

'WHO ORDERED THAT?'

(I.I. Rabi, 1936)

'there exist particles of unit charge with a mass larger than that of a normal free electron and much smaller than that of a proton'

(C. Anderson, S. Neddermeyer, 1936)



Verden består av mer enn protoner, nøytroner og elektroner

- Fra 1960-tallet kunne man studere 'kosmiske' reaksjoner ved bruk av akseleratorer, f.eks. CERNs PS og SPS
- **Boblekammer** var en ideell metode for å studere nye fenomener og lete etter nye partikler.
- **Fysisk Institutt, bygde opp et stort miljø for å studere og analysere bildene.**
 - **Prosjektorer i 3 etasje**
 - **Skannebord i etasjen under**
 - **Vitenskapelig stab og forskningsteknikere**
- **Studier av SÆRE partikler: halvstabile, tunge partikler.**

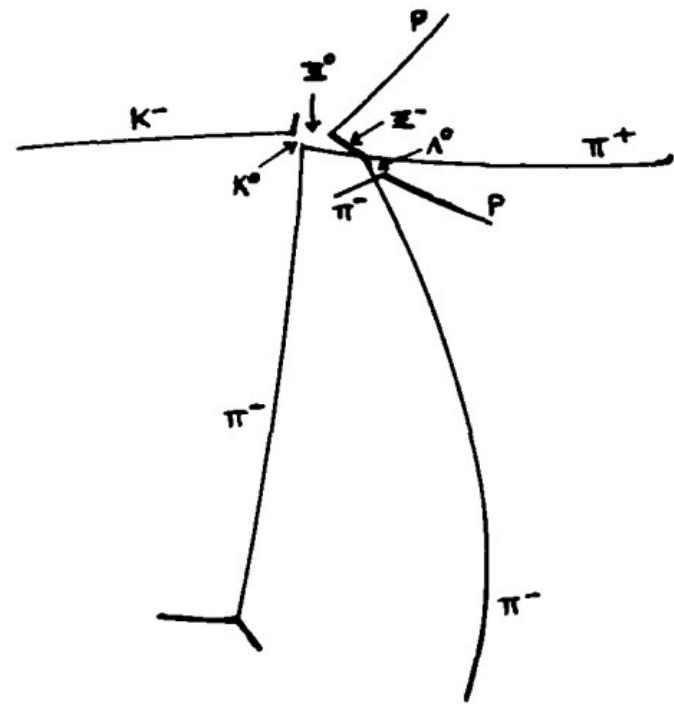
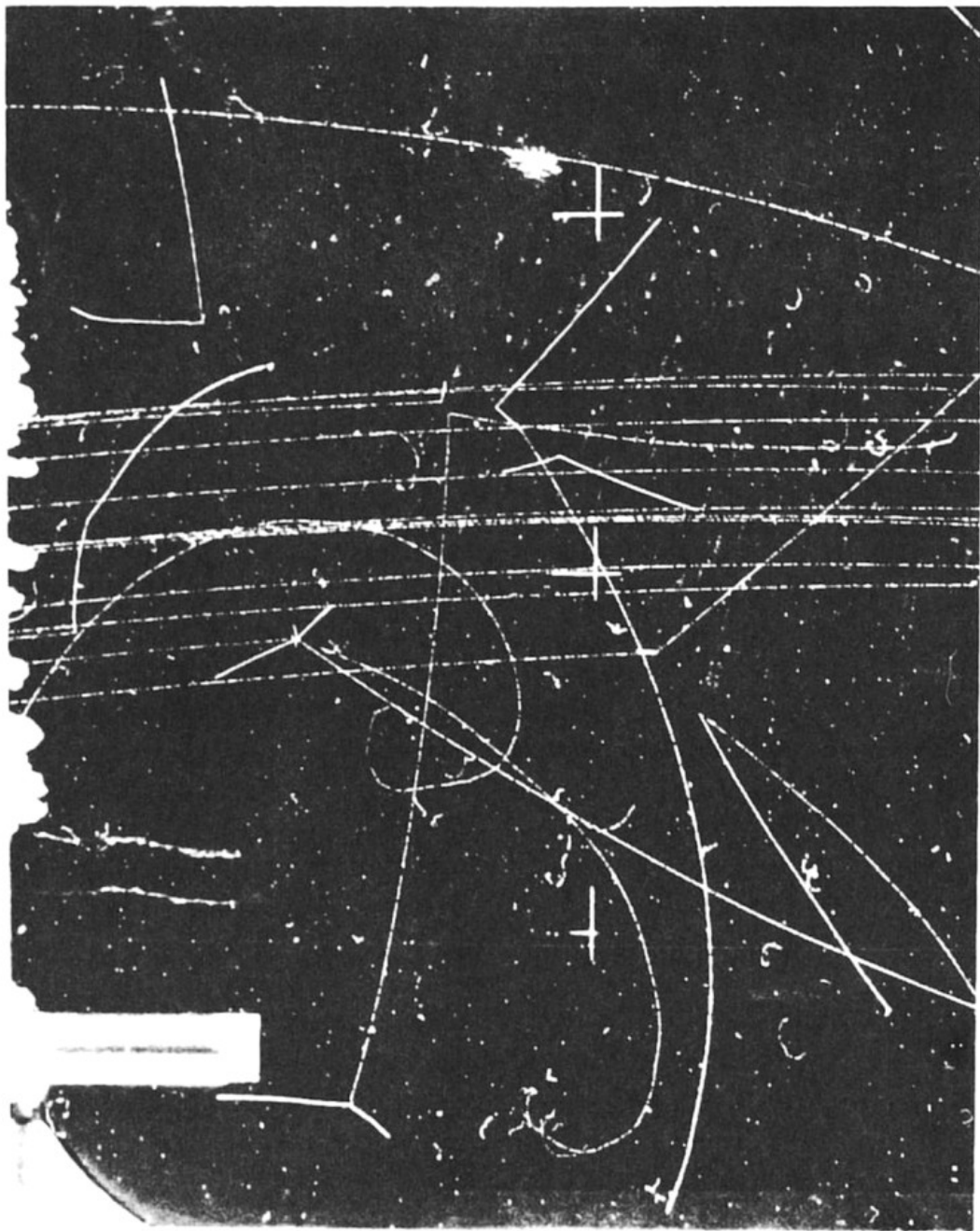


Fig. 4. Ξ^0 charge exchange $\Xi^0 + n \rightarrow \Xi^- + p$.

Ξ^- PROPERTIES

L. JAUNEAU, D. MORELLET, U. NGUYEN-KHAC, A. ROUSSET, J. SIX
Ecole Polytechnique, Paris

H. H. BINGHAM *, D. C. CUNDY, W. KOCH, M. NIKOLIĆ,
B. RONNE, O. SKJEGGESTAD, H. SLETTEN
CERN, Geneva

A. K. COMMON, M. J. ESTEN, C. HENDERSON
University College, London

C. M. FISHER, J. M. SCARR, R. H. THOMAS
Rutherford Laboratory, England

A. HAATUFT, R. MØLLERUD, K. MYKLEBOST
Bergen University, Norway

Received 26 June 1963

We have measured the mass, lifetime and α parameter of the Ξ^- , on a sample of 320 Ξ^- produced in the Ecole Polytechnique $1 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ m³ heavy liquid bubble chamber 1) by a beam 2) of 1.45 ± 0.03 GeV/c K^- at the CERN PS. The liquid was freon 115 (C₂F₅Cl having a density of 1.2 g/cm³, radiation length 25 cm); the magnetic field of the chamber was 1.7 W/m². These events are from 210 000 scanned photos containing about 3 useful K^- interactions per photo. (The π^- contamination of the beam was less than 2%.)

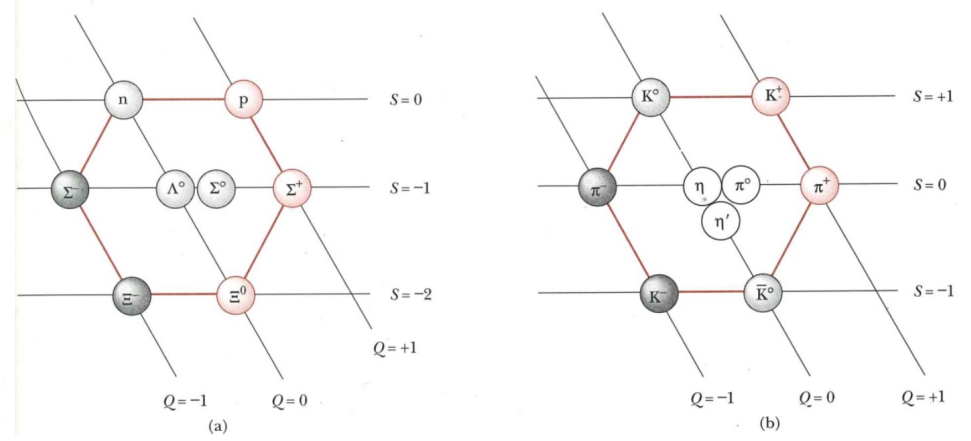
events from U.C.L. and N.I.R.N.S. through the N.I.R.N.S. analysis system. Equivalently equivalent criteria were adopted and Bergen events which had to satisfy coplanarity, transverse momentum tests to within two standard deviations.

Many of the secondaries (roughly from Ξ^- , and $\frac{2}{3}$ of protons from Λ^+ chamber liquid permitting precise momentum by measuring the range) pose we have calibrated our range

Dyrehage av partikler

	Particle	Decay mode	Relative probability, %	Half-life, s
	Photon	Stable		
Leptons	Neutrino	Stable		
	Electron	Stable		
	Muon	$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$	1.52×10^{-6}	
Mesons	Pion	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	100	1.80×10^{-8}
		$\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	$\sim 10^{-4}$	
	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$	99	6×10^{-17}	
	$\pi^0 \rightarrow \gamma + e^+ + e^-$	1		
Kaon	K^+	$\mu^+ + \nu_\mu$	63	8.56×10^{-9}
		$\pi^+ + \pi^0$	21	
		$2\pi^+ + \pi^-$	5.6	
		$\pi^0 + e^+ + \nu_e$	4.8	
		$\pi^0 + \mu^+ + \nu_\mu$	3.4	
	$\pi^+ + 2\pi^0$	1.7		
K^0	$\pi^\pm + e^\mp + \nu$	18	4×10^{-8}	
	$\pi^\pm + \mu^\mp + \nu$	14		
	$\pi^+ + \pi^- + \pi^0$	6.3		
K^0	$3\pi^0$	11.3	6.0×10^{-11}	
	$\pi^+ + \pi^-$	35		
Eta	η^0	$\gamma + \gamma$	33	$< 10^{-16}$
		$\pi^0 + \gamma + \gamma$	20	
		$3\pi^0$	20	
		$\pi^+ + \pi^- + \pi^0$	22	
		$\pi^+ + \pi^- + \gamma$	5	
Proton	Stable			
Neutron	$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$		7.0×10^2	
Lambda	Λ^0	$p^+ + \pi^-$	66	1.76×10^{-10}
		$n^0 + \pi^0$	34	
Sigma	Σ^+	$p^+ + \pi^0$	53	5.6×10^{-11}
		$n^0 + \pi^+$	47	
	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$		$< 7 \times 10^{-15}$	
Xi	Ξ^0	$n^0 + \pi^-$		1.1×10^{-10}
		$\Lambda^0 + \pi^0$		2.0×10^{-10}
Omega	Ξ^-	$\Lambda^0 + \pi^-$		1.2×10^{-10}
		$\Omega^- \rightarrow \Lambda^0 + K^-$	50	10^{-10}
	$\Xi^0 + \pi^-$	50		

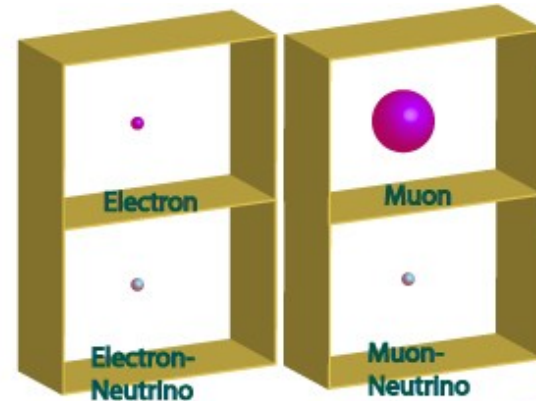
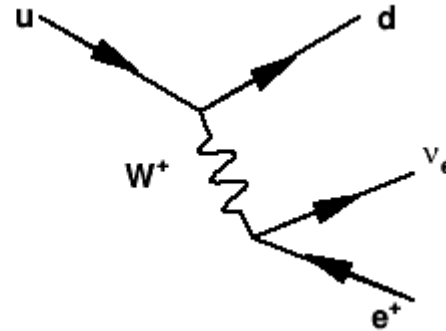
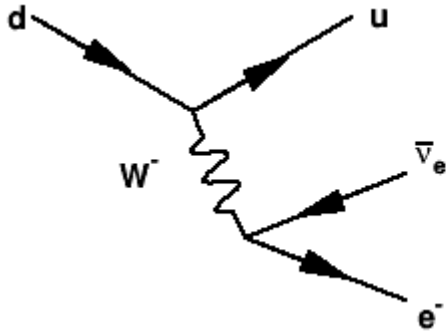
Kvarker? (u,d,s)



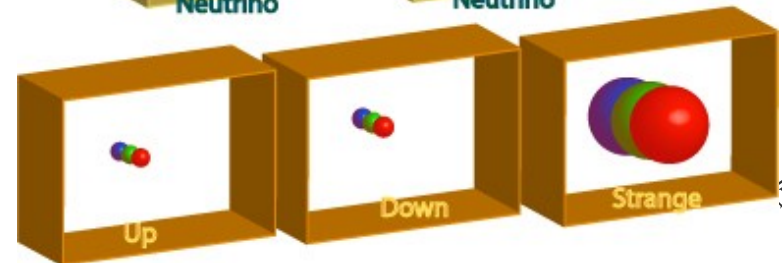
Fra Alonso & Finn (1968)

1970: Er verden slik ?

Beta henfall med svak kraft og 'ladd strøm (W-boson)'

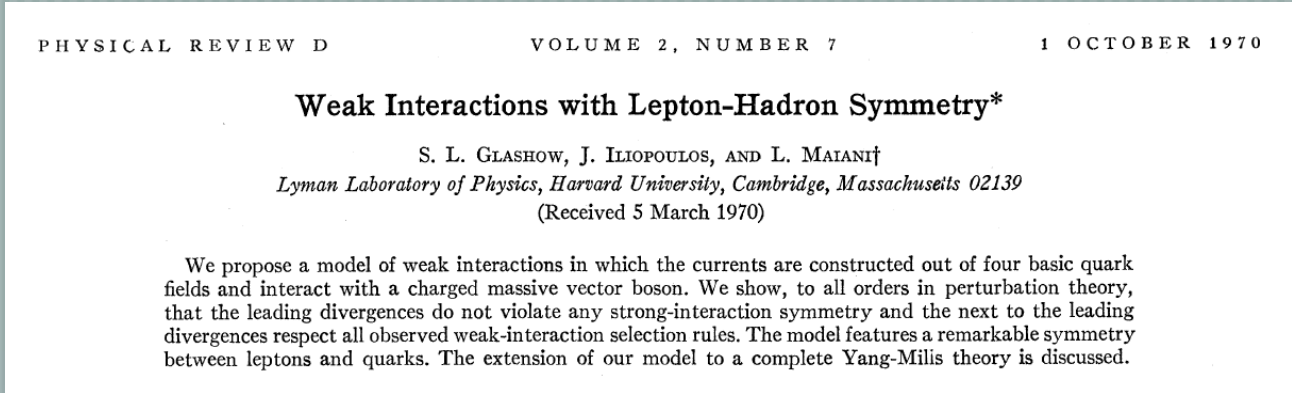


Tre kvarker
med sterk kjernekraft

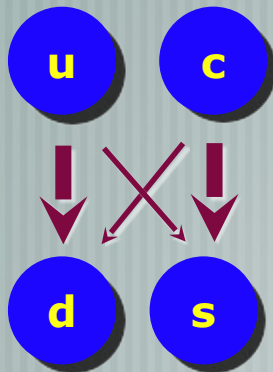


Fields

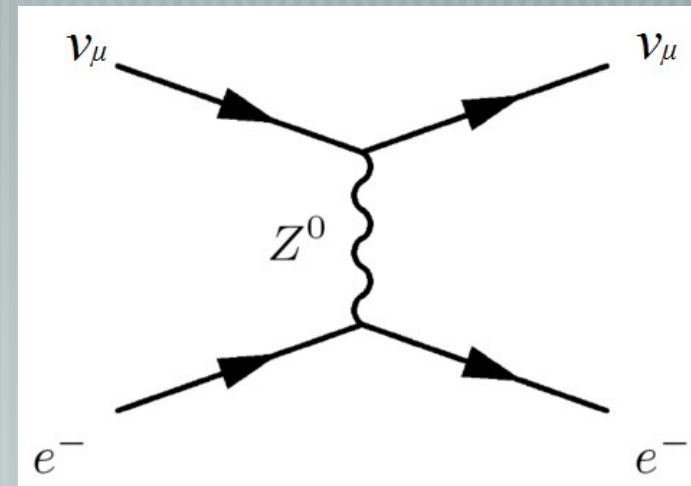
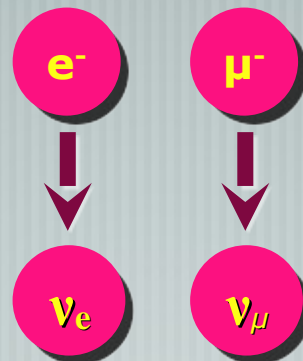
Milestone paper (Glashow, Iliopoulos, Maiani)



Quarks



Leptons



..og det fins et Z⁰ boson (nøytral strøm)

Et aktivt samarbeid med CERN

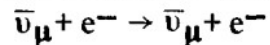
Boblekammeret Gargamelle

Nuclear Physics B114 (1976) 189–198
© North-Holland Publishing Company

Tre events blant 1,2 millioner bilder

Regnes som CERNs
viktigste oppdagelse på
1970-tallet

EVIDENCE FOR THE LEPTONIC NEUTRAL CURRENT REACTION



J. BLIETSCHAU, H. DEDEN, H. FAISSNER, F.J. HASERT, W. KRENZ,
D. LANSKE, J. MORFIN, M. POHL, K. SCHULTZE, H. WEERTS &
L. WELCH

III. Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Aachen, Germany.

G. BERTRAND-COREMANS, M. DEWITT ¹⁾, H. MULKENS ²⁾, J.
and W. VAN DONINCK

Inter-University Institute for High Energies, ULB-VUB, Brussels, Belgium

D.C. CUNDY, I. DANILCHENKO ³⁾, D. HAIDT, P. MUSSET,
K. MYKLEBOST, J.B.M. PATTISON, D.H. PERKINS ⁴⁾, D. PITTU
F. ROMANO and H. WACHSMUTH

CERN, Geneva, Switzerland



Bjarne Stugu

Mer evidens for nøytrale strømmer.

Nuclear Physics B140 (1978) 123–140
© North-Holland Publishing Company

PRODUCTION OF STRANGE PARTICLES IN ANTINEUTRINO INTERACTIONS AT THE CERN PS

O. ERRIQUEZ, M.T. FOGLI MUCIACCIA, S. NATALI and S. NUZZO
Istituto di Fisica dell'Universita, Bari and INFN Bari, Italy

A. HALSTEINSLID, C. JARLSKOG, K. MYKLEBOST, A. ROGNEBAKKE,
O. SKJEGGESTAD and B. TVEDT
Institute of Physics, University of Bergen, Norway

S. BONETTI, D. CAVALLI, A. PULLIA and M. ROLLIER
Istituto di Fisica dell'Universita, Milan and INFN Milan, Italy

G. BONNEAUD, B. ESCOUBES, J.L. GUYONNET, D. HUSS *, M. PATY,
C. RACCA, J.L. RIESTER and M. SCHAEFFER
Centre de Recherches Nucleaires et Université Louis Pasteur, Strasbourg, France

D. ALLASIA, V. BISI, C. FRANZINETTI, D. GAMBA, A. MARZARI-CHIESA,
L. RICCATI, A. ROMERO and R. SACCO
Istituto di Fisica dell'Universita, Torino and INFN Torino, Italy



Innen 1980 hadde man funnet et tredje lepton og en femte kvark...

Hvor mange kvarkfamilier? En ny partikkelhage?

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix} \dots\dots\dots?$$

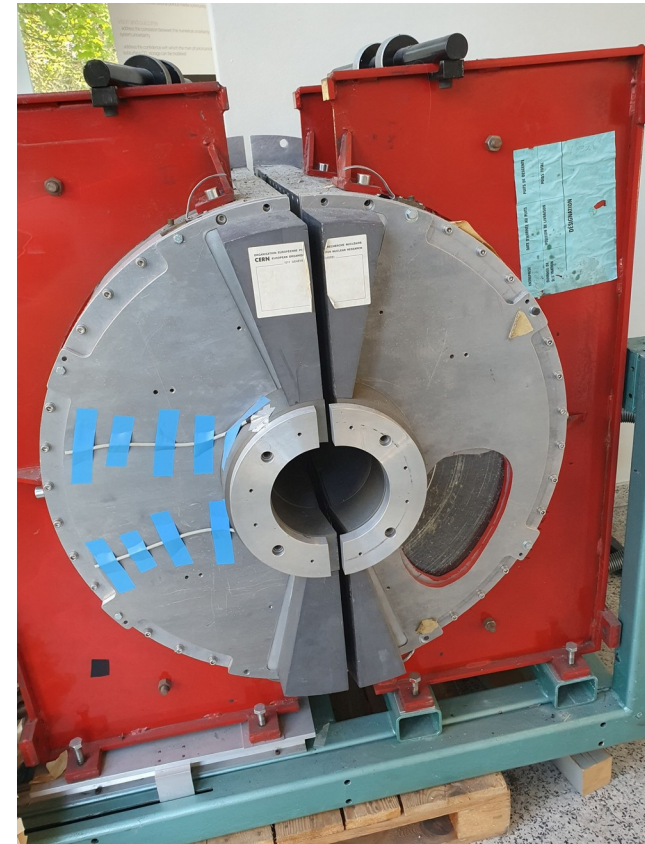
$$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix} \dots\dots\dots?$$

Legg merke til merkene på d,s,b !



Z⁰-partikkelen må undersøkes! DELPHI

Håndfaste bidrag fra IFT



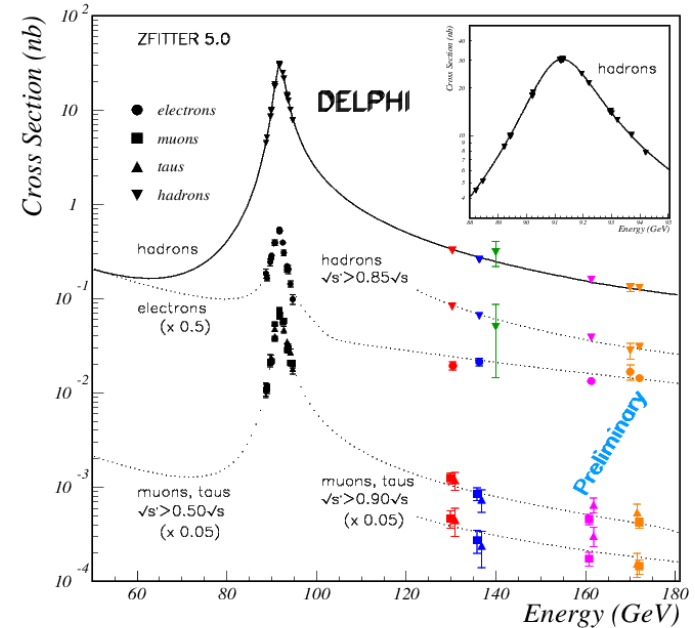
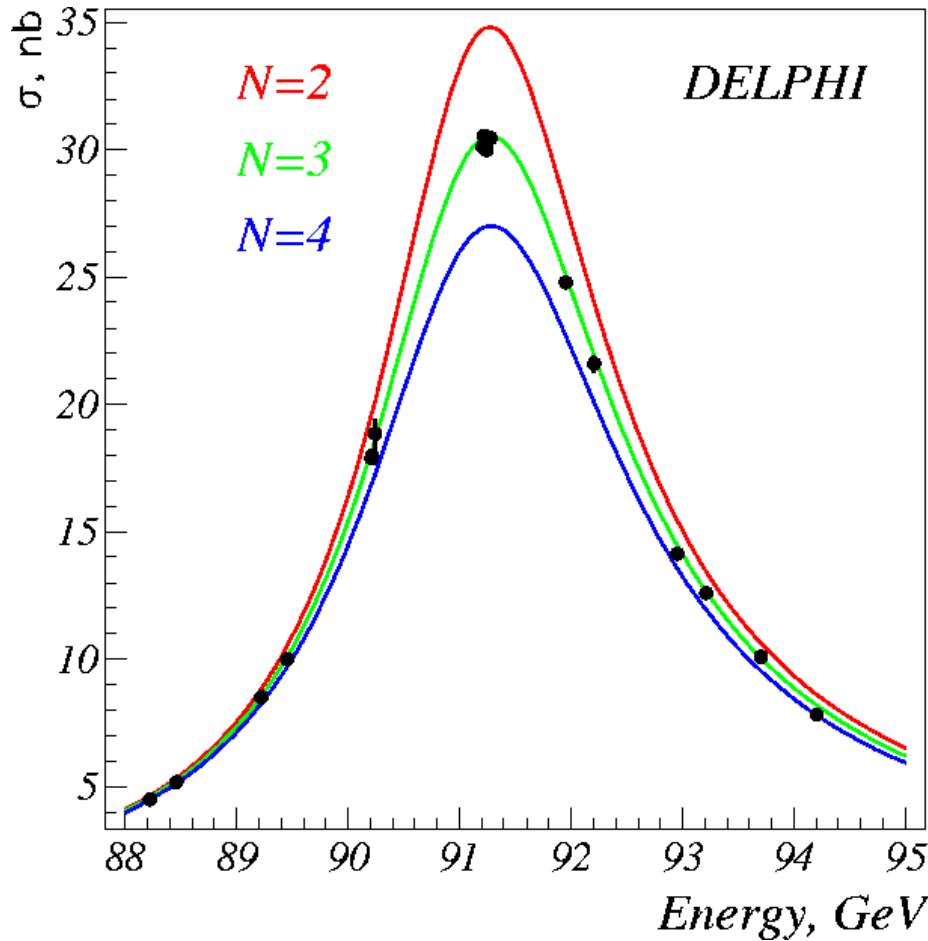
Meltzerpris til S.J. Alvsvaag

Bjarne Stugu

12

LEP (inkl DELPHI): 3 **og bare** 3 generasjoner

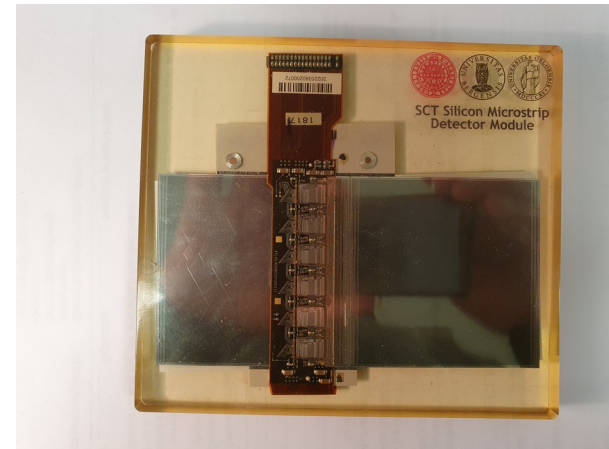
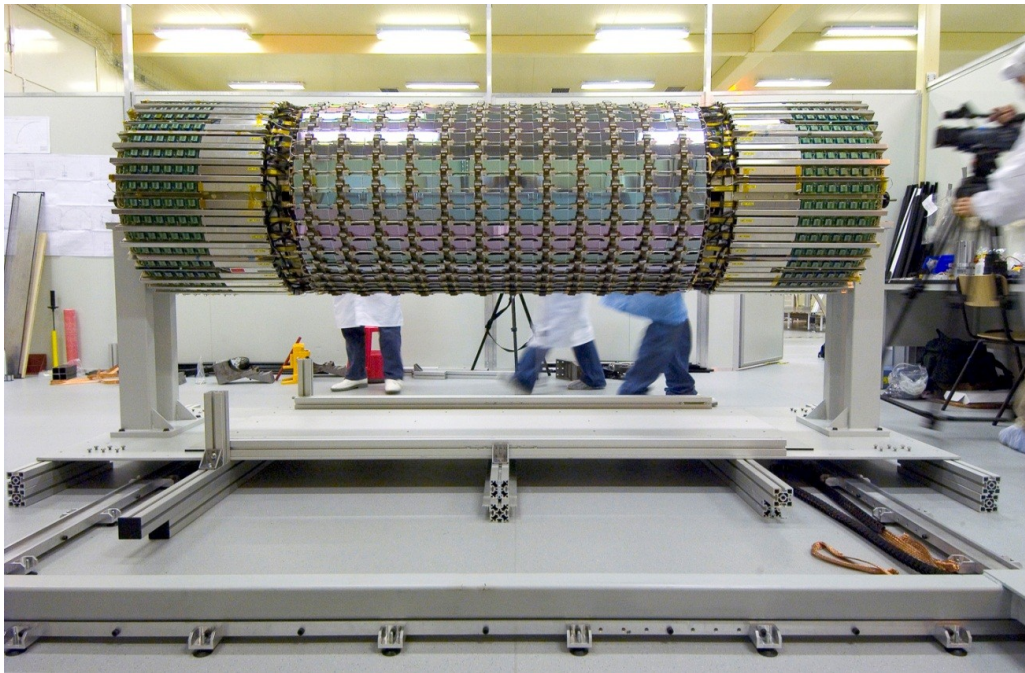
Two Fermion processes x-sections $\mu^+\mu^-\gamma$, $e^+e^-\gamma$
 $q\bar{q}\gamma$ compared with the Standard Model
 prediction (ZFITTER).



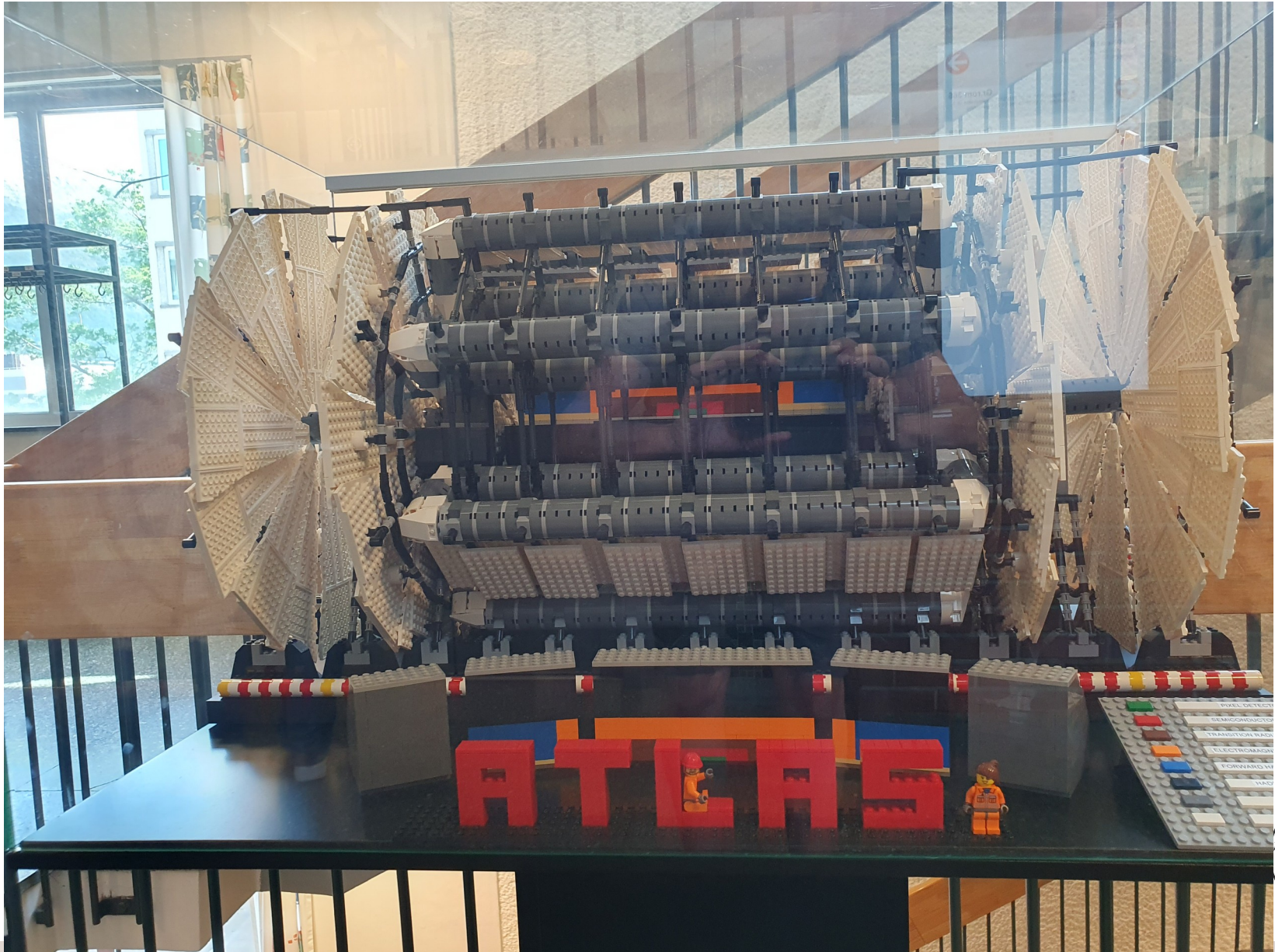
A. Lipniacka, Aspen 1997

Men det trengs et Higgs boson!

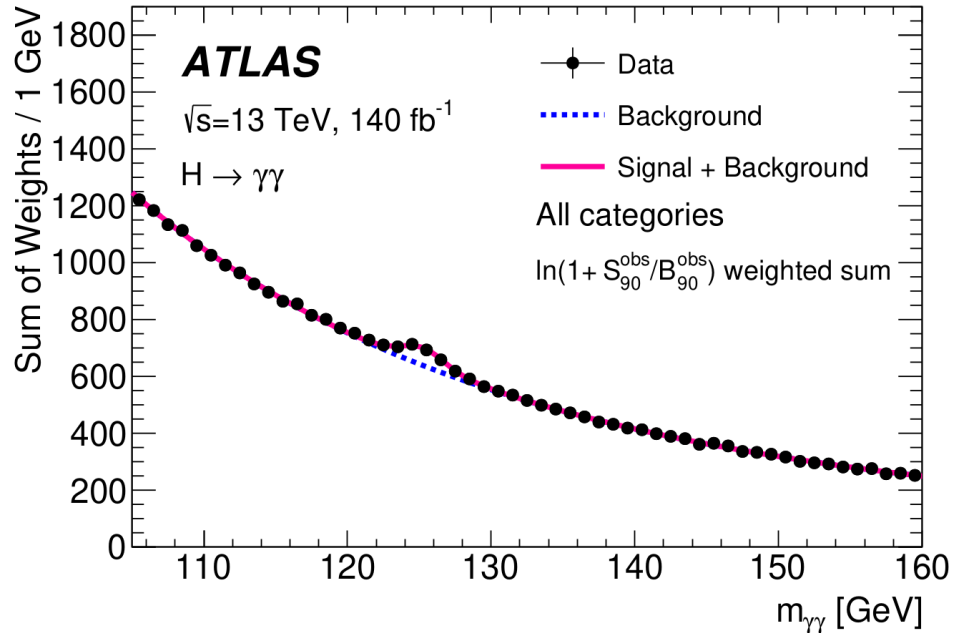
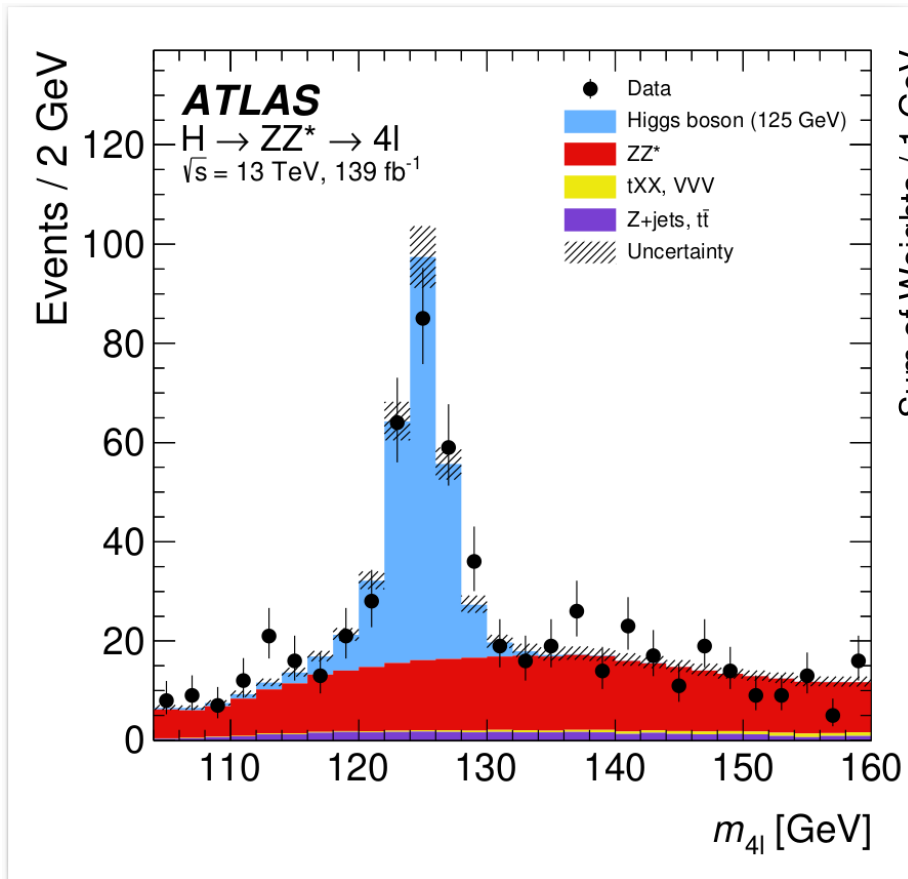
IFT er med i ATLAS



..og her er ATLAS!



Higgsbosonet ble funnet



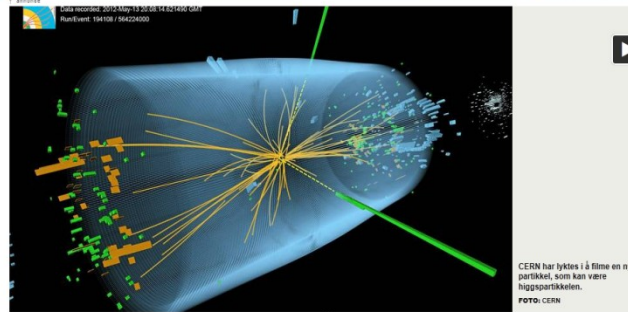
Status etter 'RUN2' ('gullkanalene')

4. juli 2012 Higgs påvises

Aftenposten

Verden Norge Osloby Økonomi Kultur Meninger TV Sport A

Siste nytt: Mix veldig nær Rosenberg-avtale til 400 TIPS OSS Søk i Aftenposten på nett og papir



Forskerne har funnet en ny partikkel

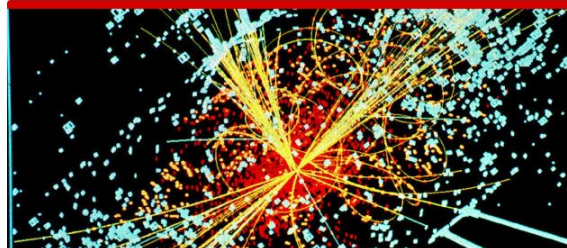
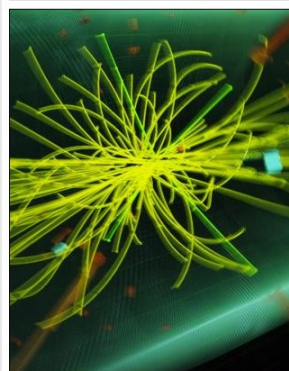
CERN-forskerne kunngjorde onsdag at de har funnet en ny subatomisk partikkel. Det kan være Higgs-partikkelen som er funnet.

117 personer anbefaler dette

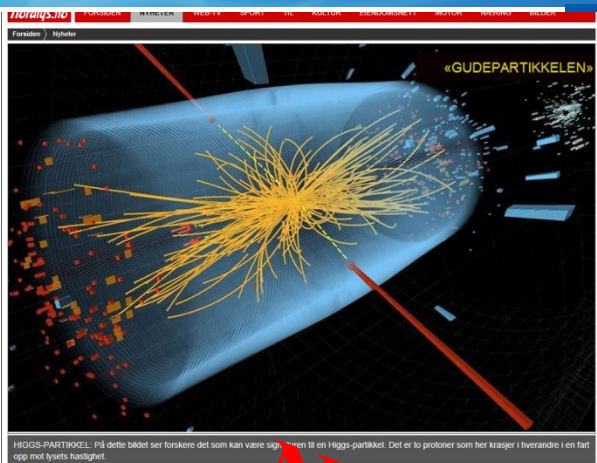
Higgspartikkelen

- Det er bursdag, konfirmasjon og bryllup på én gang

Fysikere jubler over oppdagelsen av en ny partikkel, som kan gi svar på noen av universets største gåter. Les mer



Er en av fysikkens største gåter løst?



Har funnet «Gudepartikkelen»

Kan kaste lys over universets mysterier.

Nordlys



Har funnet ny partikkel

Atomfysikere ved CERN-laboratoriet har funnet en ny partikkel, som kan være Higgs' boson - også kjent som «gudepartikkelen»

© SCANPIX



I GÅR FEIRET HAN MED CHAMPAGNE

Det er som å feire både bursdag, konfirmasjon og bryllup på én gang. Fysikere jubler over oppdagelsen av en ny partikkel, som kan gi svar på noen av universets største gåter. Les mer

BONES

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

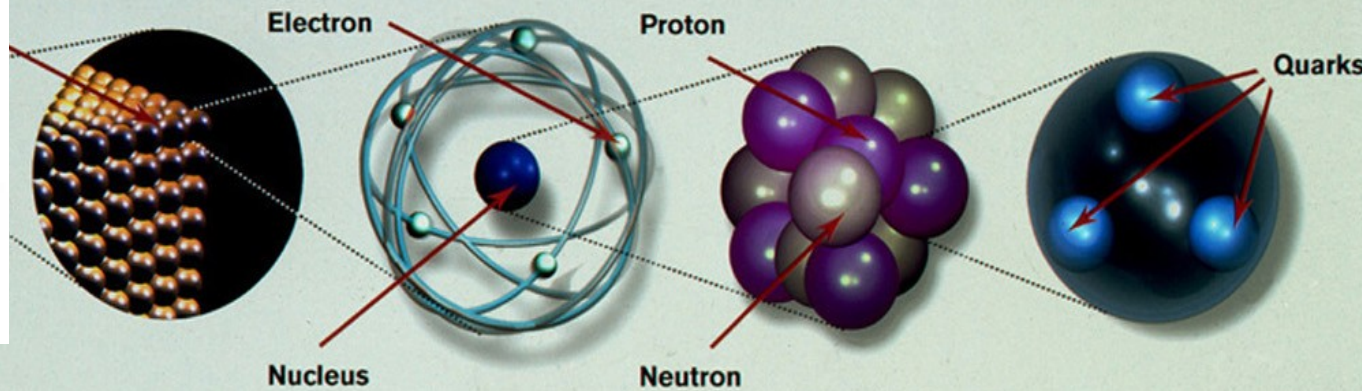
Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Stolt og fornøyd

Adressa

Bergensavisen



Matter particles
All ordinary particles belong to this group

These particles existed just after the Big Bang. Now they are found only in cosmic rays and accelerators

LEPTONS		
FIRST FAMILY	Electron Responsible for electricity and chemical reactions; it has a charge of -1	Electron neutrino Particle with no electric charge, and possibly no mass; billions fly through your body every second
SECOND FAMILY	Muon A heavier relative of the electron; it lives for two-millionths of a second	Muon neutrino Created along with muons when some particles decay
THIRD FAMILY	Tau Heavier still; it is extremely unstable. It was discovered in 1975	Tau neutrino not yet discovered but believed to exist

QUARKS			
Up	Has an electric charge of plus two-thirds; protons contain two, neutrons contain one	Down	Has an electric charge of minus one-third; protons contain one, neutrons contain two
Charm	A heavier relative of the up; found in 1974	Strange	A heavier relative of the down; found in 1964
Top	Heavier still	Bottom	Heavier still; measuring bottom quarks is an important test of electroweak theory

Force particles
These particles transmit the four fundamental forces of nature although gravitons have so far not been discovered

Gluons
Carriers of the **strong force** between quarks

Felt by: quarks

The explosive release of nuclear energy is the result of the **strong force**

Photons
Particles that make up light; they carry the **electromagnetic force**

Felt by: quarks and charged leptons

Electricity, magnetism and chemistry are all the results of **electro-magnetic force**

Intermediate vector bosons
Carriers of the **weak force**

Felt by: quarks and leptons

Some forms of radio-activity are the result of the **weak force**

Gravitons
Carriers of **gravity**

Felt by: all particles with mass

All the weight we experience is the result of the **gravitational force**

Standardmodellen er etablert!

Elektromagnetisme, svak og sterk kjernekraft er **feltteorier!**

Konsekvenser av feltteori:

Symmetri mellom partikler og antipartikler:

Vi burde ikke eksistert!

... Det må finnes en liten forskjell på
materie antimaterie ('CP-brudd')

Big Bang, en suppe av partikler, antipartikler
og feltpartikler:

Kvark gluon plasma har eksistert

CP-brudd er mulig om Jarlskog-determinanten ikke er null

VOLUME 55, NUMBER 10

PHYSICAL REVIEW LETTERS

2 SEPTEMBER 1985

Commutator of the Quark Mass Matrices in the Standard Electroweak Model and a Measure of Maximal *CP* Nonconservation

C. Jarlskog

Department of Physics, University of Bergen, Bergen, Norway, and Department of Physics, University of Stockholm, S-11349 Stockholm, Sweden

(Received 20 June 1985)

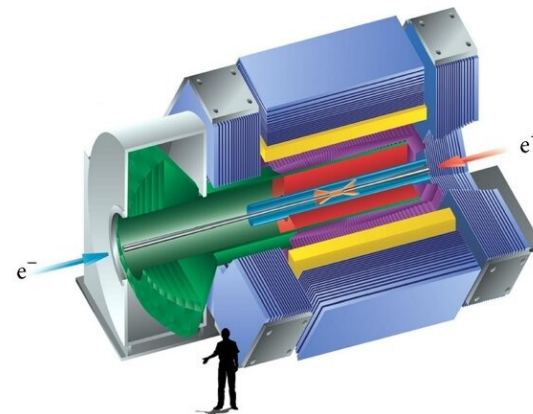
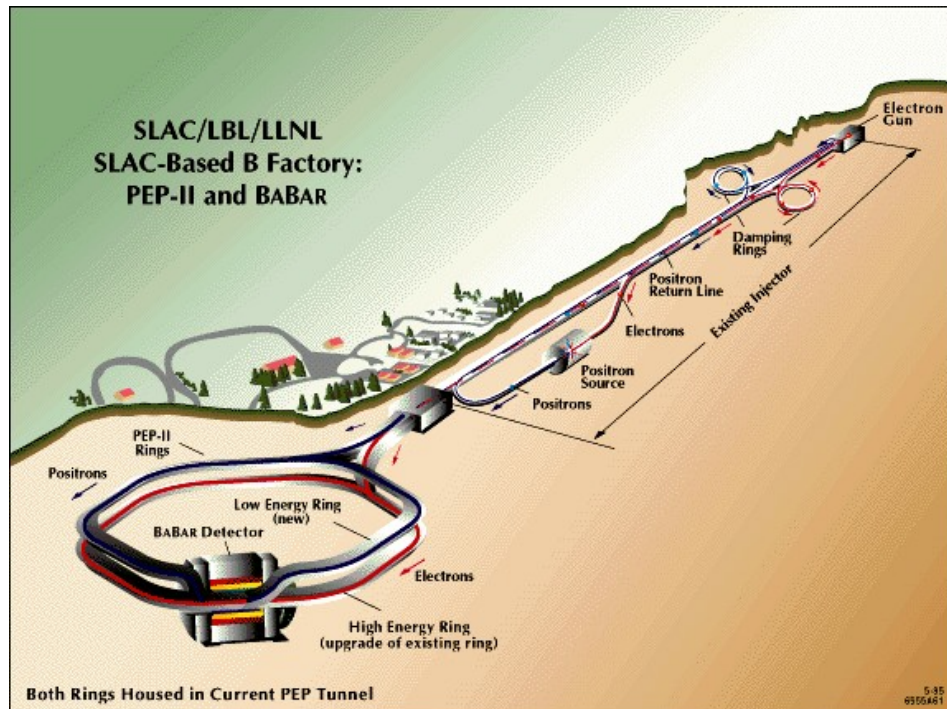
The structure of the quark mass matrices in the standard electroweak model is investigated. The commutator of the quark mass matrices is found to provide a convention-independent measure of *CP* nonconservation. The question of maximal *CP* nonconservation is discussed. The present experimental data indicate that nowhere is *CP* nonconservation maximal.

over 1200 siteringer!

$$\begin{bmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \\ s \\ b \end{bmatrix}$$



Graden av CP-brudd er studert i bl.a BABAR, bragt til Bergen av Prof. Gerald Eigen

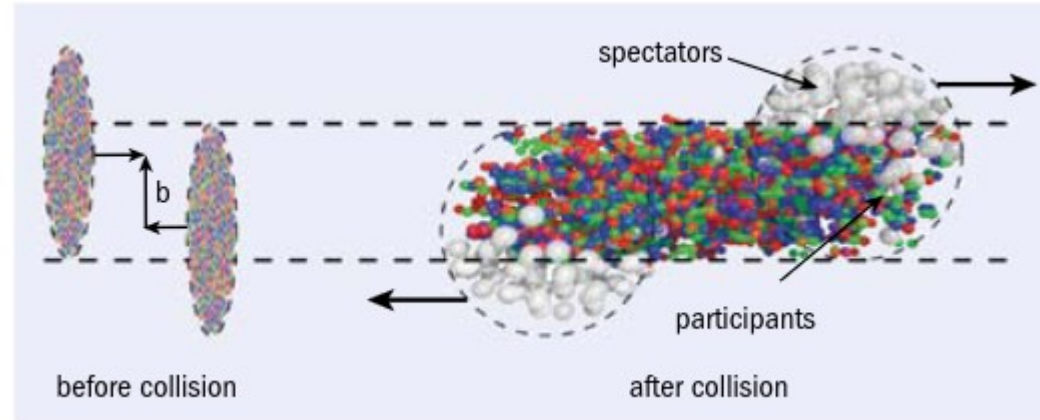
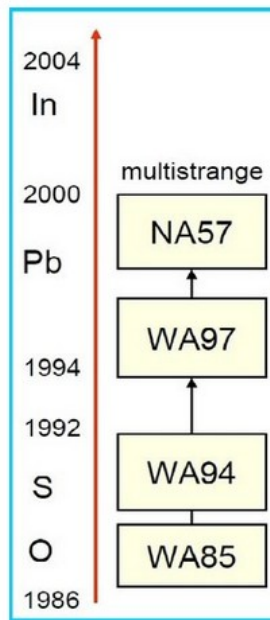


- Muon/hadron detector
- Magnet coil
- Electron/photon detector
- Cherenkov detector
- Tracking chamber
- Support tube
- Vertex detector

Bjarne Stugu

Kjernefysikken endres også ved eksistensen av kvarker og gluoner
og QCD med sine gluoner
Fins det et kvark-gluon plasma?

ALICE
BRAHMS



IFT var med fra ca 1985
(se liste til venstre)

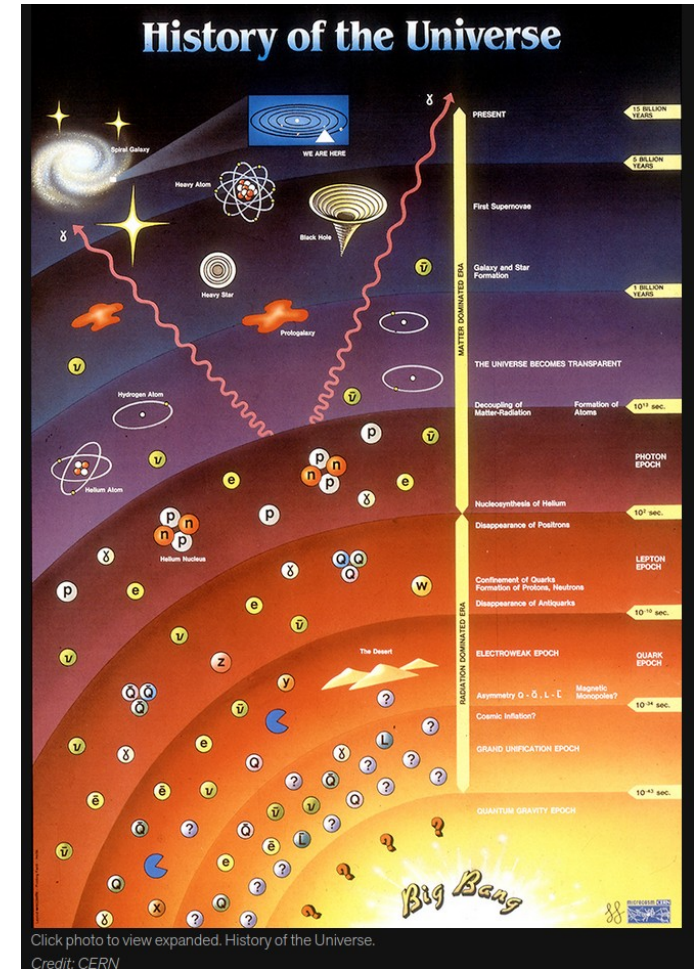
Også sterke teoribidrag
da Csernai ble ansatt

Kvark-gluon plasma kan eksistere og lages!

Bare varm opp materien til et par billioner grader (2×10^{12} K)

Dessuten er det en perfekt væske uten viskositet

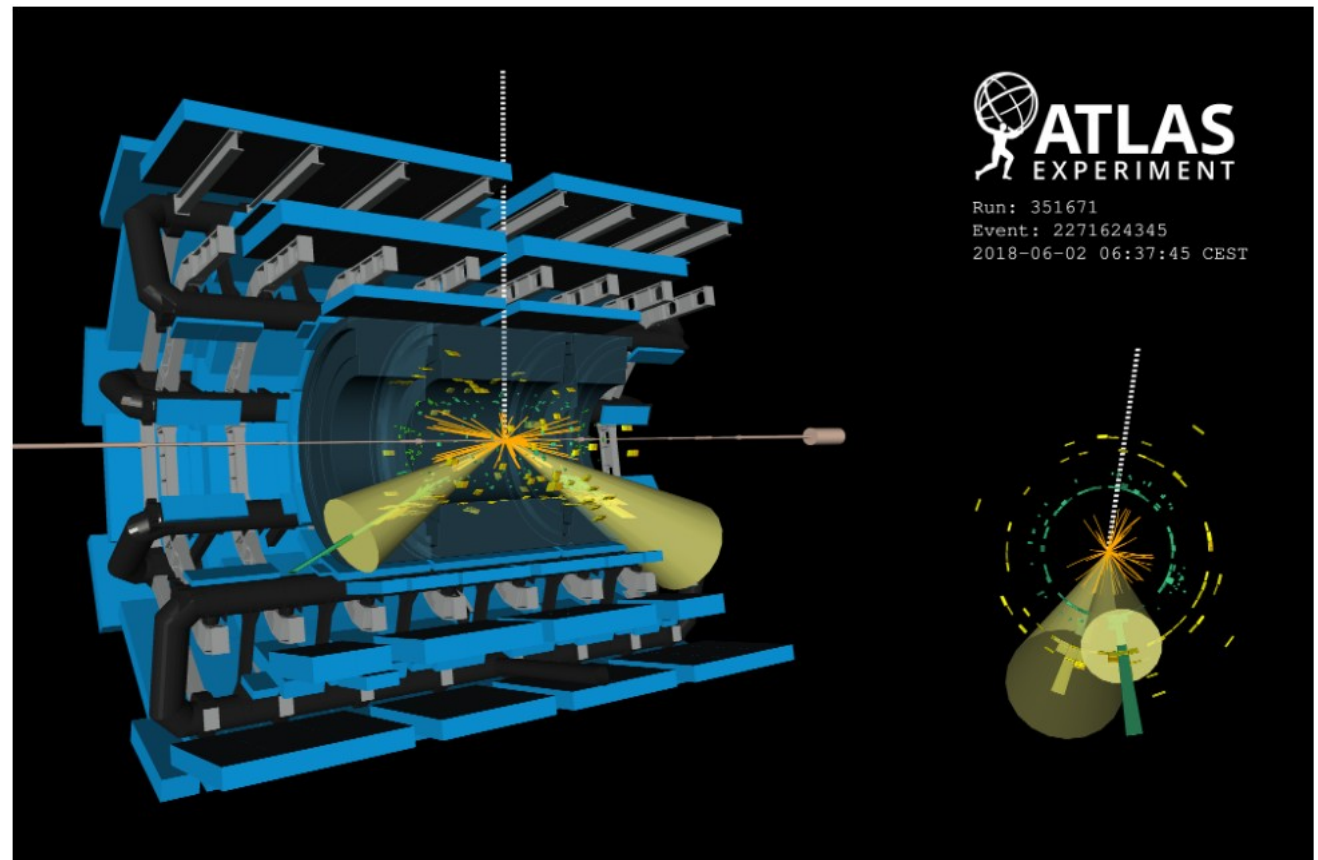
Men universet må inneholde mye mer!
Mørk materie og energi



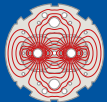
Hvordan finne mørk materie?

Anna & co har lett i ATLAS data

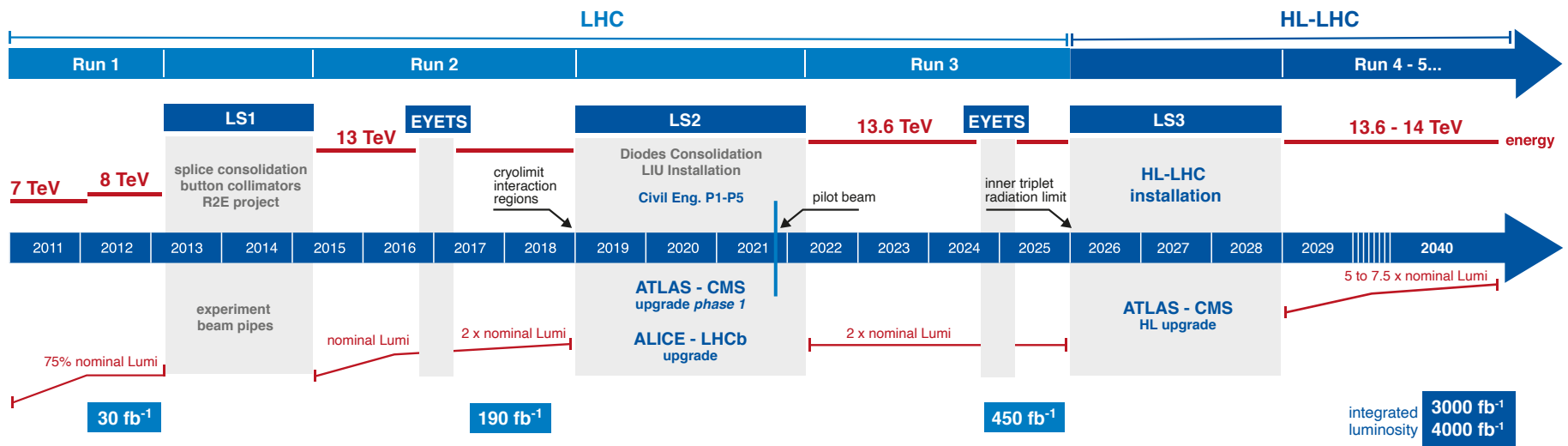
Grieg project: 'Early universe' (Anna Lipniacka)
CTA and Dark matter: (Julia Djuvsland.)



Vi har bare samlet 10% av forventet datamengde



LHC / HL-LHC Plan



HL-LHC TECHNICAL EQUIPMENT:



HL-LHC CIVIL ENGINEERING:

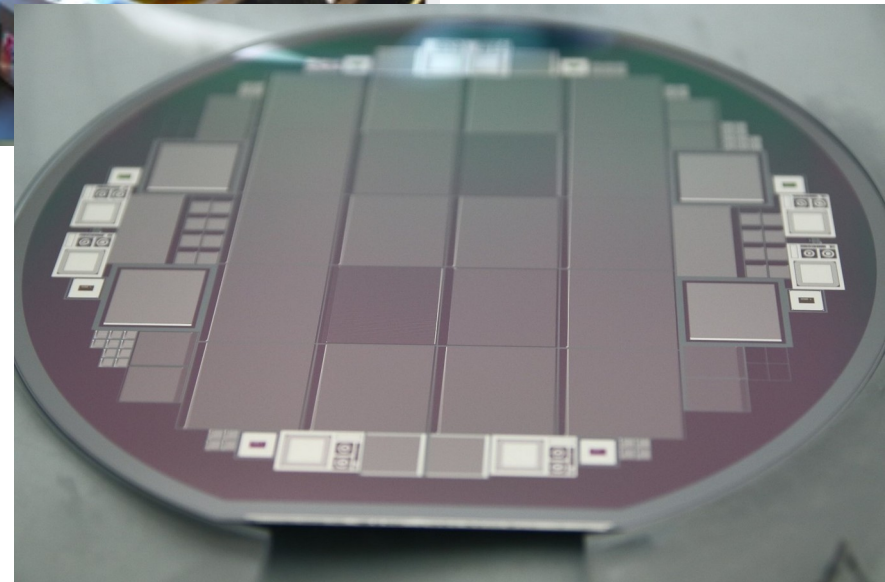
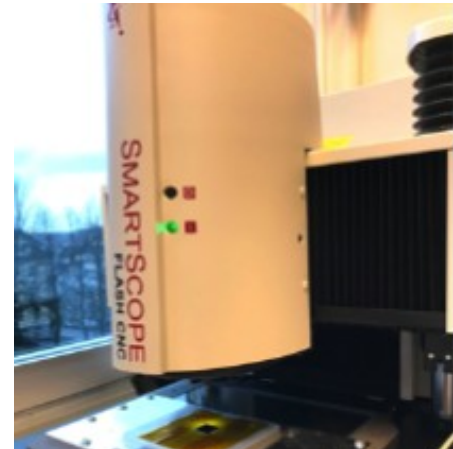
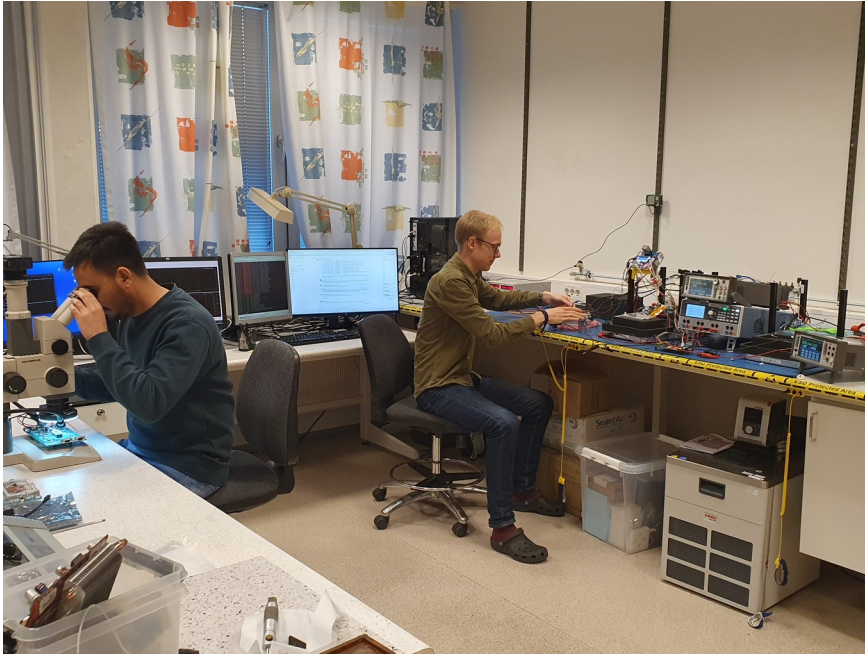


Design Stage

NFR-infrastrukturprosjekt

Oppgradering av ATLAS og ALICE

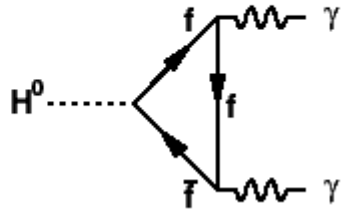
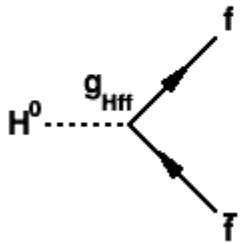
ATLAS-ITk



Utvikling av
Silisiumsensorer
med SINTEF

Bjarne Stugu

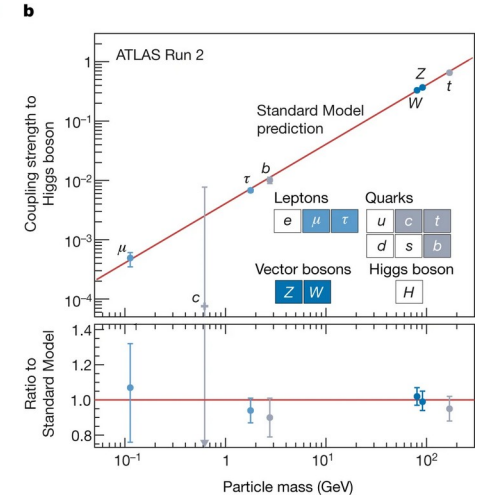
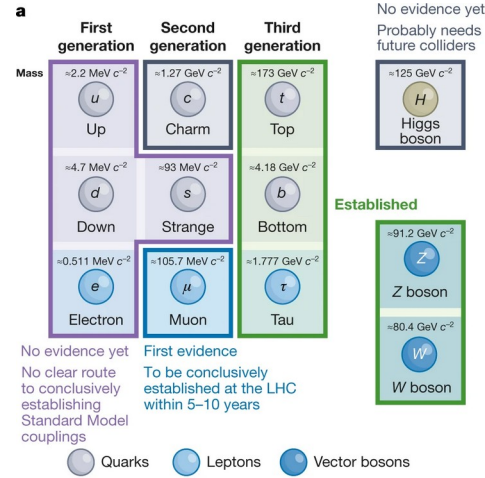
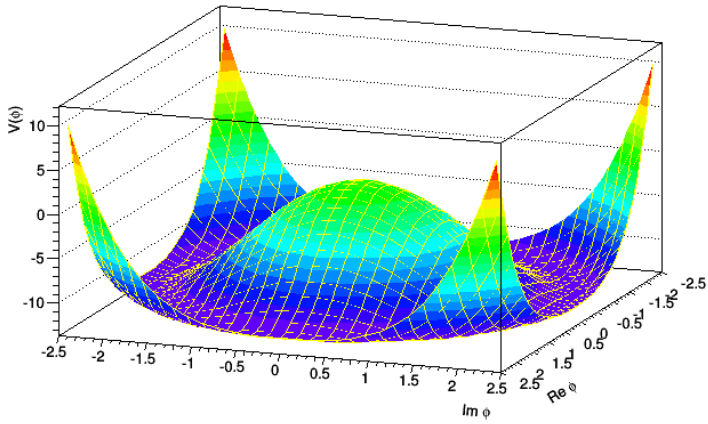
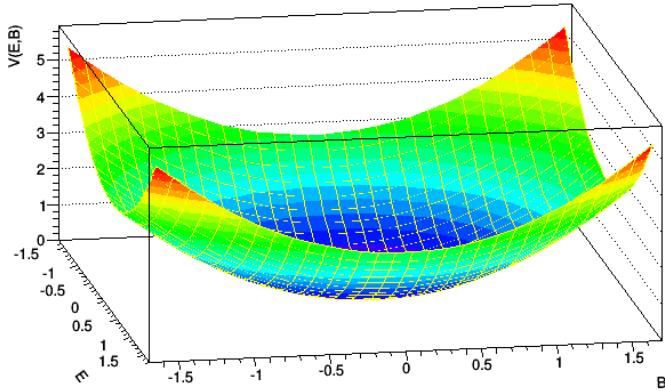
Higgs-bosonet er fundamental i vår forståelse av universet!



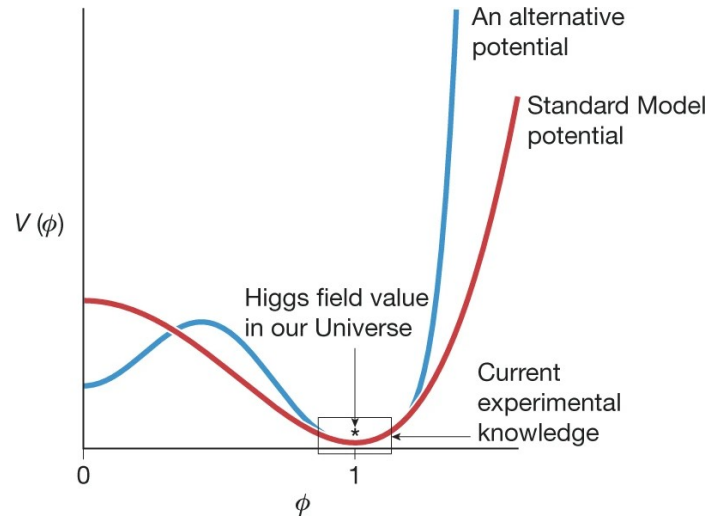
$$g_{Hff} = \frac{m_f}{\sqrt{2}M_W} g_W$$

Kilden til Higgs-'kraften' er **ikke bare** elektrisk ladning men **masse**

Sammenligning mellom e.m. potensial og higgspotensial

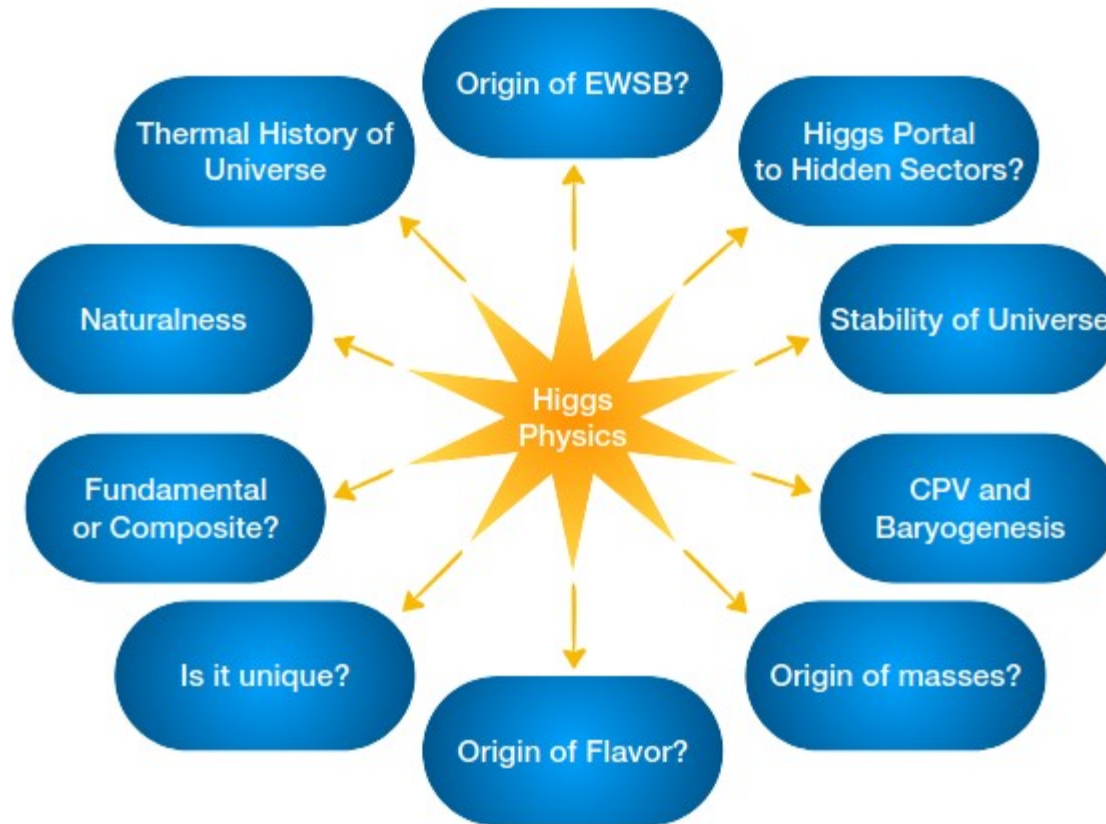


Salam, Wang, Zanderighi Nature 607,41(2022)



Fra B. Stugu: 'Moderne fysikk for bachelorstudenter'

Å forstå Higgsbosonet er å forstå de store spørsmålene



Naturens byggestener har vært gjenstand for intense studier de siste 70 årene.

Dette har ført til etableringen av en særdeles vellykket og verifisert teori for naturens fundamentale byggestener og krefter.

**IFTs bidrag til CERN-eksperimenter har hatt svært høy relevans,
med solid deltakelse i forskningsfronten.**

Tilleggsmateriale

Bjarne Stugu



uib.no

KI har vært del av partikkelfysikkens analyseverktøy i lang tid.

som petrofysiker

Fra Khrono (2023), Intervju med Inga Strümke

— Jeg begynte veldig fort å kjede meg, men jeg trivdes i Bergen, så da ble spørsmålet «shit, hva kan jeg gjøre her i stedet?».

Svaret ble en doktorgrad i partikkelfysikk ved Universitetet i Bergen. Det var også her kunstig intelligens kom inn i [linker](#) i livet alvord.

Se Thea Aarrestads foredrag etter pausen

— Jeg og en annen stipendiat forsøkte å bruke kunstig intelligens til å analysere data, og syntes det var gøy. Plutselig hadde Strümke, som stipendiat innen partikkelfysikk, fått publisert en vitenskapelig artikkel innen maskinlæring.

Steffen Mæland, ATLAS, nå ansatt ved HVL og medarrangør av nevnte konferanse

Et navn til:

Justas Zalieckas

Msc og PhD i partikkelfysikk

Nå prominent medlem av nanofysikkgruppen

Råd til studenter:
Forfølg dine interesser!

Utsyn: Datavitenskap på HVL arrangerer konferanse om mørk materie



Publisert 3

Endra 30.0

22
MAI

Conference: Nordic meeting on Dark Matter searches



uib.no