

Tungionfysik

Stærke kernekrafter på kanten

Christian Holm Christensen
Master Class

UNIVERSITY OF COPENHAGEN



Oversigt

Standard Modellen

Eksperimentet

Tungion fysik

Afslutning

Oversigt

Standard Modellen

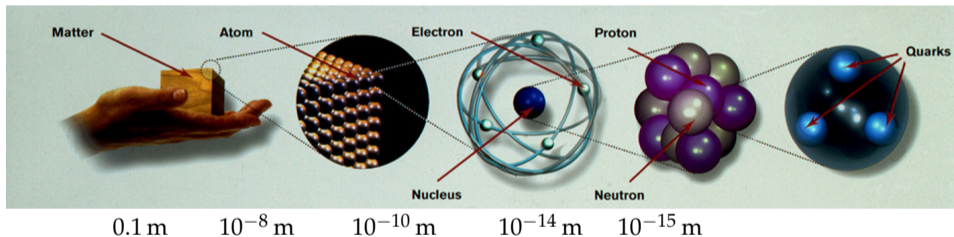
Eksperimentet

Tungion fysik

Afslutning

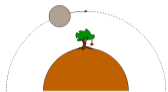
Standard Modellen

- Beskriver *hvad* vi forstår ved stof — partikler
- Beskriver *hvordan* stof opfører sig — vekselvirkninger



Atom-kernen består af kerne partikler: protoner og neutroner
Kerne partikler består af kvarker

Der er 4 vekselvirkninger

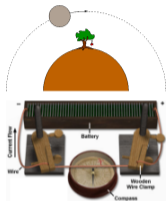


Tyngde

Æblet falder til jorden,
månen bliver i sin bane

Krumning af rum-tid

Der er 4 vekselvirkninger



Tyngde

Æblet falder til jorden,
månen bliver i sin bane

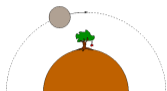
Krumning af rum-tid

Elektro-
magnetisme

Lys, strøm

Fotoner (γ)

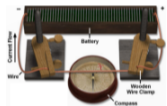
Der er 4 vekselvirkninger



Tyngde

Æblet falder til jorden,
månen bliver i sin bane

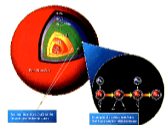
Kruming af rum-tid



Elektro-
magnetisme

Lys, strøm

Fotoner (γ)

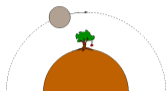


Svage
kernekræft

Tunge grundstoffer

W^\pm, Z^0 bosoner

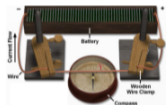
Der er 4 vekselvirkninger



Tyngde

Æblet falder til jorden,
månen bliver i sin bane

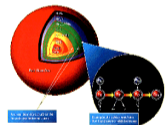
Kruming af rum-tid



Elektro-
magnetisme

Lys, strøm

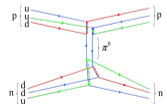
Fotoner (γ)



Svage
kernekræft

Tunge grundstoffer

W^\pm, Z^0 bosoner



Stærke
kernekræft

Atom-kernen

Gluoner (g)

Partikel ZOO'et

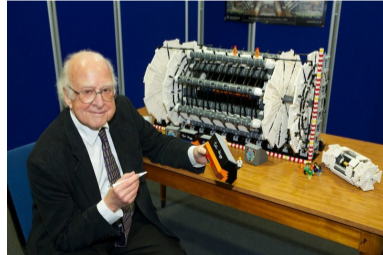
Fermioner				Bosoner		
Kvarker	u	c	t	γ	Kræft-formidler	
	d	s	b			
Leptoner	ν_e	ν_μ	ν_τ			W
	e	μ	τ			

- *Ferminoer* er 'stof'-partikler
- *Bosoner* udveksler energi mellem stof
- Kerne-stof består af *kvarker*
- *Leptoner* står for stoffets kemiske egenskaber

Partikel ZOO'et

Fermioner				Bosoner	
Kvarker	u	c	t	γ	Kræft-formidler
	d	s	b	Z	
Leptoner	ν_e	ν_μ	ν_τ	W	
	e	μ	τ	g	
				h	

- *Ferminoer* er 'stof'–partikler
- *Bosoner* udveksler energi mellem stof
- Kerne–stof består af *kvarker*
- *Leptoner* står for stoffets kemiske egenskaber
- *Higgs* bosonen 'giver' masse til de andre partikler



Få Byggestene

- Heisenbergs usikkerhedsrelationer

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

- Einsteins relativitetsteori

$$E = mc^2$$

- Fører til beskrivelse af partikler som felter der spænder hele universet.

Få Byggestene

- Heisenbergs usikkerhedsrelationer

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

- Einsteins relativitetsteori

$$E = mc^2$$

- Fører til beskrivelse af partikler som felter der spænder hele universet.

This pulsating energy field is the central engine of our being and our consciousness, the alpha and omega of our existence.

Lynne McTaggart, *The Field: The Quest for the Secret Force of the Universe*

Få Byggestene

- Heisenbergs usikkerhedsrelationer

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

- Einsteins relativitetsteori

$$E = mc^2$$

- Fører til beskrivelse af partikler som felter der spænder hele universet.
- Vekselvirkninger er “pulser” i disse felter

This pulsating energy field is the central engine of our being and our consciousness, the alpha and omega of our existence.

Lynne McTaggart, *The Field: The Quest for the Secret Force of the Universe*

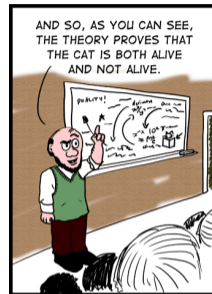
Usikkerhedsrelationerne

- Heisenbergs usikkerhedsrelation

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

udtrykker kvantemekanikken

- Δx er usikkerheden i stedet
- Δp er usikkerheden i impulsen (hastigheden).
- Hvis $\Delta x = 0$ så er $\Delta p = \infty$ og vice versa for at relationen er opfyldt.
- Fører til at alt må betragtes som sandsynligheder som først realiseres når der er en vekselvirkning.



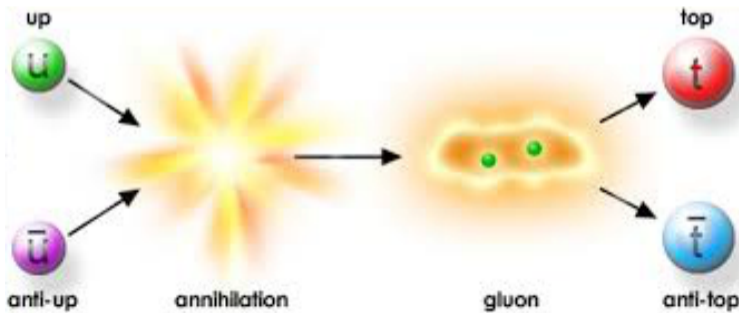
Stof er energi

- Einsteins berømte sætning

$$E = mc^2$$

siger at masse (eller partikler) og energi er det samme

- Alle typer partikler har en anti-partikel (e^+/e^- , u/\bar{u} , ...)
- Kan lave tungere partikler ved at tilføjer energi



Selve formelen

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes

Selve formelen

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes
 - Avanceret elektronik, ren fusion, osv.

Selve formelen

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes
 - Avanceret elektronik, ren fusion, osv.
- Forudsigelser:

Selve formelen

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes
 - Avanceret elektronik, ren fusion, osv.
- Forudsigelser:
 - Higgs partikel

Selve formelen

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes
 - Avanceret elektronik, ren fusion, osv.
- Forudsigelser:
 - Higgs partikel — fundet

Selve formlen

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes
 - Avanceret elektronik, ren fusion, osv.
- Forudsigelser:
 - Higgs partikel — fundet
 - Quark-Gluon Plasma

Selve formlen

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes
 - Avanceret elektronik, ren fusion, osv.
- Forudsigelser:
 - Higgs partikel — fundet
 - Quark-Gluon Plasma — måske set

Selve formelen

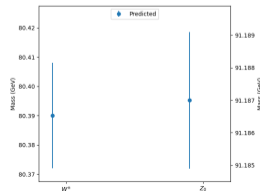
$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi iy_{ij}\psi_j\phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes
 - Avanceret elektronik, ren fusion, osv.
- Forudsigelser:
 - Higgs partikel — fundet
 - Quark-Gluon Plasma — måske set

Forudsigelse

$$m_W = 80.390 \pm 0.018 \text{ GeV}$$

$$m_Z = 91.1874 \pm 0.0021 \text{ GeV}$$



Selve formlen

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \psi iy_{ij}\psi_j\phi + \text{h.c.} + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

- Fra denne kan nær sagt alt udledes
 - Avanceret elektronik, ren fusion, osv.
- Forudsigelser:
 - Higgs partikel — fundet
 - Quark-Gluon Plasma — måske set

Forudsigelse

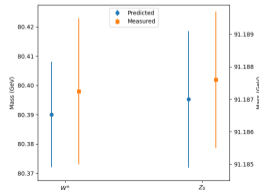
$$m_W = 80.390 \pm 0.018 \text{ GeV}$$

$$m_Z = 91.1874 \pm 0.0021 \text{ GeV}$$

Målt

$$m_W = 80.398 \pm 0.025 \text{ GeV}$$

$$m_Z = 91.1876 \pm 0.0021 \text{ GeV}$$



Det makroskopiske stof og standardmodellen

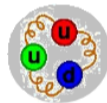
- Kvarker: forskellig ladning, masse

Kvark	Masse (MeV)	Ladning
u	2.2 $^{+0.6}_{-0.4}$	+2/3
d	4.7 $^{+0.5}_{-0.4}$	-1/3
c	1270 ± 30	+2/3
s	96 $^{+8}_{-4}$	-1/3
t	173 200 ± 900	+2/3
b	4180 $^{+40}_{-30}$	-1/3

Det makroskopiske stof og standardmodellen

- Kvarker: forskellig ladning, masse
- Kerne-partikler: 3 kvarker, bundet af gluoner (stærke kernekraft)
 - Lette kerner: $N_{\text{proton}} \approx N_{\text{neutron}}$

Kvark	Masse (MeV)	Ladning
u	2.2 $\begin{smallmatrix} +0.6 \\ -0.4 \end{smallmatrix}$	+2/3
d	4.7 $\begin{smallmatrix} +0.5 \\ -0.4 \end{smallmatrix}$	-1/3
c	1 270 ± 30	+2/3
s	96 $\begin{smallmatrix} +8 \\ -4 \end{smallmatrix}$	-1/3
t	173 200 ± 900	+2/3
b	4 180 $\begin{smallmatrix} +40 \\ -30 \end{smallmatrix}$	-1/3



Proton p

uud: to up og én down kvark

Ladning: $+1 = 2/3 + 2/3 - 1/3$

Neutron n

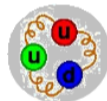
udd: én up og to down kvarker

Ladning: $0 = 2/3 - 1/3 - 1/3$

Det makroskopiske stof og standardmodellen

- Kvarker: forskellig ladning, masse
- Kerne-partikler: 3 kvarker, bundet af gluoner (stærke kernekraft)
 - Lette kerner: $N_{\text{proton}} \approx N_{\text{neutron}}$
- Atomer: kerne og elektroner, bundet af fotoner (elektromagnetiske kraft)
 - $N_{e^-} = N_{\text{proton}}$

Kvark	Masse (MeV)	Ladning
u	2.2 $\begin{smallmatrix} +0.6 \\ -0.4 \end{smallmatrix}$	+2/3
d	4.7 $\begin{smallmatrix} +0.5 \\ -0.4 \end{smallmatrix}$	-1/3
c	1 270 ± 30	+2/3
s	96 $\begin{smallmatrix} +8 \\ -4 \end{smallmatrix}$	-1/3
t	173 200 ± 900	+2/3
b	4 180 $\begin{smallmatrix} +40 \\ -30 \end{smallmatrix}$	-1/3



Proton p

uud: to up og én down kvark

Ladning: $+1 = 2/3 + 2/3 - 1/3$

Brint ${}^1_1\text{H}$

Én proton og én elektron, dvs. 3 kvarker og en elektron (2 up og 1 down kvark)

Neutron n

udd: én up og to down kvarker

Ladning: $0 = 2/3 - 1/3 - 1/3$

Det makroskopiske stof og standardmodellen

- Kvarker: forskellig ladning, masse
- Kerne-partikler: 3 kvarker, bundet af gluoner (stærke kernekraft)
 - Lette kerner: $N_{\text{proton}} \approx N_{\text{neutron}}$
- Atomer: kerne og elektroner, bundet af fotoner (elektromagnetiske kraft)
 - $N_{e^-} = N_{\text{proton}}$
- Molekuler: atomer, bundet af fotoner

Kvark	Masse (MeV)	Ladning
u	2.2 $\begin{smallmatrix} +0.6 \\ -0.4 \end{smallmatrix}$	+2/3
d	4.7 $\begin{smallmatrix} +0.5 \\ -0.4 \end{smallmatrix}$	-1/3
c	1270 ± 30	+2/3
s	96 $\begin{smallmatrix} +8 \\ -4 \end{smallmatrix}$	-1/3
t	173200 ± 900	+2/3
b	4180 $\begin{smallmatrix} +40 \\ -30 \end{smallmatrix}$	-1/3



Proton p

uud: to up og én down kvark

Ladning: $+1 = 2/3 + 2/3 - 1/3$

Brint ${}^1_1\text{H}$

Én proton og én elektron, dvs. 3 kvarker og en elektron (2 up og 1 down kvark)

Neutron n

udd: én up og to down kvarker

Ladning: $0 = 2/3 - 1/3 - 1/3$

Vand H_2O

To ${}^1_1\text{H}$ og én ${}^{16}_8\text{O}$, dvs. $3 + 3 + 16 \times 3 = 54$ kvarker og $1 + 1 + 8 = 10$ elektroner (10 protoner, 8 neutroner: 28 up, 26 down kvarker)

Det makroskopiske stof og standardmodellen

- Kvarker: forskellig ladning, masse
- Kerne-partikler: 3 kvarker, bundet af gluoner (stærke kernekraft)
 - Lette kerner: $N_{\text{proton}} \approx N_{\text{neutron}}$
- Atomer: kerne og elektroner, bundet af fotoner (elektromagnetiske kraft)
 - $N_{e^-} = N_{\text{proton}}$
- Molekuler: atomer, bundet af fotoner
- En gymnasieelev: vand (H_2O) og organiske molekyler ($\text{C}_n\text{H}_m\text{O}_o\text{N}_p$)

Kvark	Masse (MeV)	Ladning
u	2.2 $^{+0.6}_{-0.4}$	+2/3
d	4.7 $^{+0.5}_{-0.4}$	-1/3
c	1270 ± 30	+2/3
s	96 $^{+8}_{-4}$	-1/3
t	173200 ± 900	+2/3
b	4180 $^{+40}_{-30}$	-1/3



Proton p

uud: to up og én down kvark

Ladning: $+1 = 2/3 + 2/3 - 1/3$

Brint ^1_1H

Én proton og én elektron, dvs. 3 kvarker og en elektron (2 up og 1 down kvark)

Neutron n

udd: én up og to down kvarker

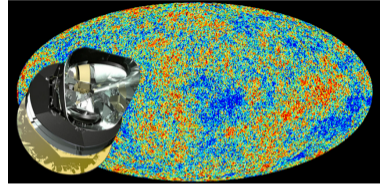
Ladning: $0 = 2/3 - 1/3 - 1/3$

Vand H_2O

To ^1_1H og én $^{16}_8\text{O}$, dvs. $3 + 3 + 16 \times 3 = 54$ kvarker og $1 + 1 + 8 = 10$ elektroner (10 protoner, 8 neutroner: 28 up, 26 down kvarker)

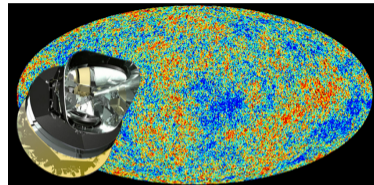
Universets stof og standardmodellen

- “Synligt” stof
 - Dvs. vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Planeter, stjerne, galakser, . . .



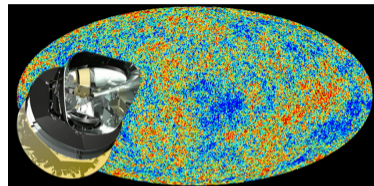
Universets stof og standardmodellen

- “Synligt” stof
 - Dvs. vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Planeter, stjerne, galakser, . . .
- Mørkt stof
 - Vekselvirker *ikke* vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Deduceret fra galakseres bevægelse, . . .
 - Stof (masse) af en eller anden slags



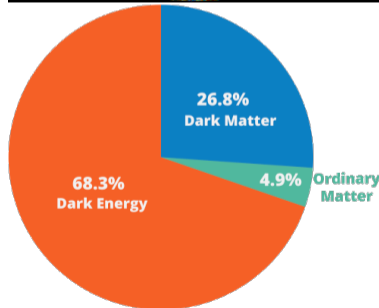
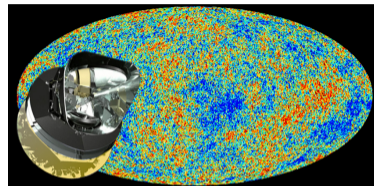
Universets stof og standardmodellen

- “Synligt” stof
 - Dvs. vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Planeter, stjerne, galakser, . . .
- Mørkt stof
 - Vekselvirker *ikke* vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Deduceret fra galaksers bevægelse, . . .
 - Stof (masse) af en eller anden slags
- Mørk energi
 - Vekselvirker *ikke* vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Deduceret fra fladt univers, f.eks. via Plank satellitten, . . .
 - Energi (kraft) af en eller anden slags



Universets stof og standardmodellen

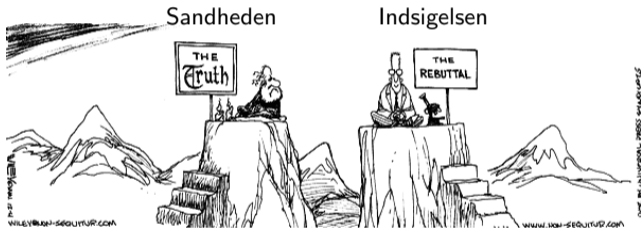
- “Synligt” stof
 - Dvs. vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Planeter, stjerne, galakser, ...
- Mørkt stof
 - Vekselvirker *ikke* vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Deduceret fra galaksers bevægelse, ...
 - Stof (masse) af en eller anden slags
- Mørk energi
 - Vekselvirker *ikke* vekselvirker elektromagnetisk, svagt, eller stærkt
 - Deduceret fra fladt univers, f.eks. via Plank satellitten, ...
 - Energi (kraft) af en eller anden slags
- Vi kender knap 5% af hvad universet består af



Alt det vi ikke ved

Standard modellen giver rigtig mange svar, men ...

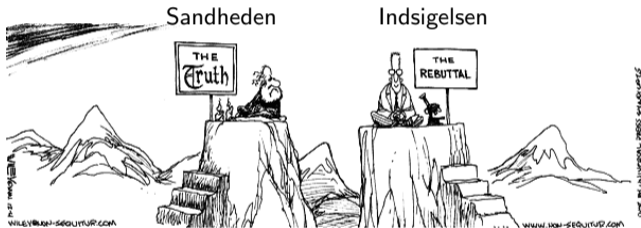
- Videnskabens kerne: Vi kan aldrig vide om teorien er Sandheden
 - Udfordre teorien med eksperimentet — se om den fejler — falsificering



Alt det vi ikke ved

Standard modellen giver rigtig mange svar, men ...

- Videnskabens kerne: Vi kan aldrig vide om teorien er Sandheden
 - Udfordre teorien med eksperimentet — se om den fejler — falsificering



- Giver ikke alle svar — for eksempel
 - Styrkeforholdet mellem kræfterne
 - Kvarkernes masse
 - Asymptotisk frihed
 - Mørkt stof og mørk energi ($((26.8 + 69.3)\% = 96.1\%$ af al masse i universet!)

Oversigt

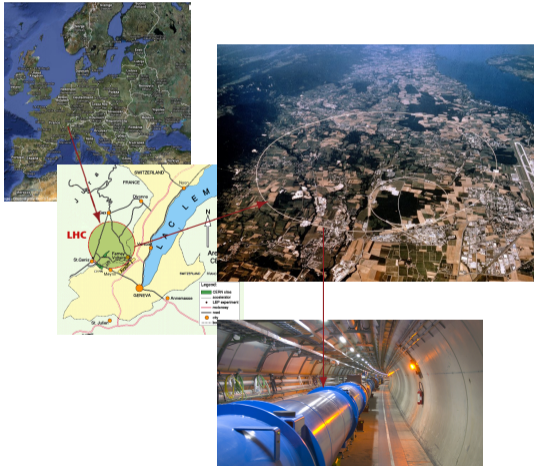
Standard Modellen

Eksperimentet

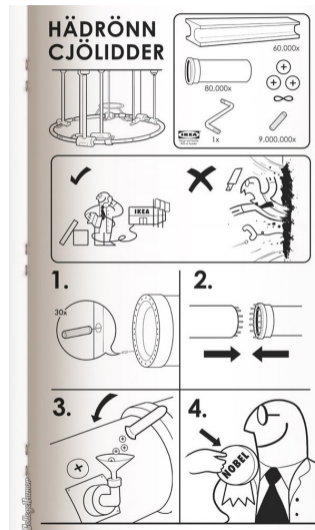
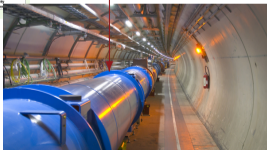
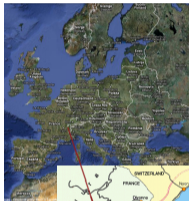
Tungion fysik

Afslutning

Eksperimentet gør forskellen



Eksperimentet gør forskellen



Fakta om CERN & LHC

CERN

- Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
- Danmark med som grundlægger i 1952
- WWW blev opfundet (50m meter fra mit kontor)
- Bidrag til Touch-screen (af bl.a. en dansker) og PET scannere.



Fakta om CERN & LHC

CERN

- Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
- Danmark med som grundlægger i 1952
- WWW blev opfundet (50m meter fra mit kontor)
- Bidrag til Touch-screen (af bl.a. en dansker) og PET scannere.



LHC

- Omkreds: $\approx 27\text{km}$
- Beam energi: $E_{\text{kin}} = 6.5\text{TeV}$
- Protoners hastighed

$$\beta \approx 0.999999989591$$

$$v = \beta \times 299\,792\,458\text{m/s}$$

$$\approx 1\,079 \times 10^6\text{km/t}$$

(til sammenligning, 1AU $\approx 150 \times 10^6\text{km}$)

Relativistisk hastighed

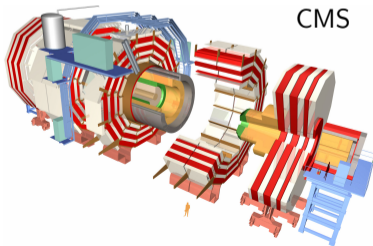
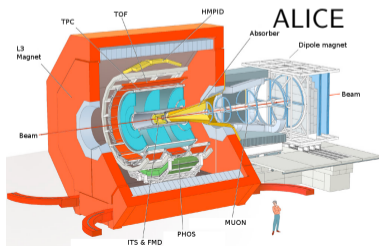
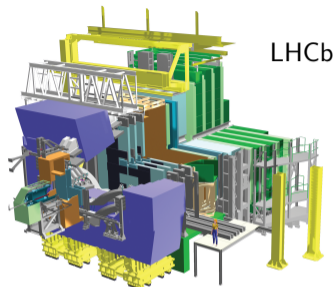
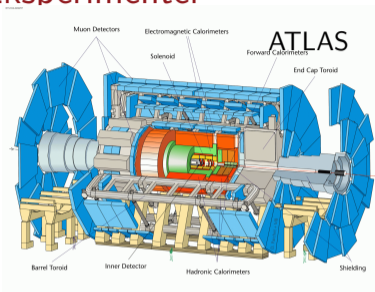
$$E = m_0\gamma c^2 = E_0 + E_{\text{kin}}$$

$$E_0 = m_0c^2$$

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

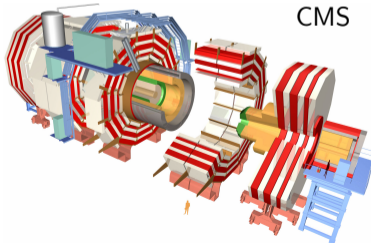
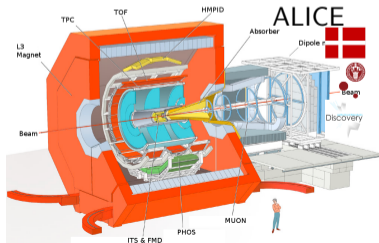
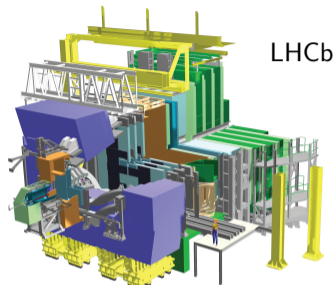
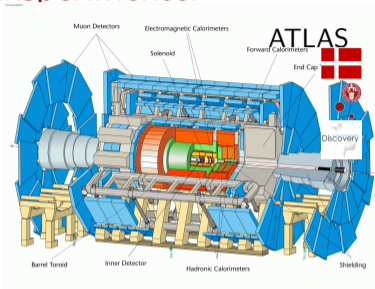
$$v/c = \beta = \sqrt{1 - \left[\frac{1}{1 + E_{\text{kin}}/(m_0c^2)} \right]^2}$$

4 Eksperimenter





4 Eksperimenter



Oversigt

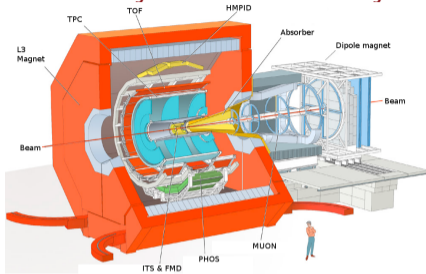
Standard Modellen

Eksperimentet

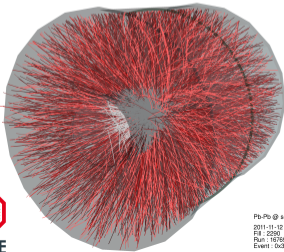
Tungion fysik

Afslutning

ALICE — fysikkere i eventyrland



- Mest Pb-Pb kollisioner
- 1500+ fysikere fra hele verden
- Studere den stærke kernekraft
 - Kvarke-gluon plasma
- NBI bidrager til
 - *Forward Multiplicity Detector*
 - *Time Projection Chamber* laser kalibrationsssystem
 - *Fast Interaction Trigger* "opdager" kollision
 - *Forward Calorimeter* vil måle γ og start betingelser

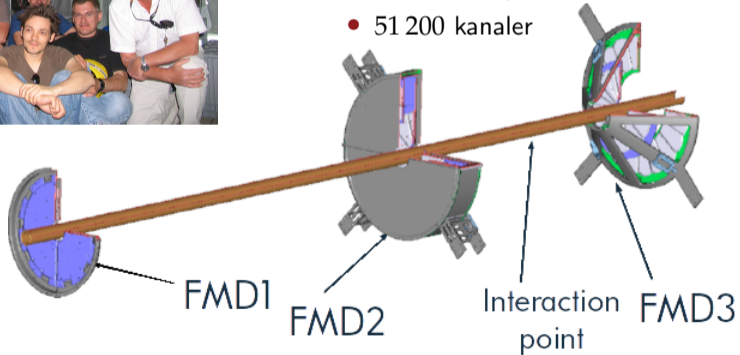


Vores bidrag



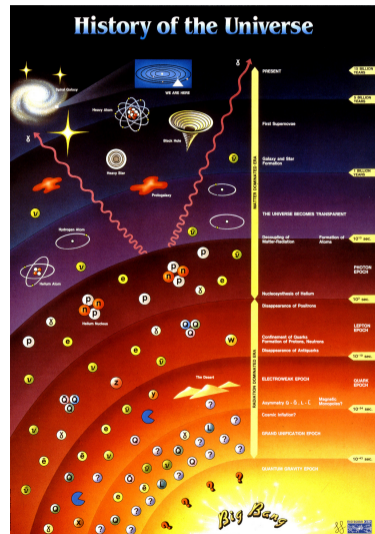
Forward Multiplicity Detector

- Designet og bygget på NBI
- Silicium strip detektor
- 51 200 kanaler



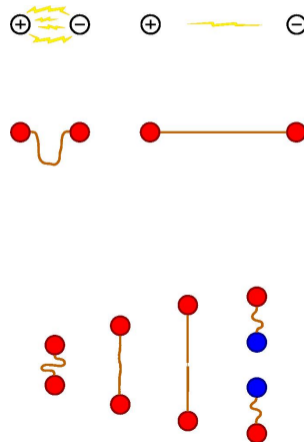
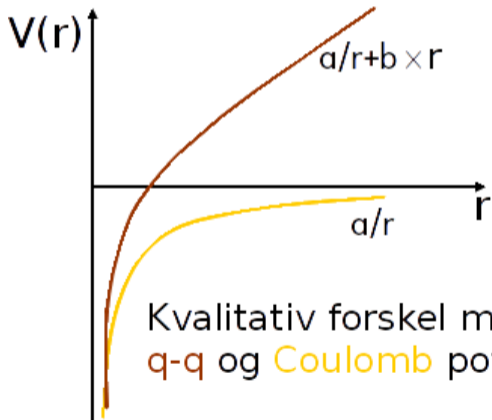
Ursuppen af kvarker og gluoner

- Standardmodellen forudsiger en tilstand (fase) af stof kaldet *Kvark-gluon Plasma*
- Fandtes 1/1 000 000 s efter Big Bang
- Kvarker er 'frie'
- LHC søger at skabe denne tilstand ved at kolliderer Pb kerner
- ALICE undersøger den skabte tilstand for at lære mere om den stærke kernekraft.



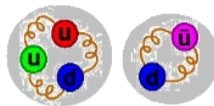
Stærke kernekraft — elastikken i naturen

- Kvarker og gluoner har **farve** ladning → kvark–kvark potential
- Forsøger man at skille to kvarker fra hinanden får man blot to nye kvarker



Opskrift på Ur-suppe

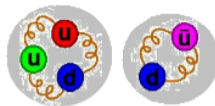
Confinement: kvarker og gluoner bundet i hvide objekter (hadroner)



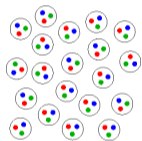
farve ladning kan ikke undersøges direkte, men ...

Opskrift på Ur-suppe

Confinement: kvarker og gluoner bundet i hvide objekter (hadroner)



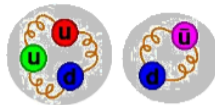
farve ladning kan ikke undersøges direkte, men ...



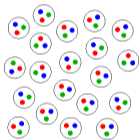
... presser hadronerne sammen ...

Opskrift på Ur-suppe

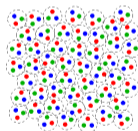
Confinement: kvarker og gluoner bundet i hvide objekter (hadroner)



farve ladning kan ikke undersøges direkte, men ...



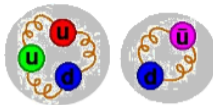
... presser hadronerne sammen ...



... skærmes kvark-kvark potentialet ...

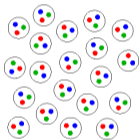
Opskrift på Ur-suppe

Confinement: kvarker og gluoner bundet i hvide objekter (hadroner)

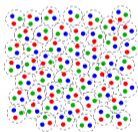


farve ladning kan ikke undersøges direkte, men ...

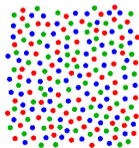
... presser hadronerne sammen ...



... skærmes kvark-kvark potentialet ...



... hadronerne smelter
kvarker \rightarrow ur-suppe



Tungioner kolliderer



Før kollision: $\approx 99.999994\%$ af c , Lorentz forkortet
“pandekager”

Tungioner kolliderer



Før kollision: $\approx 99.999994\%$ af c , Lorentz forkortet
“pandekager”



Stærke vekselvirkninger, kvark stof lavet, høj
tæthed & temperatur \rightarrow Fase overgang?

Tungioner kolliderer



Før kollision: $\approx 99.999994\%$ af c , Lorentz forkortet
“pandekager”



Stærke vekselvirkninger, kvark stof lavet, høj
tæthed & temperatur \rightarrow Fase overgang?



Kombinere til hadroner

Tungioner kolliderer



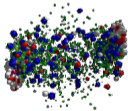
Før kollision: $\approx 99.999994\%$ af c , Lorentz forkortet
"pandekager"



Stærke vekselvirkninger, kvark stof lavet, høj
tæthed & temperatur \rightarrow Fase overgang?



Kombinere til hadroner



Slut tilstand

Tungioner kolliderer



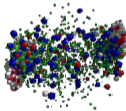
Før kollision: $\approx 99.999994\%$ af c , Lorentz forkortet
"pandekager"



Stærke vekselvirkninger, kvark stof lavet, høj
tæthed & temperatur \rightarrow Fase overgang?

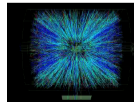


Kombinere til hadroner

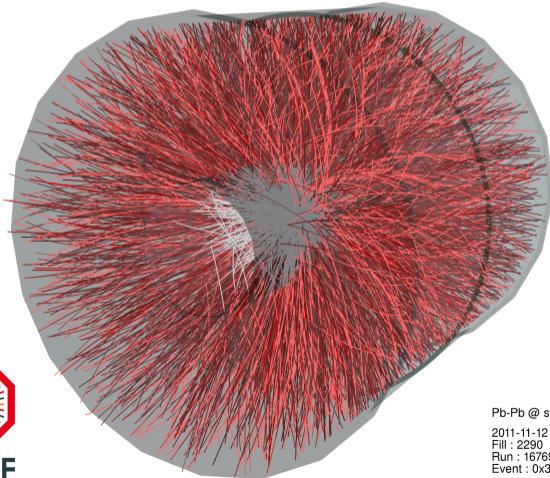


Slut tilstand

Observable partikler



Mange mange partikler dannet



ALICE
A JOURNEY OF DISCOVERY

Pb-Pb @ \sqrt{s} = 2.76 ATeV

2011-11-12 06:51:12

Fill : 2290

Run : 167693

Event : 0x3d94315a

Oversigt

Standard Modellen

Eksperimentet

Tungion fysik

Afslutning

Så hvor er vi nu?

- Stadig mange huller i standardmodellen
 - Kvante-teori for tyngdekraft
 - Massen af partikler
 - Mørkt stof og Mørk energi

Så hvor er vi nu?

- Stadig mange huller i standardmodellen
 - Kvante-teori for tyngdekraft
 - Massen af partikler
 - Mørkt stof og Mørk energi
- Forskellige løsningsforslag
 - Super symmetri (ikke så sandsynlig)
 - Strengte (ikke så sandsynlig)
 - ... og mange andre

Så hvor er vi nu?

- Stadig mange huller i standardmodellen
 - Kvante-teori for tyngdekraft
 - Massen af partikler
 - Mørkt stof og Mørk energi
- Forskellige løsningsforslag
 - Super symmetri (ikke så sandsynlig)
 - Strengte (ikke så sandsynlig)
 - ... og mange andre
- Men sådan er fysik — vi finder nok aldrig alle svarene!

COSMOLOGY MARCHES ON





Slut