

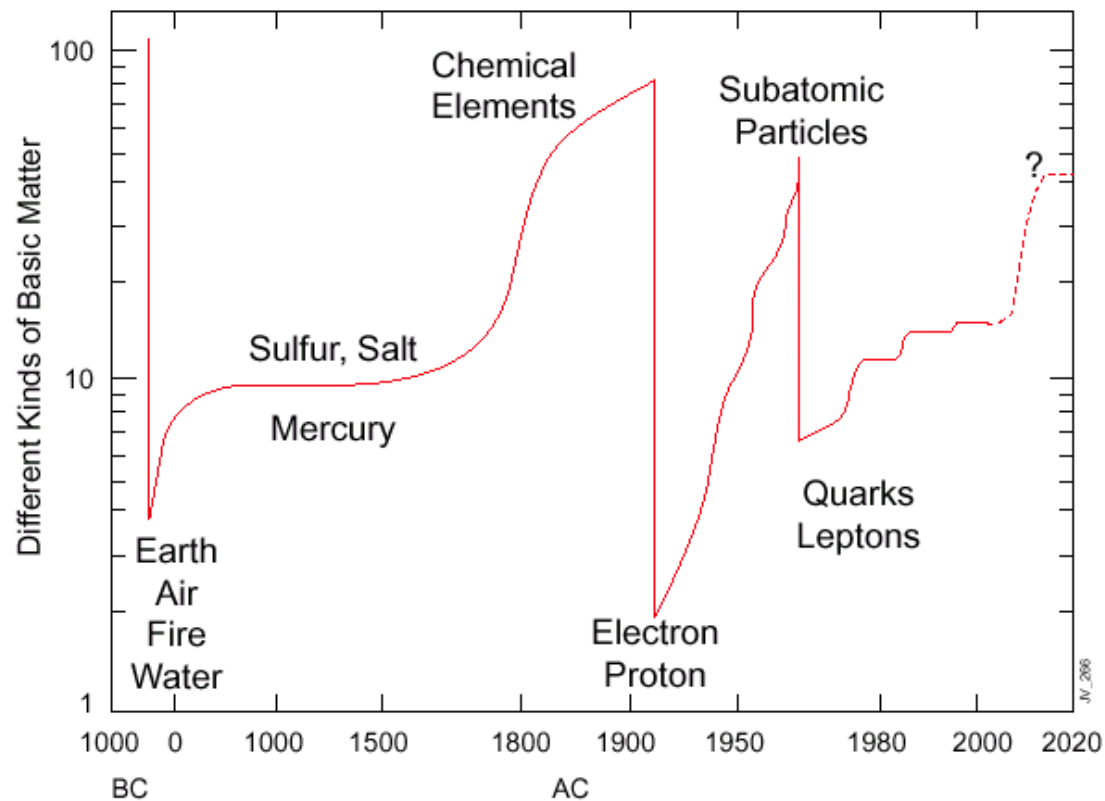
Introduksjon til partikkelfysikk

Trygve Buanes

Tidlig historie

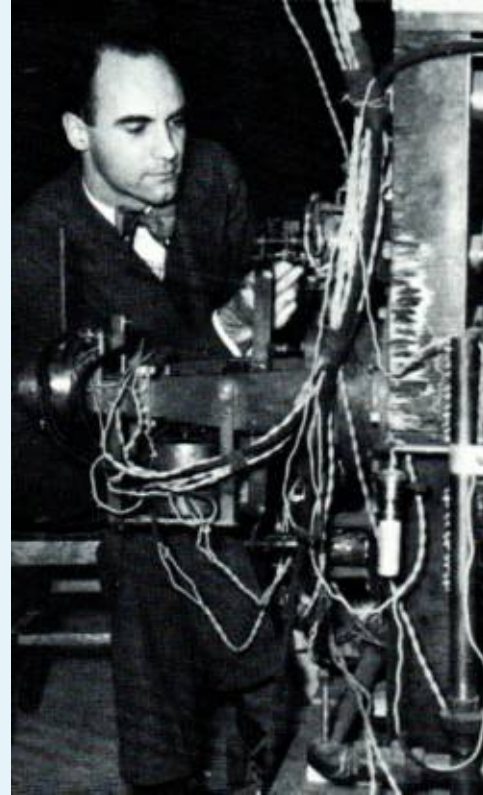
Fundamentale byggestener gjennom historien

Constituents of Matter



De første partiklene

- 1897 – Thomson oppdager **elektronet**
- 1919 – Rutherford oppdager **protonet**
- 1929 – Skobeltsyn observerer “positive elektroner”
- 1932 – Chadwick oppdager **neutronet**
- 1932 – Anderson oppdager **positronet**

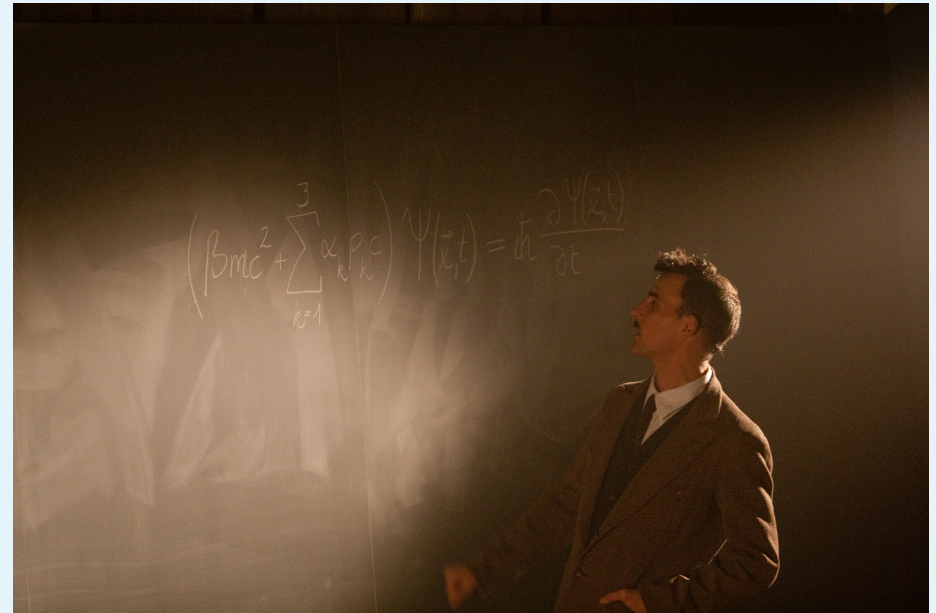


Antimaterie

- I arbeidet med å forene relativitetsteori og kvantemekanikk fant Dirac at ligningen for elektronet hadde en ekstra løsning med positiv ladning

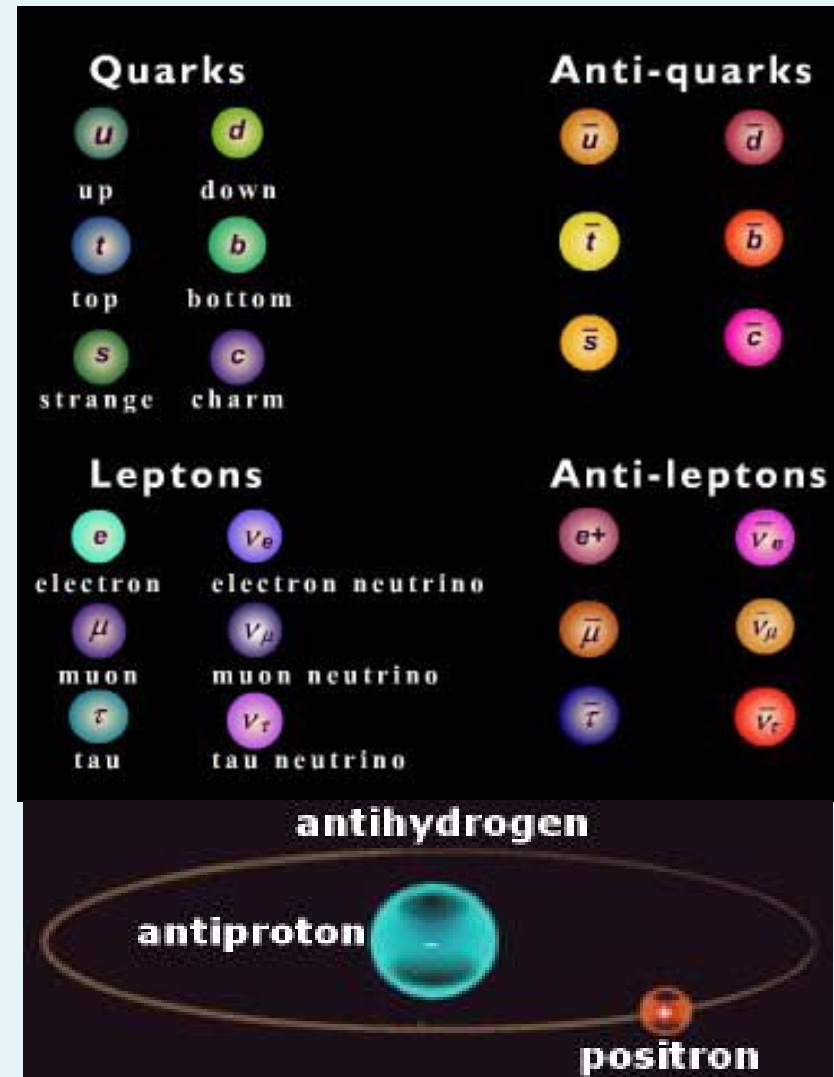
→positron

- Alle partikler har en tilsvarende antipartikkel med motsatte kvantetall (noen partikler er sin egen antipartikkel)



Antimaterie

- Antipartikler har motsatte indre kvantetall i forhold til partikler
- Når en partikkel møter sin antipartikkel kan de annihilere
 - massen deres blir frigjort i form av energi
- Antipartikler kan settes sammen til antiatomer



Stråling fra himmelen

- Bakgrunnstrålingen som kunne observeres i laboratorier var antatt å komme fra radioaktivitet i jorden
- Målinger over vann tydet på at denne hypotesen var feil
- Da man begynte å gjøre målinger i større høyde fant man
 - først avtok strålingen med økende høyde
 - etterhvert begynte strålingen å øke til et høyere nivå enn ved bakken



Stråling fra himmelen

- Kosmisk stråling viste seg å være et godt “laboratorium” for å studere høyenergifysikk
- Flere ukjente partikler ble identifisert i den kosmiske strålingen
- Positronet var den første partikkelen som ble oppdaget slik



Who ordered that?

- Midt på 1930-tallet hadde man identifisert alle partiklene som trengs for å bygge opp det vi ser rundt oss
- Fotonet var anerkjent som bærer av den elektromagnetiske kraften, og man lette etter bæreren for den sterke kraften i kosmisk stråling
- En god kandidat ble funnet, men det viste seg å være noe helt annet: **myon**
 - myonet passet ikke inn i bildet, og virket overflødig



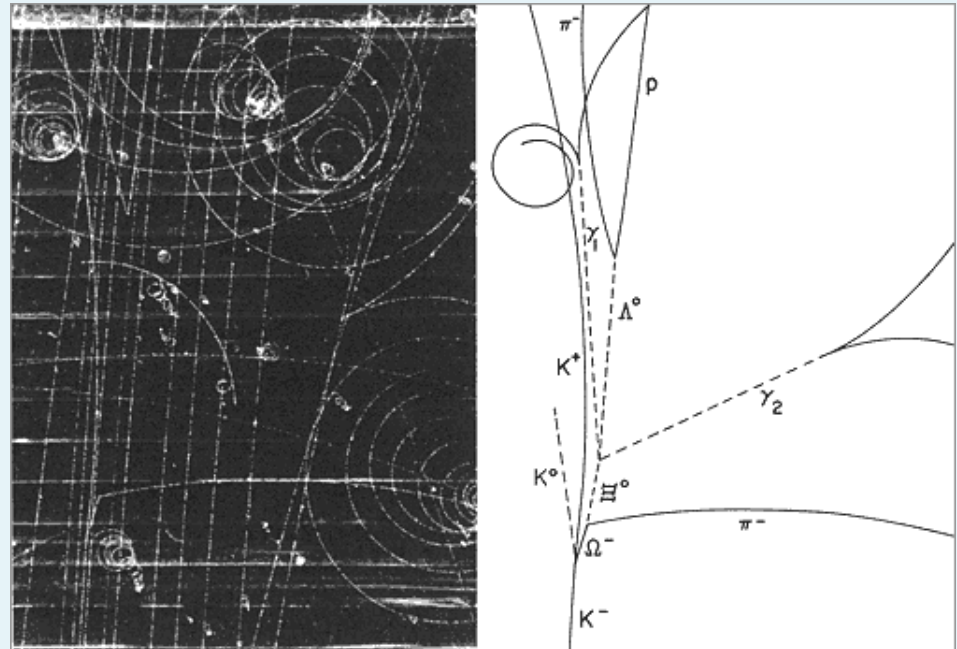
Kollisjonsmaskiner

- Kosmisk stråling er vanskelig å arbeide med fordi
 - du vet ikke hvor og når kollisjoner vil skje
 - kollisjoner skjer et sted der det er vanskelig å plassere en detektor (øverst i atmosfæren)
 - du kan ikke bestemme hva slags kollisjoner du vil ha
- Maskiner som aksellerer og kolliderer partikler gir mye mer fleksibilitet



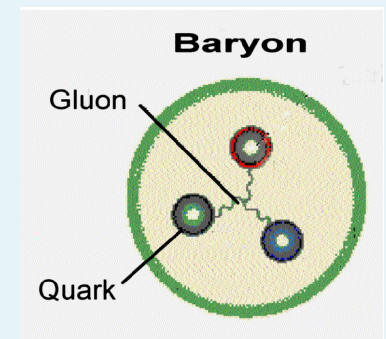
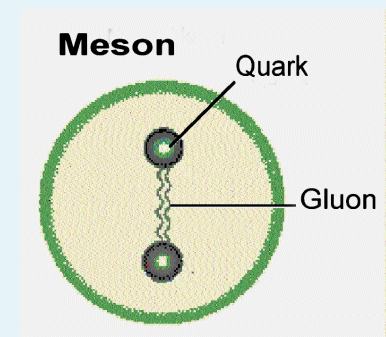
Kollisjonsmaskiner

- Utviklingen av stadig kraftigere akseleratorer ga en flom av nye partikler
- Det store antallet partikler fikk folk til å se etter et underliggende mønster
 - analogt med det periodiske system
- På 60-tallet ble det foreslått at et lite antall kvarker kunne kombineres på ulike måter og dermed forklare det store antallet partikler



Partiklene satt i system

- Leptoner (elektron, myon, nøytrino, ...)
 - antas å være elementære
 - vekselvirker gjennom den svake kraften, og den elektromagnetiske i de tilfellene der de er elektrisk ladd
 - kan være stabile eller ustabile
- Mesoner
 - består av en kvark og en anti-kvark
 - vekselvirker gjennom alle krefter
 - alle er ustabile
- Baryoner
 - består av tre kvarker
 - vekselvirker gjennom alle krefter
 - kan være stabile(?) eller ustabile



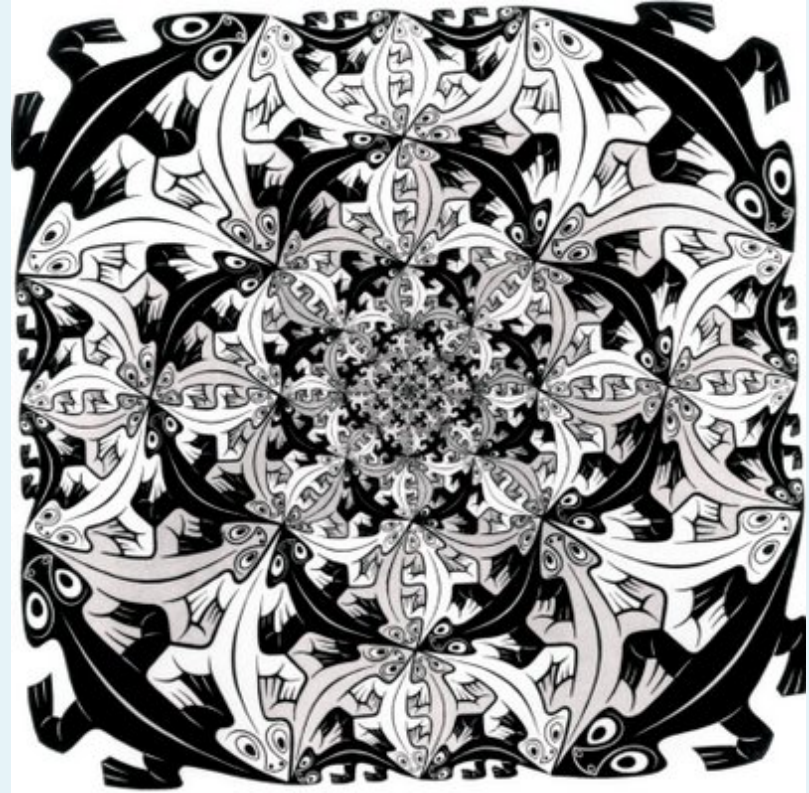
Konserveringslover og symmetrier

Eksempler på konserveringslover

	Kvantisert	Beskrivelse	
Energi	Nei	En partikkel kan ikke henfalle til partikler med mer energi enn den opprinnelige partikkelen	
Bevegelsesmengde	Nei	En partikkel kan ikke henfalle til mindre enn to nye partikler	
Dreiemoment	Ja	Sum av spinn og romlig dreiemoment må være likt før og etter henfall	
Ladning	Ja	Ladning må være likt før og etter henfall	

Symmetrier

- En fysisk lov er symmetrisk under en **transformasjon** hvis sluttresultatet ikke endres av transformasjonen
 - et kvadrat ser likt ut etter å ha blitt rotert 90 grader
 - en sirkel ser lik ut etter en vilkårlig symmetri



Symmetrier og konserveringslover

- Noethers teorem:
Til enhver kontinuerlig symmetri hører det en konserveringslov
- Ved å identifisere alle symmetriene til en teori finner vi alle de konserverte størrelsene



Eksempler på konserveringslover

	Kvantisert	Beskrivelse	Symmetri
Energi	Nei	En partikkel kan ikke henfalle til partikler med mer energi enn den opprinnelige partikkelen	Ingen endring i tid
Bevegelsesmengde	Nei	En partikkel kan ikke henfalle til mindre enn to nye partikler	Ingen endring ved translasjon
Dreiemoment	Ja	Sum av spinn og romlig dreiemoment må være likt før og etter henfall	Ingen endring ved rotasjon
Ladning	Ja	Ladning må være likt før og etter henfall	Ingen endring ved gauge-transformasjon

Nesten-symmetrier

- Det ble oppdaget at noen hadroner hadde mye lengre levetid enn andre
- Hadronene med lang levetid ble kalt sære (strange)
- Den lange levetiden tilskrives en nesten-symmetri som gjør at særtall (særhet?) nesten er bevart
- Særtall viser seg å være knyttet til en symmetri som den sterke kraften respekterer, men ikke den svake

STRANGE QUARK S



The 2nd generation of down quark, **STRANGE QUARK** weighs about the same as a muon and was discovered in 1968.

Acrylic felt with poly bead fill for medium mass.

\$9.75 PLUS SHIPPING

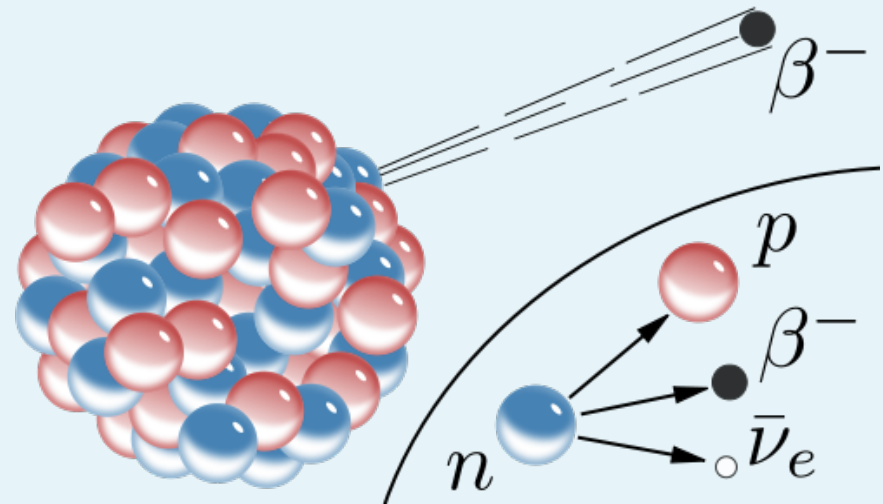
●●●●●●●●○○○○○○○○
LIGHT HEAVY

GLUON PHOTON NEUTRINO TACHYON ELECTRON UP QUARK DOWN QUARK TAU NEUTRINO MUON UP QUARK
NEUTRON DOWN QUARK TAU GLUON **STRANGE QUARK** NEUTRINO TACHYON ELECTRON UP QUARK D
TAU NEUTRINO MUON UP QUARK PROTON NEUTRON DOWN QUARK TAU GLUON PHOTON NEUTRINO TA
EL
NEUTRINO MUON UP QUARK PROTON NEUTRON DOWN QUARK TAU GLUON PHOTON NEUTRINO TACHYON
ELECTRON UP QUARK DOWN QUARK

The PARTICLE ZOO

Neutrinoet og bevaring av bevegelsesmengde

- I et β -henfall spytter en atomkjerne ut et elektron
 - Selv med utgangspunkt i identiske kjerner varierer elektronet sin energi
 - Tilsynelatende er ikke både energi og bevegelsesmengde bevart
 - Pauli foreslo at det måtte sendes ut en annen partikkel samtidig som ikke blir observert
- neutrino



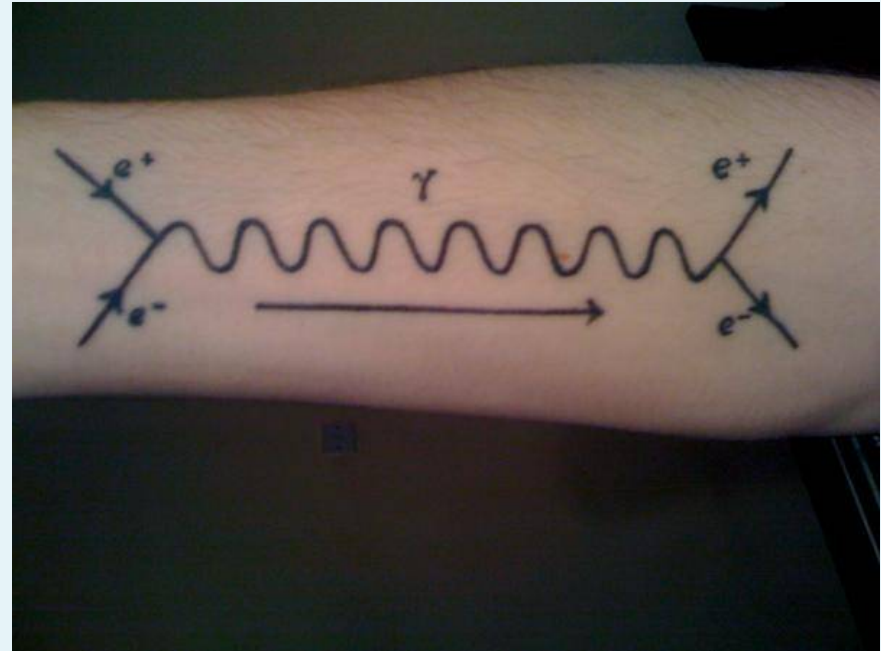
CPT

- Tre viktige transformasjoner
 - Charge conjugation (C): Ombytte av partikkel og antipartikkel
 - Parity transformation (P): Endre fortegn på alle romlige koordinater
 - Time reversal (T): Snu tidsretningen
- Alle tre transformasjonene er symmetrier for elektromagnetiske og sterke vekselvirkninger, men ikke for svake
 - C og P er ikke symmetrier til svak vekselvirkning, men kombinasjonen CP er en omtrentlig symmetri
 - brudd på CP er nødvendig for å forklare at det er mer materie enn antimaterie i universet
 - CP-bruddet til den svake vekselvirkningen er ikke tilstrekkelig
- Kombinasjonen CPT er (antakelig) en fullstendig symmetri for alle kreftene

Feynmandiagrammer

Feynmandiagrammer

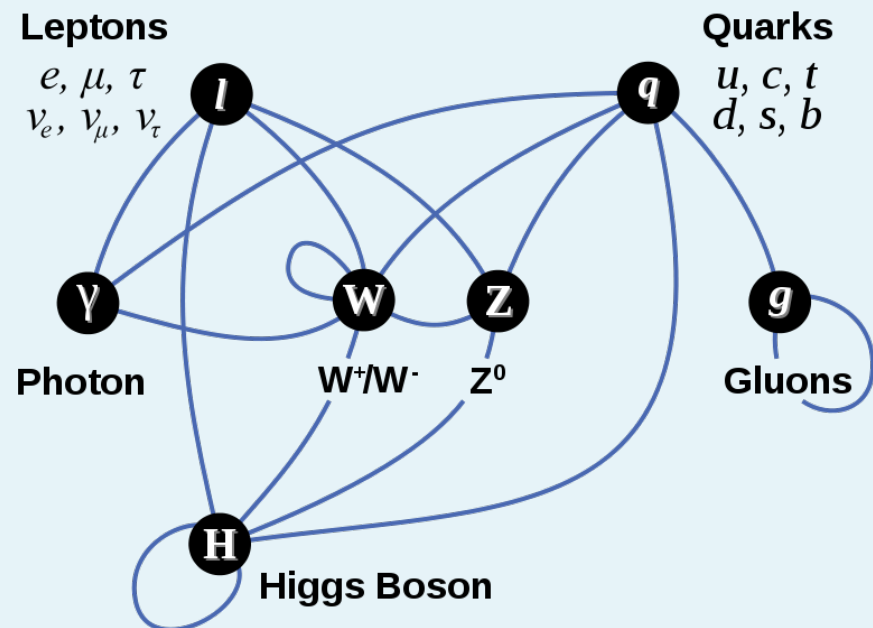
- Symbolsk fremstilling av partikler og krefter
- Diagrammene har et en-til-en forhold til ledd i en integralligning som brukes til å regne ut sannsynligheten for den aktuelle prosessen
- Også nyttig for å få oversikt over hvilke prosesser som kan skje



Standardmodellen

Standardmodellen

- Standardmodellen er en matematisk modell som beskriver det vi i dag vet om partikkelfysikk
- Modellen fikk i hovedsak sin form på 1970-tallet
- Ingen eksperimentelle resultater fra partikkelfysikk strider utvetydig med standardmodellen
- En viktig ingrediens er fremdeles ikke bekreftet: **Higgs**



Partiklene i standardmodellen

THE STANDARD MODEL

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	

Higgs*
boson

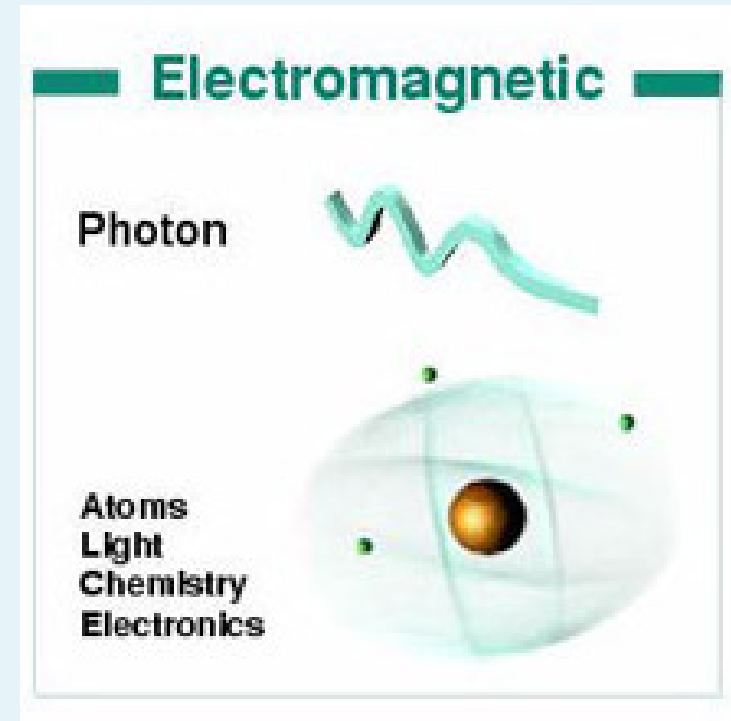
*Yet to be confirmed

Source: AAAS

- Tre generasjoner med partikler
- 12 materie partikler (fermioner)
 - 6 kvarker
 - 6 leptoner
- 4 kraftbærende partikler (bosoner)
- 1 partikkel som gir andre partikler masse (boson)

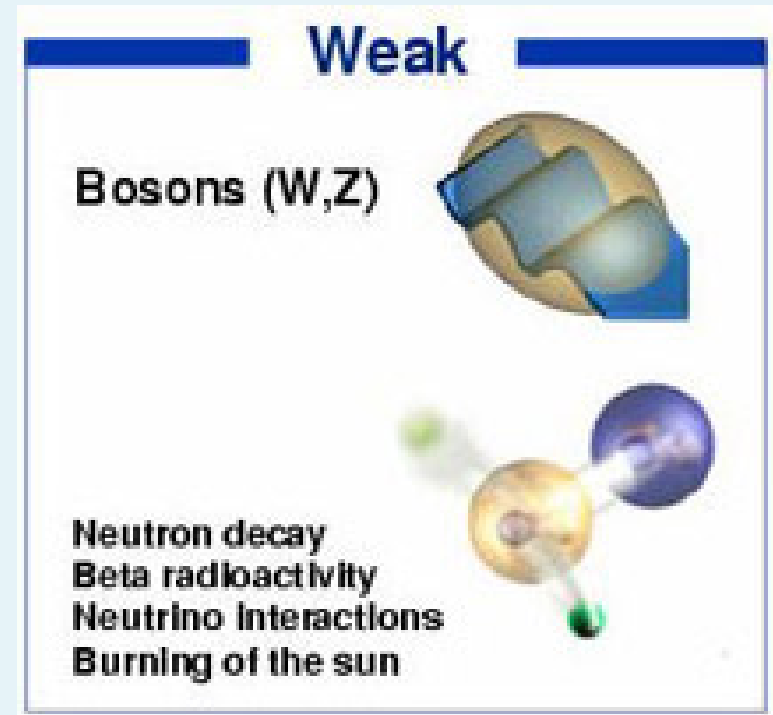
Elektromagnetisk kraft

- Den elektromagnetiske kraften binder sammen elektroner og protoner til atomer
- **Fotonet** er bæreren av den elektromagnetiske kraften
- Alle partikler med elektrisk ladning påvirkes av den elektromagnetiske kraften
- Siden fotonet er masseløst har den elektromagnetiske kraften uendelig rekkevidde



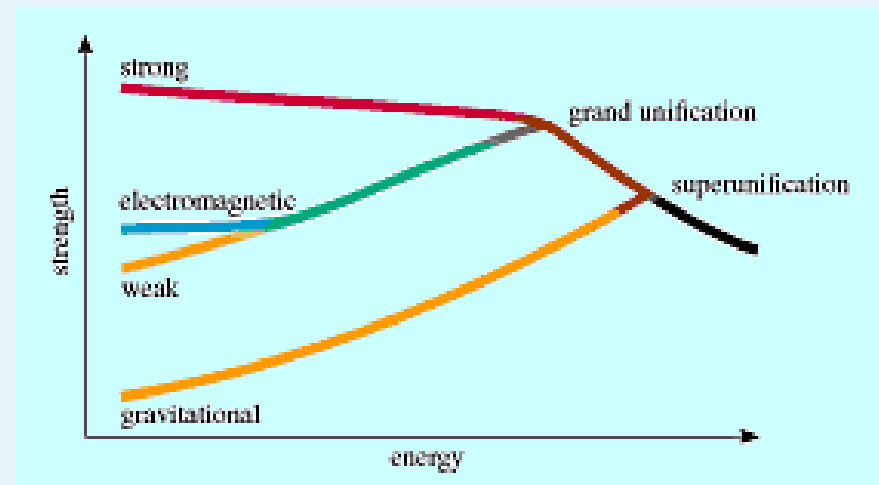
Den svake kraften

- Den svake kraften forårsaker henfallet til en rekke partikler
- Den svake kraften formidles av tre partikler: W^{\pm}, Z^0
- Tunge kraftformidlere gjør at den svake kraften har svært kort rekkevidde ($\sim 10^{-17}$ m)
- Den svake kraften virker på alle materiepartikler i standardmodellen

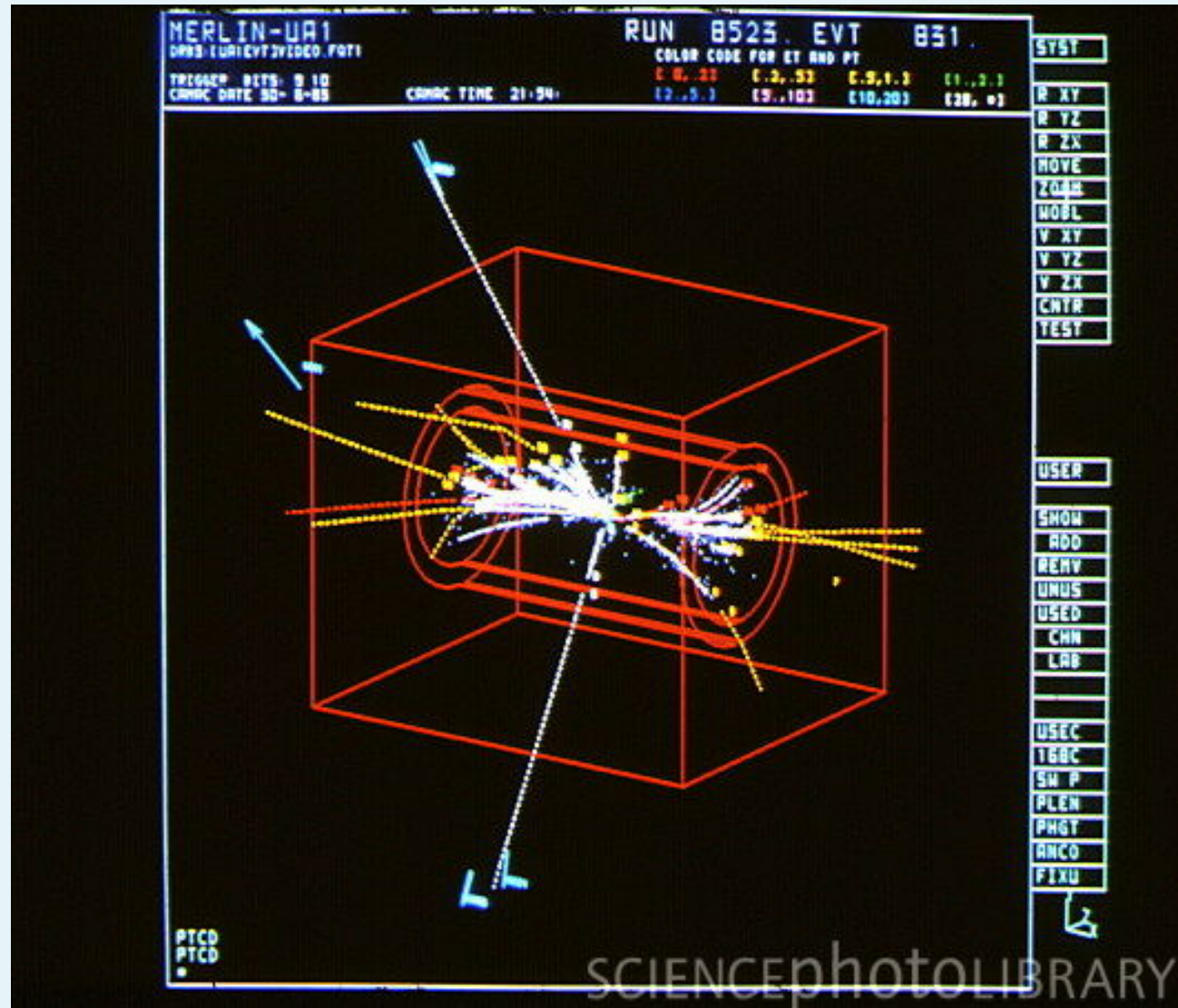


Elektrosvak forening

- Elektromagnetisme og svak kraft viser seg å være to sider av samme sak
- Kontrasten mellom de tunge W^\pm og Z^0 , og det masseløse fotonet får kreftene til å virke svært ulike ved lave energier
- Ved høyere energier oppfører de seg likt
- Man håper å finne en tilsvarende forening med de andre kreftene

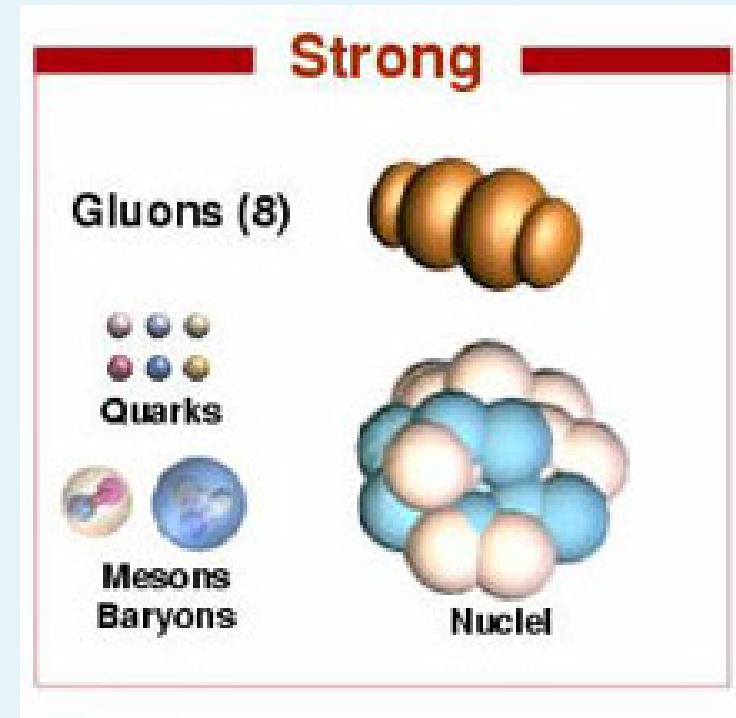


Oppdagelsen av Z bosonet



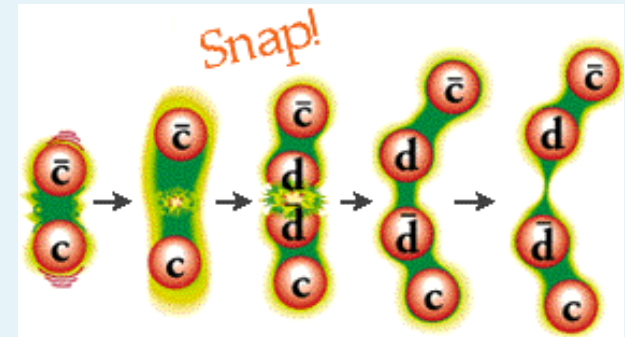
Den sterke kraften

- Den sterke kraften holder kvarkene samlet til hadroner
- **Gluoner** formidler den sterke kraften
- Gluoner er masseløse, men den sterke kraften har likevel svært kort rekkevidde ($\sim 10^{-15}$ m) pga gluon-gluon vekselvirkning
- Den sterke kraften virker på alle partikler med "fargeladning", dvs kvarker og gluoner



Fengslende farger

- Sterke vekselvirkninger blir sterkere når partiklene fjernes fra hverandre
- Det er ikke mulig å rive en kvark eller et gluon ut av et hadron
- Hvis et hadron tilføres mye energi strekkes gluonfeltet ut til en tube, og når den ryker dannes et kvark-antikvark-par slik at frie kvarker aldri opptrer



Den siste kvarken



Higgs-mekanismen

- Hvis man setter inn partikkelmasser “for hånd” i standardmodellens ligninger beskriver ikke modellen naturen riktig
- Eneste løsning er å generere massene dynamisk
- Higgsmekanismen gir masse til partikler gjennom å innføre et nytt kvantefelt som partiklene vekselvirker med



Higgspartikkelen

- Higgsmekanismen forutsier at det finnes en ny partikkel: **Higgsbosonet**
- Den viktigste oppgaven til ATLAS og CMS er å finne higgsbosonet
- Teorien forteller ikke hvor stor massen til higgsbosonet er, men eksperimentelle resultater tyder på at det er like rundt hjørnet



Higgs slik den kan se ut i ATLAS

