnaden plasserast i kva dei ser på som *rasjonelle* handlingar. Det kan verke som om Pickering har eit meir snevert syn enn Galison på kva som er rasjonelt. Når Pickering studerer partikkelfysikken finn han at handlingane og avgjerslene til forskarane ikkje passar inn i hans strenge, avgrensa bilete av rasjonalitet, og dermed konkluderer han med at ein må ty til andre forklaringar, dvs sosiale forklaringar for å forklare fysikkens teoriar. Galison er einig i at sosiale faktorar speler ei stor rolle, men meiner at det framleis er rasjonelle handlingar me har med å gjere. Når resultata til slutt viser seg å vere stabile (evt. direkte) er det fornuftig å konkludere med at dei viser ein reell effekt.

Ian Hacking forklarer ulikskapen mellom Galison og Pickering med at dei er ute etter svar på ulike spørsmål: "Pickering wants to know, what is the amazing difficult business of getting an experiment to work? How do we defy the resistance of recalcitrant apparatus? We live (says Pickering's philosophy) in a world of total contigency, and yet something all too tangible, all to material, resist us....Galison wants to know something quite different, namely, the impositions on knowledge and action that arise, not from some unstructured story about "society", but from a very structured story about how various projects, techniques, cliques, and long–term investments of intellectual as well as material capital determine the organization of research and thereby constrain the very kinds of things that can be found out" (Hacking 1995, s. 6).

7.4 Kva med det som har skjedd dei siste 20 åra?

Bøkene til Galison og Pickering er skrive i 1984 og 1987. Det har skjedd ein del i partikkelfysikken sidan den gong. Har dette hatt nokon innverknad på meiningane deira? Folk flest vil nok påstå at tida har vist at Standardmodellen vil stå ved lag. Som eg har skrive tidlegare har det meste av den nyaste forskinga styrka Standardmodellen. Ein har funne nye partiklar som passar godt inn, og gjort enormt presise målingar som stemmer overraskande bra med teoretiske utrekningar. Dette vil dei fleste tolke som at Standardmodellen handlar om noko reelt. Kvarkane og dei nøytrale straumane har vist seg å ikkje vere kunstige effekter som oppstår i detektorane pga av ukjende prosesser, men bevis på verkelege fenomen som eksisterer i naturen, sjølv om me aldri kan sjå dei med det blotte auge. Det kan vere enkelt å gå med på at bevisa for nøytrale straumar i samtida var diskuterbare og at det var presset frå konkurrerande grupper som førte til publisering. Men har ikkje alle eksperiment utført etter dette verifisert dei nøytrale straumane? Ingen fysikar med respekt for seg sjølv vil i dag meine at bevisa for eksistens av Z° er mangelfulle. Ved LEP blei det produsert millionar av Z°–boson. Det kan også verke som om det heile har roa seg ned den siste tida. Sidan 1976 har dei fleste oppdagingar vore naturlege følgjer av det som skjedde i revolusjonen. Den stabiliteten Standardmodellen har vist kan vere eit god argument for at dette er den rette skildringa av verda.

Men Pickering meiner ikkje at den stadige verifiseringa av Standardmodellen har motbevist teoriane hans. Han meiner at når fysikarane først har tatt eit val, vil dei halde seg til dette valet. På 70–talet tok dei eit val om å stole på Monte Carlo–simuleringane som viste at bakgrunnen ikkje var stor nok til å gjelde for alle nøytral straum–kandidatane. Nøytral straum blei frå då av eit reelt fenomen og eit objektivt faktum, og sidan har ein arbeidd ut ifrå dette. Forskinga i dag tar utgangspunkt i Standardmodellen og tar eksistensen av nøytrale straumer for gitt. Eksperimentalistane vil dermed stadig finne fleire bevis i Standardmodellens favør. Stabiliteten til Standardmodellen medfører ikkje på nokon måte at han er rett. Så lenge me bruker dei same tolkingsprosedyrene, den same praksisen, og arbeider innanfor det same paradigme vil me sjå ei verd av kvarkar og gaugeteori.

7.5 Eit tredje alternativ?

For mange er ei relativistisk haldning eit resultat av at ein syns at den naive realismen blir for naiv. Det er sjeldan naturvitskapen klarer å oppfylle alle krav som ligg her. Det same gjeld også andre vegen. For mange blir det lettare å godta ein objektiv realitet der alt ligg og ventar på å bli oppdaga av oss, enn ei verd der ingenting er fast og alt er avhengig av kven som ser. Men må det vere svart/kvitt og enten/eller? Kan den vegen Galison representerer vere ein slags middelveg?

Paul Feyerabend er ein kjent vitskapsfilosof som ser på seg sjølv som ein slags vitskapleg anarkist. I boka *Against Method* frå 1975 argumenterer han for at naturvitskapen ikkje bør ha nokon særstilling i forhold til andre liknande aktiviteter. Han er fortvila over den autoriteten vitskapen har fått, som representant for "det sanne" og "det rasjonelle". Han meiner at observasjonar ikkje kan gi oss sikker kunnskap sidan alt er avhengig av kva teoriar me arbeider utifrå. Dette skaper eit alvorleg problem for vitskapen: Det er ikkje bra om vitskapen blir gitt all autoritet, som noko objektivt som ikkje kan kritiserast. Men kan me kritisere vitskapen utan å redusere han til kulturrelativ kunnskapstradisjon? (Nydal 2002, s. 76). På sine gamle dagar fann han ut at desse problema oppstod pga det enkle og naive synet på vitskapen som han hadde arva av Popper[46]. Feyerabend meiner synet som blir forfekta av Galison og Hacking kan "redde" vitskapen. Dei har eit nyansert syn som gjer at ein ikkje treng å ty til ytterkantane, dvs naiv realisme eller sosial konstruktivisme. "I wholeheartedly agree with Ian Hacking that the sciences are more complex and many–sided than I assumed in some of my earlier writings and also in parts of AM [Against Method]. I had simplistic ideas both about the elements of science and about their relations. Science does contain theories – but theories are neither its only ingredients nor can they be adequately analysed in terms of statemens or other logical entities" (Feyerabend 1987, s. 293). Galison og Hacking studerer vitskapen med kritiske auge utan å redusere han til synsing og tankespinn.

Fysikken har gjennomgått ein rivande utvikling dei siste åra. Samanhengen mellom teori og eksperiment blir meir og meir komplisert. I fysikkens barndom fanst ikkje denne inndelinga i teoretikarar og eksperimentalistar. Ved starten av 1900–talet var fysikk fyrst og fremst ein eksperimentell vitskap. Det fanst også då reine teoretikarar, men det var først etter kvanteteorien at denne oppdelinga vaks til (Galisons 1987, s. 12). Det er ikkje så enkelt som at ein eksperimentalist tester ut hypoteser som ein teoretikar har kome fram til. Det er heller ikkje slik at ein eksperimentalist gir teoretikaren ei viss mengde data som teoritikaren så utviklar ein teori på grunnlag av. Kva som kjem først og sist av teori og observasjon er ofte vanskeleg å avgjere sjølv i enkelttilfelle. Naturvitskapleg praksis har forandra seg både i struktur og i skala, særleg har me sett dette i partikkelfysikken[47]. Dette medfører at me må studere vitskapen på nye måtar. Eksperimentet må bli sett i fokus. Det er påfallande at eksperimentet fram til utpå 1980–talet stort sett var oversett av vitskapsfilosofar (Nydal 2002, s. 103). Både Pickering og Galison vil skrive historier i staden for å finne prinsipper og reglar for korleis teori, eksperiment og naturen heng saman. Galison går i større grad enn Pickering inn i detaljene i den eksperimentelle prosessen. Pickering følgjer den vitskapsfilosofiske tradisjonen ved å leggje meir vekt på teori. Medan Pickering er opptatt av å vise korleis sosiologiske faktorar styrer dei eksperimentelle resultat, vil Galison vise at sosiologiske og historiske faktorar legg føringar på slike resultat, men utan at naturvitskapen

46 Feyerabend var elev av Karl Popper.

47 Nå er det ikkje slik at heile naturvitskapen har utvikla seg i same retning som partikkelfysikken. Denne greina av fysikken skil seg litt ut ved å vere særskilt avhengig av store maskinar og enorme budsjett. Ein kan framleis gjere nyskapande forskingsarbeid med relativt små ressurser innanfor andre delar av naturvitskapen.

lar seg viljelaust styre som ei marionett–dokke.

8 AVSLUTTANDE MERKNADER

Kva er det så som ligg til grunn for oppdaginga av kvarkane eller nøytral straum? Ein objektiv realitet, eller ei sosialt konstruert verd av sosialt konstruerte omgrep? Handlar naturvitskap om oppdaging eller oppfinning? Er naturvitarane agentar eller observatørar? Både Pickering og Galison har mange viktige og nyttige poeng. Dei har gitt oss nye perspektiv på realismeproblemet og vitskapskrigen. Kanskje vil dei fleste sympatisere med Galison sine haldningar. Desse representerer på ein måte den "sunne fornuften". Sjølvsagt må me ta omsyn til dei sosiale faktorane, men vitskapen er ikkje ein ønskjefantasi som me kan forme slik me vil. Samtidig vil eg påstå at Pickering er veldig overtydande når han går detaljert inn i hendinane rundt november–revolusjonen og oppdaginga av nøytral straum. Mange av prosedyrane var problematiske og det var ikkje trivielt å godta bevisa som låg til grunn i desse hendingane. Han klarer i det minste å overtyde meg om at *kan* ha rett, sjølv om han ikkje gir eit totalt vasstett bevis. (Kvifor klarer dagens partikkelfysikarar å produsere enorme mengder av hendingar som beviser eksistensen av Z°? Mange av dei fenomenologiske modellane som blei brukt i Monte Carlo–simuleringane er i dag bytta ut med eksperimentelle resultat eller fullstendige teoriar, vil ikkje dette seie at faktorar som var problematiske rundt oppdaginga i dag er uproblematiske?). Eg meiner at det viktige i denne debatten ikkje er at alle må komme fram til eit svar, men at me er opne for slike problemstillingar og ser den kompleksiteten eit (partikkelfysikk–) eksperiment representerer. Eg ser ikkje på det som min jobb å dra konklusjonar om kva som er rett og feil, men vil heller avslutte med nokre meir generelle kommentarar som rører ved dei tema eg har tatt opp her.

Treng naturvitskapen filosofi?

Mange har eit bilete av naturvitskapen som enkel og vakker. Ved hjelp av korrekte vitskaplege metodar kjem ein fram til eintydige svar som kan hjelpe oss å forstå og dra nytte av naturen. Det er ofte folk utan særleg kjennskap til naturvitskapen som har det mest idealiserte biletet av han. Men også den kjende fysikaren Gell–Mann meiner at filosofien forstyrrer naturvitskapen. Han har uttalt at filosofi "muddies the water and obscures [the theoretical physicist's] principal task, which is to find a coherent structure that works"

(Crease 2002). Feyerabend hevda det motsette, at det er umogleg å skilje naturvitskapen frå filosofien. Det ligg alltid filosofiske haldningar og føresetnadar under teoriane våre, sjølv om det som oftast er umedvite. Personleg har eg opplevd at jo meir naturvitskap ein lærer, jo betre forstår ein kor komplekst det heile er. Dei første åra på vidaregåande møter ein ikkje på mykje trøbbel, men etterkvart som ein trengjer djupare inn i eit fagområde ser ein at metodane kan vere feilbare, resultata kan vere tvetydige og teoriane kan vere vidløftige hypoteser som ofte gjeld under svært idealiserte forhold. Det er viktig å vere klar over dette, å leite etter dei uutalte haldningane som ligg under ein teori, og å drøfte kva som blir tatt for gitt.

Skader sosial konstruktivisme naturvitskapen?

Naturvitskaplege eksperiment har blitt gitt ein enorm autoritet. Me bruker dei til å avgjere mellom konkurrerande teoriar, til å stadfeste teoriar, til å bevise eksistens av partiklar osv. Då må det vel skade vitskapen at sosial−konstruktivistane kjem og påstår at me ikkje kan stole på eksperimenta og at alt handlar om sosial konstruksjonar?

Mange sosial−konstruktivistar meiner at dei ikkje undergraver naturvitskapen, men at derimot ei falsk forståing av sosial kontruktivisme gjer det. For nokre sosial−konstruktivistar er målet å heidre vitskapen. Det dei gjer er nemleg å bruke vitskaplege metodar på vitskapen sjølv. Dei studerer vitskapen vitskapleg. Ein del av sosial−konstruktivistane bruker *naturalisme* som motivasjon. Naturalisme er haldninga om at den naturlege verda er alt som finst og vitskapleg metode er den einaste måten å forstå ho på. All kunnskap er vitskapleg kunnskap. Bloor, som er ein av dei viktigaste aktørane innan denne retninga, ser ikkje på seg sjølv som fiendtleg til vitskap, han ser på haldningane sine som eit resultat av si vitskaplege og naturalistiske haldning til verda (Brown 2001). At noko er sosialt konstruert treng ikkje å innebere at det er eit vonde og at me må kvitte oss med det.

Dei fleste deler likevel ikkje denne oppfatninga. Dersom det skulle vise seg at sosial−konstruktivistane har rett (noko som sjølvsagt ikkje går an å bevise), vil synet vårt på vitskapen forandre seg veldig. Sosial−konstruktivismen har gjort vitskapen til noko relativt, noko som er avhengig av sosiale forhold. Dersom naturvitskapen handlar om sosiale konstruksjonar, korleis skal me då kunne ta han seriøst? Det er altså ikkje rart dersom vitskapsfolk føler seg trua av sosial konstruktivisme. Pickering er ikkje ein ekstrem aktivist som prøver å fjerne kvarketeorien og gi oss noko betre. Men han meiner at Standardmodellen ikkje nødvendigvis måtte sjå ut slik han gjer i dag. Denne påstanden truar autoriteten til vitskapen og vitskapsfolk. Sjølv om sosial konstruktivisme ofte handlar om *ideen* om eit fenomen og ikkje fenomenet i seg sjølv og sjølv om mange sosial–konstruktivistar har ei god forståing av kva vitskap er, skitnar arbeidet deira til biletet av vitskapen. Mange meiner at denne kritikken kan vere med å hindre rekrutteringa av nye studentar til naturvitskapen, noko som vil vere ein alvorleg konsekvens då universiteta i mange land, dette gjeld i høgste grad Noreg, slit med å få studentar til å velje realfag. Derfor er det viktig å ikkje la desse argumenta stå usvara (Newton 1997). Men det må også nemnast at også det motsette kan vere tilfelle. Stein Dankert Kolstø[48] meiner at det kan hjelpe på rekrutteringa å presentere naturvitskap som noko meir enn læra om etablerte fakta. Han argumenterer for at det er bra for folk flest å kjenne til prosessen som kunnskap går gjennom frå forskningsfront til etablert kunnskap. Dette kan også vere med på å gjere naturvitskap meir spennande og attraktivt.

Kan sosial konstruktivisme vere bra for oss naturvitarar?

Sosial konstruktivisme er lett å avfeie ved første augnekast. Naturvitarar kjenner seg som oftast ikkje igjen i det biletet sosial–konstruktivismen teiknar av dei, som interessestyrte agentar, og reagerer derfor med å ta avstand frå alt. Men sjølv om ein ikkje klarer å vere med på argumentasjonen, er det viktig å hugse at ideen om sosial konstruksjon har vore veldig frigjerande for mange. Sosial konstruktivisme har blitt brukt for å bevisstgjere folk. Dette gjeld til dømes kjønnsforsking. For mange kvinner kan det vere frigjerande å sjå på "det kvinnelege" som ein sosial konstruksjon (Hacking 1999). Sosial konstruktivisme kan gi oss nye perspektiv som kan vere nyttige og viktige, og kan føre til ny forståing, sjølv om ein ikkje seier seg einig i alt den hevdar.

Eit kritisk blikk på naturvitskapen kan ofte vere nyttig. Det er farleg å gi vitskapen for mykje autoritet. Forskarar tar ofte feil og å stole blindt på vitskapen kan få enorme negative konsekvensar. Sjølvsagt er det eit ideal innanfor naturvitskapen å kontinuerleg stille kritiske

48 Presentert på fellesseminar ved Fysisk institutt, 18. oktober 2002

spørsmål til alle resultat, men eit sosial–konstruktivistisk utgangspunkt gir nye innfallsvinklar og kan føre til at kritikken tar andre retningar. Mange påstår at så lenge ein er objektiv, verdifri og skeptisk vil ein produsere god vitskap. Men kva er det å vere objektiv og verdifri? Feministar har vist at det faktum at storparten av all vitskap er produsert av menn, faktisk pregar vitskapen på mange måtar, til dømes når det gjeld metode og metaforar som blir brukte. Vitskap med eit feministisk utgangspunkt er eit godt døme på at andre innfallsvinklar føre til "god" vitskap[49]. Mangfald er bra fordi dette kan føre oss nærmare ein allmenn og universell vitskap. Naturvitskapen har fram til nå vore dominert av kvite menn frå øvre middelklasse i rike land. For å utnytte talent, og unngå at fordommar og ubevisste haldningar blir innebygd i vitskapen må me inkludere kvinner, samar, buddhistar og homofile.

Forsvar av naturvitskapen

Både naturvitarar og vitskapsfilosofar har engasjert seg for å argumentere mot kritikken frå sosial–konstruktivismen. Den enorme suksessen naturvitskapen har hatt har vore er eit velbrukt argument i denne samanheng. Vha vitskapen kan me føreseie uvanlege fenomen som me kan sjekke om stemmer. Me har klart å sameine mange teoriar i ein teori, teoriar som i utgangspunktet ikkje hadde noko me kvarandre å gjera. Me kan gjere enormt presise målingar som stemmer bra overeins med teoretiske utrekningar.

Historia har også vist, til naturvitskapens forsvar, at teoriar ofte blir forkasta sjølv om det hadde passa forskarane betre om dei hadde blitt ståande. Gode forskarar held alltid moglegheita oppe for at ein teori er feil. På ein partikkelfysikk–konferanse i Bergen i 1979 uttalte Bjorken følgjande om Standardmodellen: "The situation is remarkably satisfactory...[W]hat I see as the biggest danger...is that experiments become too sharply focused. While searches for what is predicted by the orthodoxy will proceed, searches for phenomena outside the orthodoxy will suffer. Even more important, marginally significant data which support the ortodoxy will tend to be presented to – and accepted by – the community, while data of comparable or even superior quality which disagree with the ortodoxy will tend to be suppressed within an experimental group – and even if presented,

49 Barbara McClintock er eit (litt kontroversielt) døme på dette. Sjå Evelyn Fox Kellers *A feeling for the Organism* (1983) og *Reflections on Gender and Science* (1985).

will not be taken seriously" (Pickering 1984a, s. 236). Fysikarene sjølve er altså fullstendig klar over farene ved å fokusere all forsking på ein teori, og er generelt opptatte av å vere kritiske til sin eigen og andres forsking. Ved BaBar, eit partikkelfysikk–eksperiment som er i gong ved SLAC har ein i høgaste grad tatt konsekvensene av at ønskje om eit spesielt resultat kan verke inn på sluttresultatet. For å hindre seg sjølv i å sjå dei signala dei helst vil sjå bruker dei ein hemmeleg omrekningsformel på resultata før dei blir leste av. Slik veit ingen kva resultata tyder før ein er ferdig med datainnsamling og omrekningsformelen blir brukt på ny for å finne tilbake til dei eigentlege dataa.
Når dette er sagt må det også påpeikast at når ein teoretikar føreseier eit resultat som ikkje blir stadfesta i eksperiment, fører dette oftare til at teorien blir modifisert enn til at han blir forkasta. Det blir også ofte laga teoriar som "føreseier" det ein allereie har sett i eksperiment (Riordan 1987, s. 177). Men vitskapen hadde ikkje nådd langt om ein hadde forkasta alle teoriar ved første motbør. QED er eit døme på ein suksessrik teori som i starten møtte store problem (teorien var ikkje renormaliserbar). Men partikkelfysikarane gav ikkje opp og etter mange år klarte dei å løyse desse problema og endte opp med ein av dei meste elegante teoriane me har i dag, som også stemmer veldig godt med eksperimentelle data.

Ian Hacking er ein vitskapsteoretikar som argumenterer for at me kan stole på eksperimenta våre[50]. Sjølv om observasjon er ladd av teori blir ein observasjon ståande trass i teoriforandring. Det same talet blir lest av eit apparat uavhengig av kva teorien seier om kva me skal tolke ut av det. Ein eksperimentalist kan blande seg inn i eksperimentet, ho kan manipulere objekt og fenomen. ("If you can spray them they are real"). Me blir styrka i trua på eit fenomen ved uavhengig stadfesting, dvs ved å sjå det same fenomenet i ulike testar og i ulike apparat gjort av uavhengige laboratorium. I partikkelfysikken er det ofte slik at det bare finst eit laboratorium med rett energi, rett type partikkelstråle og rett type detektor til å teste ein teori eller eit fenomen. For å vere sikre på at dette gir oss korrekte resultat bruker me kalibrering av utstyr og lar apparaturen reprodusere kjente fenomen. Me eliminerer feilkjelder og alternative forklaringar av eit resultat (Franklin 1998). Roger Newton bruker dette til å argumentere mot Collins "experimenters regress" (nemnt i kap. 5.2). Eksperimentalistane utfører ei stor mengd varierte eksperiment for å teste eit fenomen. For å

50 I bøkene *Do we see through a microscope?* (1981) og *Representing and intervening* (1983).

teste apparaturen blir alle komponentane testa kvar for seg før dei blir sett saman (Newton 1997, s. 44). Eit døme på dette er detektorar i partikkelfysikk–eksperiment. Detektorane er, som eg nemnde i kapittel tre, sett saman av mange ulike komponentar. Alle desse blir testa nøye kvar for seg før detektoren blir sett saman til eit stort apparat.

Eit kompromiss?

Desse argumenta fungerer bra for ein fysikar, men ein sosial–konstruktivist vil nok ikkje la seg overtyde. Han har som utgangspunkt at det ikkje eksisterer ein objektiv realitet som naturvitarane kan oppdage. Gapet er stort og føresetnadane som ligg under stikk for djupt til at denne "krigen" nokon gong kan ta slutt. (Kanskje det her er på sin plass her å bruke Thomas Kuhn og seie at ein naiv realist og ein sosial–konstruktivist lever i to ulike paradigme). Føresetnadane dei legg til grunn er svært ulike, og dermed blir det mykje til at motstandarane snakkar forbi kvarandre. Store delar av debatten mellom "dei to kulturane" har vore prega av mangel på respekt og kunnskap frå begge hald, men i botn av denne disputten ligg eit stort gap som ikkje er lett å komme over. På den eine sida står dei som meiner at naturvitskapleg aktivitet handlar om å avdekkje løyndommane til naturen. På den andre sida står dei som meiner at det handlar om sosiale konstruksjonar som godt kan vere nyttige, men som ikkje representerer ei universelle sanning. Det vil derfor vera umogleg å inngå kompromiss. Ved å respektere og studere den "andre kulturen" kan ein bli samde om mykje, men hovudkonflikta vil alltid liggje der. Eg trur desse spørsmåla høyrer til blant dei evige spørsmål. Likevel er dei viktige å ta opp. Gjennom diskusjon kan me korrigere fordommar og feil, sjølv om diskusjonen ikkje skulle føre oss mot ei sanning.

9 BIBLIOGRAFI

Abachi, S. et al.: *Observation of the Top Quark*, arXiv:ph–ex/9503003

Aubert, B. et al.: *Further Observations of Muonless Neutrino–Induced Inelastic Interactions*, Phys. Rev. Lett. 32, 1974, s. 1454–1457.

Aubert, J. J. et al.: *Experimental Observation of a Heavy Particle J*, Phys. Rev. Lett. 33, 1974, s. 1404–1406.

Augustin, J. E. et al.: *Discovery of a Narrow Resonance in* e^+e^- *Annhilation*, Phys. Rev. Lett. 33, 1974, s. 1406–1408.

Baigrie, Brian S: "Scientific Practice: The View from the Tabletop", i Buchwald, Jed Z: *Scientific Practice: Theories and Stories of doing Physics*, Chicago, University of Chicago Press 1995.

Benvenuti, A. et al.: *Observation of Muonless Neutrino–Induced Inelastic Interactions*, Phys. Rev. Lett. 32, 1974, s. 800–803.

Bjorken, James D.: *The November revolution – a theorist reminisces*, juli 1985: http://www.slac.stanford.edu/history/pubs/bjorkennov.pdf

Bloor, David: Knowledge and Social Imagery, London, Routledge and Kegen Paul 1976.

Breidenbach, M. Et al.: *Observed behaviour of highly inelastic electron–proton scattering*, Phys. Rev. Lett. 23, 1969, s. 935–939.

Brown, James Robert: *Who Rules in Science*, Cambridge, Harvard University Press 2001.

Cahn, Robert N. og Gerson Goldhaber: *The Experimental Foundations of Particle Physics*, Cambridge, Cambridge University Press 1989.

Close, Frank, Michael Marten og Christine Sutton: *The Particle Odyssey*, New York, Oxford University Press 2002.

Crease, Robert P.: *This is your philosophy*, Physics World, April 2002.

Ellis, John: *Particle Physics at Future Colliders*, oktober 2002: arXiv:hep–ex/0210052

Feyerabend, Paul: *Farewell to Reason*, London, Verso 1987.

Feyerabend, Paul: *Three Dialogues on Knowledge*, Oxford, Basil Blackwell 1991.

Franklin, Allan: Experiment in physics, Stanford Encyclopedia of Philosophy 1998: plato.stanford.edu/entries/physics–experiment/

Galison, Peter: *How Experiments End*, Chicago, The University of Chicago Press 1987.

9 BIBLIOGRAFI

Galison, Peter: "Context and Constraints", i Buchwald, Jed Z: *Scientific Practice: Theories and Stories of doing Physics*, Chicago, University of Chicago Press 1995.

Grünewald, Martin W.: *Electroweak Physics*, oktober 2002, arXiv:hep–ex/0210003.

Hacking, Ian: "Introduction", i Buchwald, Jed Z: *Scientific Practice: Theories and Stories of doing Physics*, Chicago, University of Chicago Press 1995.

Hacking, Ian: *The Social Construction of What*, Cambridge, Harvard University Press 1999.

Hasert, F. J., et al.: *Observations of Neutrino−like Interactions without Muon or Electron in the Gargamelle Neutrino Experiment*, 1973, Phys. Lett., 45B, 138−140.

Kuhn, Thomas: *Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, The University of Chicago Press, 1970 (2. utg.).

Latour, Bruno og Steven Woolgar: *Laboratory Life: The Social Construction of Knowledge*, Beverly Hills, Sage 1979.

Mandl, F. og G. Shaw: *Quantum Field Theory*, Chichester, John Wiley & Sons 1984.

Murayama, Hitoshi: *Theory of neutrino masses and mixing*, januar 2002: arXiv:hep–ph/0201022

Newton, Roger: *The Truth of Science*, Cambridge, Harvard University Press 1997.

Nydal, Rune: *I vitenskapens tid*, Oslo, Spartacus 2002.

Pickering, Andrew: *Constructing Quarks. A socialogical History of Particle Physics*, Chicago, The University of Chicago Press 1984a.

Pickering, Andrew: "Against Putting the Phenomena First: The Discovery of the Weak Neutral Current", i *Studies in the History of Philosophy of Science* 1984b.

Pickering, Andrew: "From Science as Knowledge to Science as Practice", I Pickering, Andrew (red.): *Science as Practice and Culture*, Chicago, The University of Chicago Press 1992.

Pickering, Andrew: "Beyond Constraints: The temporality of Practice and the Historicity of Knowledge", i Buchwald, Jed Z: *Scientific Practice: Theories and Stories of doing Physics*, Chicago, University of Chicago Press 1995a.

Pickering, Andrew: *The Mangle of Practice. Time, Agency and Science*, Chicago, The University of Chicago Press 1995b.

Popper, Karl R: "Epistemology without a knowing subject", i *Objective Knowledge, An Evolutionary Approach*, Oxford, Oxford University Press, 1972

9 BIBLIOGRAFI

Povh, Bogdan, Klaus Rith, Christoph Scholz og Frank Zetsche: *Particles and Nuclei: An Introduction to the Physical Concepts*, Berlin, Springer–Verlag 1999.

Riordan, Michael: *The Hunting of the Quark*, New York, Simon & Schuster, Inc. 1987.

Skirbekk, Gunnar og Nils Gilje: *Filosofihistorie I,* Bergen, Universitetsforlaget 1994 (5. utg., 2. opplag).

Weinberg, Steven: *Facing up*, Cambridge, Harvard University Press 2001.

Wilson, Kenneth G.: *Autobiography*, http://www.nobel.se/physics/laureates/1982/wilson–autobio.html

Peter L. Galison si heimeside: www.fas.harvard.edu/~hsdept/faculty/galison/index.html

Andrew Pickering si heimeside: www.soc.uiuc.edu/profile.asp?login=pickerin

Heimesida til LHC: http://lhc–new–homepage.web.cern.ch/lhc–new–homepage/

Heimesida til ATLAS: http://atlasexperiment.org/

10 ILLUSTRASJONSLISTE