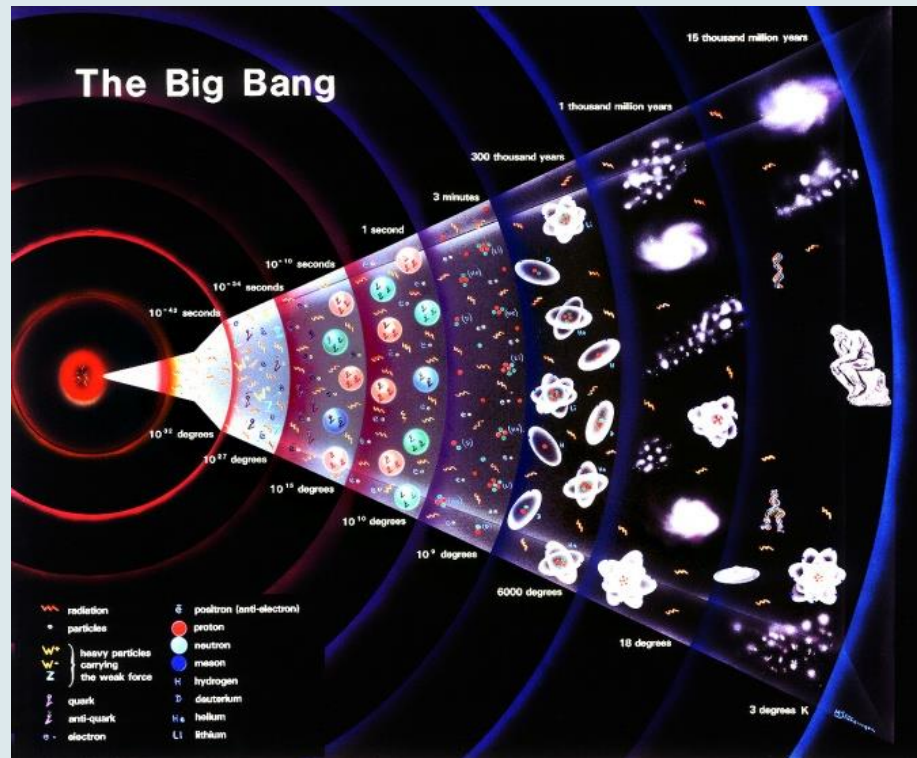
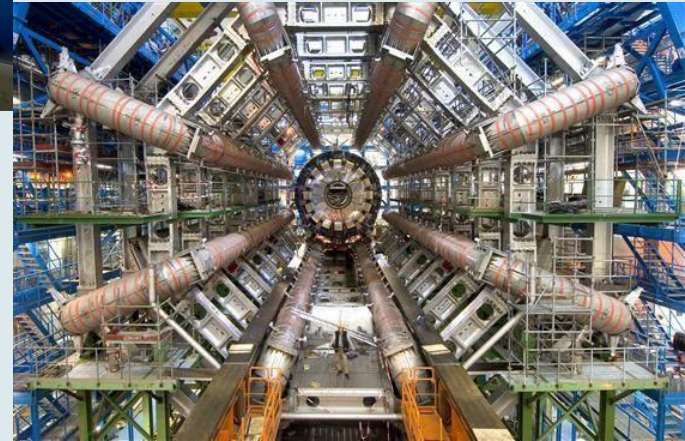


# Varför forskar vi om elementarpartiklar?



# Large Hadron Collider LHC vid CERN i Genève



Världens mest  
högenergetiska  
protonkrockare

# Varför hög energi?

- Enligt kvantmekaniken medger hög energi att man kan studera små detaljer i materien - ju högre energi desto mindre detaljer
- Enligt relativitetsteorin medger hög energi att man kan skapa materiepartiklar - ju högre energi desto massivare partiklar.
- Enligt relativistisk kvantfältteori är vakuum uppfyllt av olika elementarfält ur vilka hittills okända elementarpartiklar kan materialiseras, förutsatt att vi kan åstadkomma en tillräckligt hög energitäthet.

# Hur små detaljer har kunnat studeras?

- Den tidigare mest högenergetiska parton-proton-kollideraren i världen, Tevatronen i Fermilab i USA stängdes av förra året . I Tevatronen accelererades strålar av protoner och antiprotoner i motsatt riktning till en energi motsvarande ca 1000 gånger protonens vilomassa - varefter man bringade strålarna att kollidera.
- Protonen och antiprotonen innehåller vardera 3 kvarkar. Den energi som omsätts när två av dessa kvarkar, en i vardera strålen, kollidera är tillräcklig för att studera elementarpartiklarnas struktur ner till en en milliondels milliardels millimeter = nano-nano-meter.
- Vid dessa mätningar kunde inte någon utsträckning eller inre struktur hos elementarpartiklarna uppdagas. Om elementarpartiklarna har en utsträckning måste den därför vara mindre än en nano-nano-meter.

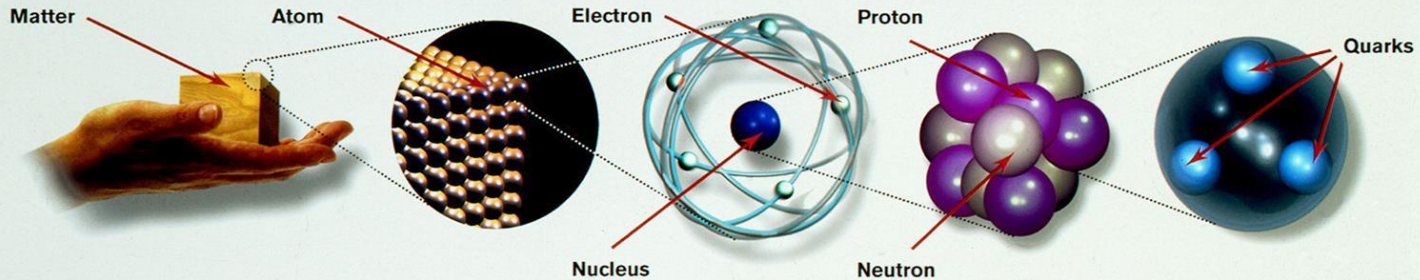
# Hur tunga partiklar har kunnat upptäckas?

- När två kvarkar kolliderade i Tevatronen omsattes deras kinetiska energi ibland till kollisionsenergi inom en volym av en nano-nano-meters storlek
- Den åstadkomna energitätheten var tillräcklig för att ur vakuumfälten materialsera elementarpartiklar med massor som motsvarar massan hos flera hundra protoner - vid Tevatronen har det varit möjligt att studera många tusental sådana kollisioner.
- På detta sätt upptäcktes 1995 den hittills tyngsta kända elementarpartikeln, topp-kvarken, som har en massa på ca 190 protonmassor.

# Large Hadron Collider LHC vid CERN

- I LHC som startades upp vid CERN 2010 accelereras protonerna till en energi som f.n. är ca *4000 gånger protonens massa och om några år 7000 gånger protonens massa*.
- Vid LHC kan därmed elementarpartiklarnas (eventuella) storlek och inre stuktur undersökas ner till omkring *en tiondels nano-nanometer*.
- Med LHC kommer (eventuella) nya elementarpartiklar med massor motsvarande *fler tusen protonmassor* att kunna upptäckas.
- Med LHC går upptäcktsresan vidare in i det okända...

# Vad har etablerats hittills? Standardmodellen



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

QUARKS			
<b>Up</b> Has an electric charge of plus two-thirds; protons contain two, neutrons contain one		<b>Down</b> Has an electric charge of minus one-third; protons contain one, neutrons contain two	
<b>Charm</b> A heavier relative of the up; found in 1974		<b>Strange</b> A heavier relative of the down; found in 1964	
<b>Top</b> Heavier still		<b>Bottom</b> 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

<p><b>Gluons</b> Carriers of the strong force between quarks</p> <p>Felt by: quarks</p> <p>The explosive release of nuclear energy is the result of the <b>strong force</b></p>	<p><b>Photons</b> Particles that make up light; they carry the electromagnetic force</p> <p>Felt by: quarks and charged leptons</p> <p>Electricity, magnetism and chemistry are all the results of <b>electro-magnetic force</b></p>	<p><b>Intermediate vector bosons</b> Carriers of the weak force</p> <p>Felt by: quarks and leptons</p> <p>Some forms of radio-activity are the result of the <b>weak force</b></p>	<p><b>Gravitons</b> Carriers of gravity</p> <p>Felt by: all particles with mass</p> <p>All the weight we experience is the result of the <b>gravitational force</b></p>
---	--	--	---

GRAPHICS: PETER GROWTHER

# Higgs-bosonens förutsägelse 1962...

- Kvantfältteorin i sin ursprungliga form (Yang-Mills) förutsätter att kraftpartiklarna är masslösa.
- Den svaga kraftens kraftpartiklar ( $W^+$ ,  $W^-$  och  $Z^0$ ) har emellertid befunnits vara mycket massiva.
- Det blev därför nödvändigt att finna ett sätt att tilldela dessa kraftpartiklar - men inte den elektromagnetiska kraftpartikeln (fotonen) - massa.
- Detta kunde åstadkommas genom att införa Higgs-fältet

**Higgs**  
the mystery of mass

What causes particles to have mass? Why do the masses of fundamental particles differ so enormously - the top quark is more than 200,000 times heavier than the electron?

A solution has been developed by several physicists and takes the name of Peter Higgs. According to this, the whole of space is permeated by a field, similar in some ways to the electromagnetic field. As particles move through space they travel through this field. The interaction between the particles and the field is similar to the action of a viscous force felt by a particle moving through a thick liquid. The stronger the interaction of the particles with the Higgs field, the more mass they appear to have.

We know from quantum theory that fields have particles associated with them, so if the Higgs idea is right, there must be a Higgs particle. Finding it is the key to verifying whether our best hypothesis for the origin of mass is indeed correct.

$m_f = m_0 \frac{GM}{r^2}$

Newton related mass and weight.

$E = mc^2$

Einstein discovered that mass is equivalent to energy.

The Higgs mechanism can explain the origin of mass.

A simulation of the production of a Higgs particle decaying into two photons.

A simulation of the Higgs signal for its decay into two photons (1 year of data taking at the LHC).

A simulation of the Higgs signal for its decay into four leptons (1 year of data taking at the LHC).

Events/500 MeV for 100 fb<sup>-1</sup>

$H \rightarrow \gamma\gamma$

Higgs signal

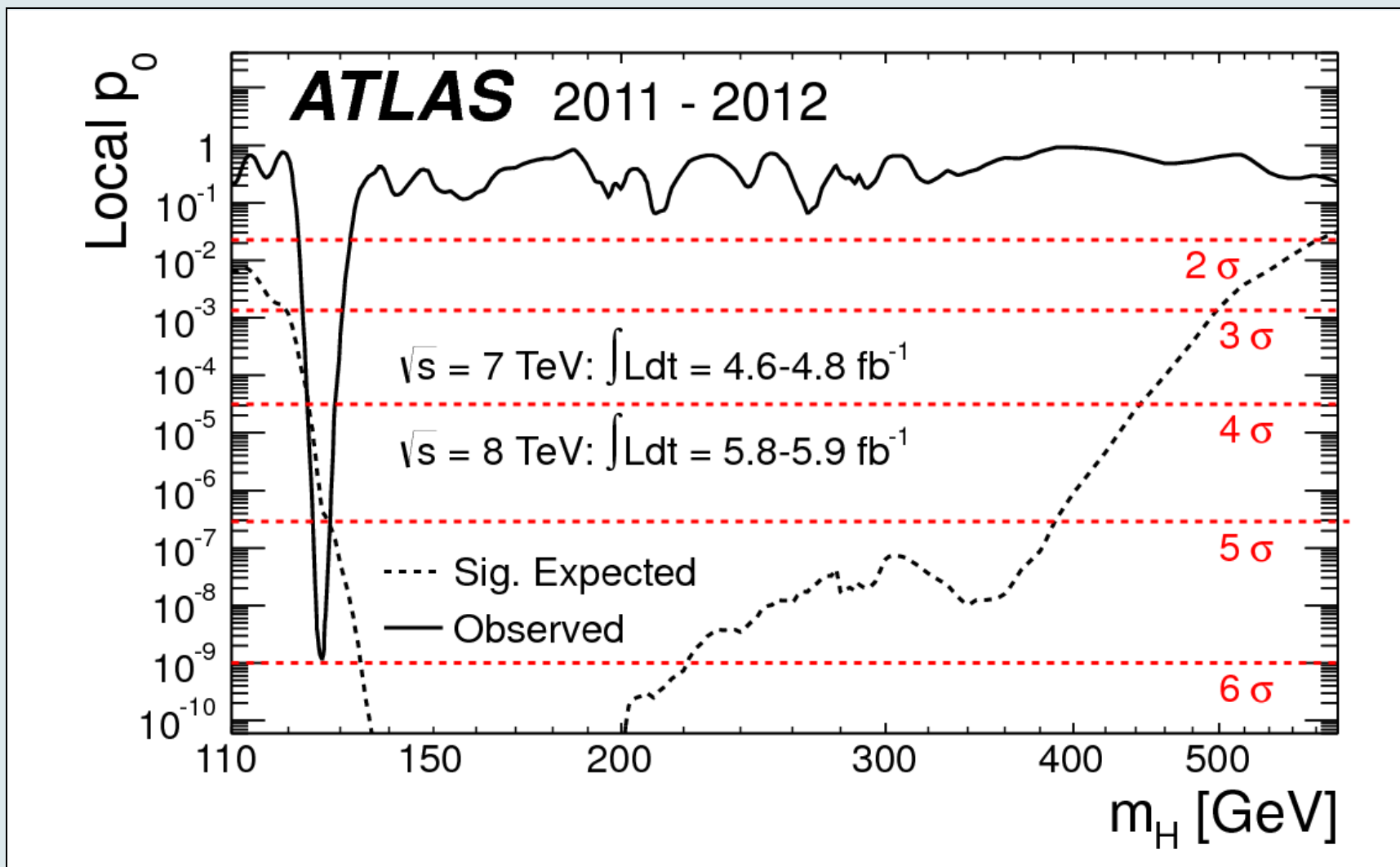
$M_{\gamma\gamma}$  (GeV)

Events / 2 GeV

$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$

$M_{4\ell}$  (GeV)

# ...och upptäckt 2012



# Frågor som inte besvaras av Standardmodellen

- Varför finns det i universum bara materia och ingen antimateria?
- Hur kan vi finna förena den elektrosvaga och den starka kraften?
- Vad består den mörka materien av?
- Vår beskrivning av den elektrosvaga och starka kraften bygger på kvantiserade fält i vakuum och vår beskrivning av gravitationen bygger på att rumstiden är krökt - hur kan vi finna en gemensam beskrivning för alla naturens krafter med så skilda utgångspunkter?

# Hypoteser: Supersymmetri och Strängar

- Den drivande kraften bakom strävan att finna en generellare beskrivning att ersätta Standardmodellens är frågan om hur gravitationen skall kunna inbegripas.
- I detta syfte postuleras att det finns en ny symmetrier i naturen, supersymmetri, att det finns fler rumsdimensioner än de tre vi känner och att materiens minsta enheter inte är partiklar utan strängar eller membran.

**Supersymmetry**  
the ultimate hierarchy of matter?

**11-dimensional particles?**

**Supersymmetry**

The mystery of the enormous ratio between the electro-weak scale (at 100-300 GeV), defined by the masses of the W and Z particles, and possibly the Higgs particle, and the Planck scale (10<sup>19</sup>GeV), when gravitational effects become comparable to the other forces. Known as the hierarchy problem, this is one of the most baffling in modern physics.

The concept of "Supersymmetry", SUSY for short, promises a solution to the hierarchy problem. SUSY enlarges the space-time symmetry of physical laws, by connecting the realms of particles and fields. It predicts a variety of new species of particles at the energy scale around 1 TeV - waiting to be discovered at the LHC.

**Dark Matter in the Universe**

It is the gravity of these galaxies strong enough to contain the giant ball of plasma that still exists with the Big Bang. Our studies have shown that the answer is no. An additional gravitational pull must be exerted by invisible "dark matter", whose nature and composition is one of the biggest mysteries of astrophysics today. Possible candidates for dark matter are the lightest supersymmetric particles, which may be found at the LHC.

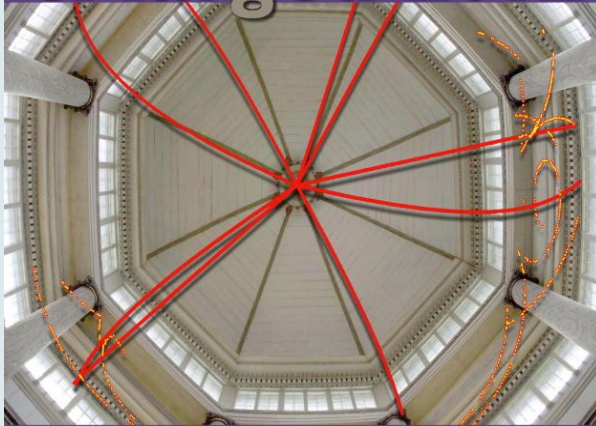
A simulation of a SUSY particle event with three top quarks and two jets in the final state. Such a particle could contribute to the dark matter in the Universe.

Source: <http://www.hep.upenn.edu/~jared>

# Charged Higgs

- En av konsekvenserna av antagandet om supesymmetri är att det skulle finnas inte bara neutrala Higgs-bosoner utan även elektriskt laddade sådana
- Ett huvudtema inom Uppsalas CERN-forskning är att söka efter laddade Higgsbosoner vid LHC

**FOURTH INTERNATIONAL WORKSHOP**  
**cH<sup>±</sup>arged 2012**



**Prospects for Charged Higgs Discovery at Colliders**  
Uppsala University, Sweden, 8–11 October 2012



**International Scientific Advisory Committee:**  
Kévi Assamagan (BNL, USA)  
Marco Battaglia (CERN, Switzerland)  
Olivier Brein (University of Freiburg, Germany)  
Johann Collot (University of Grenoble, France)  
Dhiman Chakraborty (Northern Illinois University, USA)  
Eilam Gross (Weizmann Institute of Science, Israel)  
Sven Heinemeyer (University of Cantabria, Spain)  
Gudrun Hiller (Technische Universität Dortmund, Germany)  
Karl Jakobs (University of Freiburg, Germany)  
Shinya Kanetsuna (University of Toyama, Japan)  
Ritva Kinnunen (Helsinki Institute of Physics, Finland)  
Chiara Mariotti (INFN Torino, Italy)  
Stefano Moretti (University of Southampton, UK)  
Alexandre Nikitenko (Imperial College London, UK)  
Per Osland (University of Bergen, Norway)  
Tilman Plehn (University of Heidelberg, Germany)

**Local Organisation Committee:**  
Richard Brenner, Claus Buszello,  
Tore Ekelöf (chair), Mattias Elert,  
Rikard Enberg, Inger Ericson (secretary),  
Arnaud Ferron, Charlie Isaacs,  
Daniel Pelikan, Johan Rathsman (co-chair),  
Dominik Werdner, Glenn Wouda, Hennik Ohman

**Topics:**  
• Search strategies, systematics and analysis tools  
• Phenomenology and Monte Carlo  
• Theory  
We welcome contributed talks

**UPPSALA UNIVERSITET**

URL: [www.grid.tsl.uu.se/chargedhiggs2012](http://www.grid.tsl.uu.se/chargedhiggs2012) Email: [chargedhiggs2012@physics.uu.se](mailto:chargedhiggs2012@physics.uu.se)

**Sponsors:**  

# Big Bang

Undersökningen av de minsta partiklarna och strävan mot en global beskrivning av alla fysikaliska krafter har direkt anknytning till vår förståelse av hur universum skapades i Big Bang.

$10^{-43}$  s Inflation

$10^{-34}$  s Fria kvarkar

$10^{-10}$  s Hadroner formas

1 s - 3 min Heliumkärnor formas

$300 \cdot 10^3$  år Atomer formas -  
ljustransport möjlig

$10^9$  år Gravitationen drar  
samman atomer till moln

$15 \cdot 10^9$  år Idag



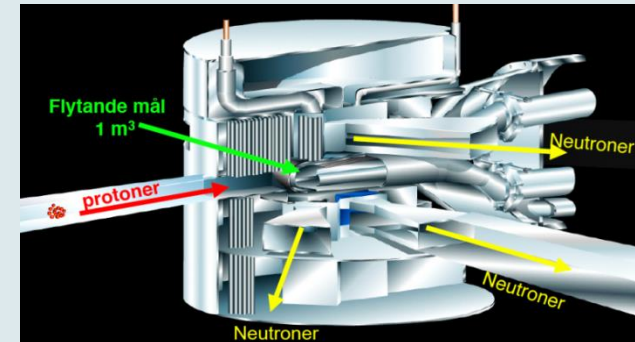
# Högenergifysikens Omedelbara tillämpningar

De teknologier vi utvecklar inom högenergifysikens spelar ett successivt ökande, viktig roll också för

- andra vetenskaper, t.ex. för synkrotronljus-forskning (MAXLAB, SESAME) och spallations-neutronforskning (ESS) inom materialvetenskap och biologi
- medicinsk diagnos och behandling i våra sjukhus, t.ex. För PET-kameror och protonterapi (SKANDION) av cancer,
- kvalitetskontroll och processmetoder inom industrin, t.ex. för strålgenomlysning för detektion av sprickor i stora mekaniska strukturer och elektronstrålesvetsning samt



SESAME I MELLANÖSTERN

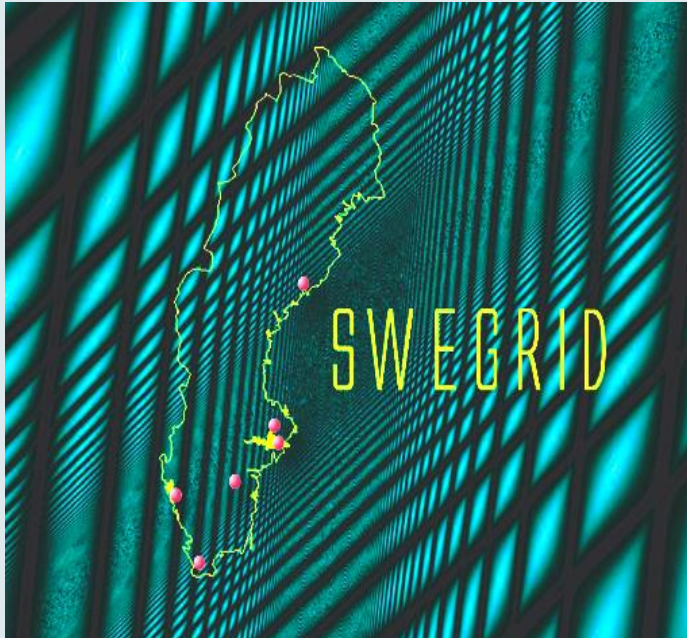


ESS I LUND



SKANDION I UPPSALA

-tillämpningar i samhället i stort,  
t.ex. World Wide Web och,  
nu senast,  
GRID-teknologin



# Varför gör vi allt detta?

- Det konventionella svaret är: av *nyfikenhet*.
- Grundforskning kallas ofta för just "nyfikenhetsforskning".
- Men inge forskning kan bedrivas utan nyfikenhet.
- Nyfikenhet är en förutsättning för *all* forskning, för såväl grundforskning som tillämpad forskning.
- Man kan alltså inte karaktärisera högenerifysik-forskningen i förhållande till annan tillämpad forskning genom att kalla den för "nyfikenhetsforskning" med mindre än att man menar att den bedrivs med det *enda* motivet, ändamålet och syftet att tillfredsställa nyfikenhet.

# Vilket är högenergifysikens ändamål?

- Med tanke på de omfattande personliga, materiella och ekonomiska resurser som investeras i högenergifysikforskningen är det inte rimligt att tänka sig att det enda motivet, ändamålet och syftet med verksamheten skulle vara att tillfredsställa nyfikenhet.
- Frågan blir då vilket högenergifysikens motiv, ändamål och syfte är?

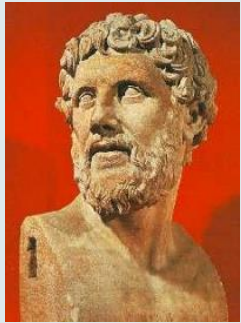
# Vid fronten mot det okända

- Den experimentella högenergifysikforskningen syftar till att upptäcka helt nya fysikaliska fenomen vilka kan leda till en förståelse av ett gemensamt ursprung för den elektrosvaga och starka kraften och, ytterst, även för gravitationen.
- Forskningen sker i mikrokosmos vid fronten mot det helt okända och därmed, genom den nuvarande teorin om universums uppkomst ur Big Bang, även till makrokosmos.
- En sådan front mot det helt okända har funnits inom den moderna empiriskt baserade fysikforskningen sedan dess begynnelse.

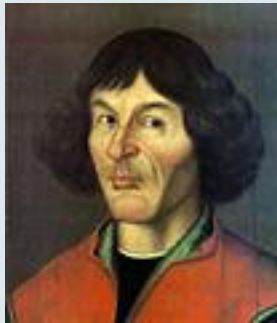
# Innan Kopernikus, Galilei och Kepler

- Innan den moderna, empiriskt baserade fysiken ansågs källan till kunskap om den fysikaliska verkligheten vara
  - intuitiva spekulationer baserade på vad man såg omkring sig i världen, utan krav på reproducibla experiment och kvantitativa mätningar (observationer inom astronomin utgjorde ett tidigt och viktigt undantag)
  - tolkning av auktoritativa skrifter (i västerlandet Aristoteles och Bibeln)
- Dessa föreställningar fick fr.o.m. renässansen svårbemästrad konkurrens av nya idéer framförda av fysiker som Kopernikus, Galilei, Kepler m.fl.

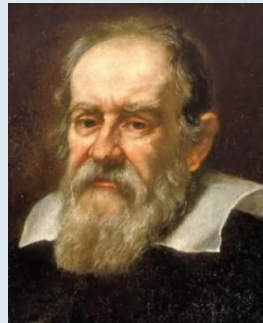
# Framtiden...



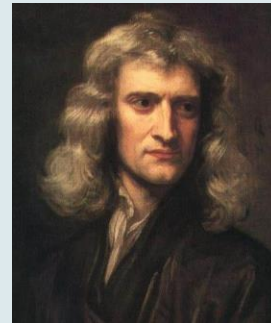
Demokritos



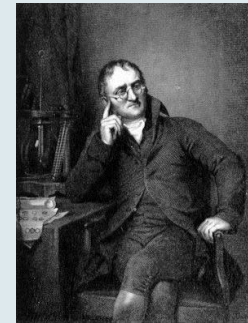
Kopernikus



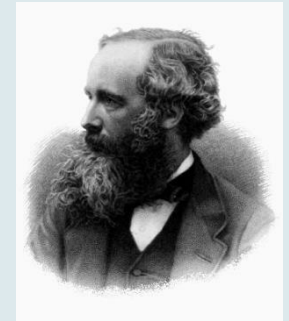
Galileo



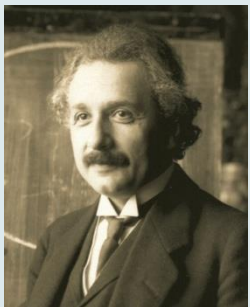
Newton



Dalton



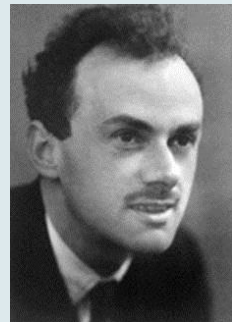
Maxwell



Einstein



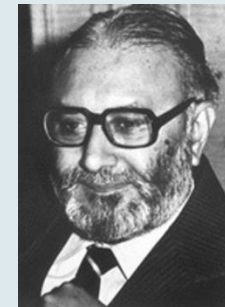
Schrödinger



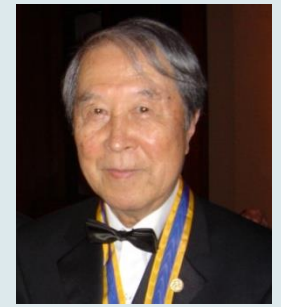
Dirac



Feynman



Salam



Nambu

# Nya paradigmer

- Högenergifysiken utgör alltså i viss mening fortsättningen på det hittills mycket fruktbara projekt som består i att utvidga vår kunskap om den fysikaliska verkligheten inom domäner där vi hittills inte kunnat göra några direkta mätningar alls.
- Den egentliga förhoppningen är inte att bekräfta Standardmodellen utan att kunna visa var den inte stämmer. Det intressant är att finna ut hur avvikelserna ser ut för att därur kunna ställa upp nya grundläggande paradigmer för/beskrivningar av den fysikaliska verkligheten.
- Fysiken har, som vi såg, sedan renässansen genomgått ett antal paradigmskift/omvälvningar

# Newton och den franska revolutionen

- Dessa fysikens paradigmskift/omvälvningar har utövat stark påverkan, inte bara på de materiella förutsättningarna för vårt samhälle, utan även i högsta grad de allmänintellektuella och kulturella.
- T.ex. gjorde Newtons teori intryck på hela sin samtid. Bl.a. förstärkte den idén att människan med sitt förnuft kan förstå och förutse vad som skall ske och därmed att hon kan också forma den värld hon lever i. I vissa fall ledde denna ökade tro på människans förmåga till övertro, t.ex. vad avser förmågan att snabbt omforma vårt samhälle på till synes rationella grunder. Den franska revolutionen kan sägas vara ett uttryck för en sådan övertro.

# Naturvetenskapen och samhällslivet

- Arternas uppkomst i Darwins evolutionsteori,
- relativiteten i Einsteins gravitationsteori,
- osäkerhetsrelationen i kvantmekaniken och
- arvsmassans kodning i DNA

är andra naturvetenskapligt framsteg som haft omvälvande inflytande på våra föreställningar om människans villkor och därmed på samhällslivet

- På liknande sätt kan framtida upptäckter av högre symmetrier i naturen, extra rumsdimensioner och ett gemensamt ursprung för naturkrafternas tänkas utveckla vår syn på verkligheten och därmed påverka vårt samhällsliv.

# Den teknologiska utvecklingen

- Till detta kommer att utvecklingen av all modern teknologi har, via den tillämpade forskningen eller direkt, sina rötter i den naturvetenskapliga grundforskningen landvinningar.
- Den teknologiska utvecklingen, är liksom den intellektuella kulturella utvecklingen, på gott och ont.
- Men vem kan egentligen föreställa sig att gå tillbaka, eller ens hålla tillbaka, denna utveckling?
- Naturvetenskapens historia visar oss vikten av i att delta vid forskningens frontlinjen mot det helt okända. Det berikar vår kultur. Det ger oss också bättre möjligheten att förstå helt nya forskningsresultat på ett tidigt stadium och att därmed kunna bidra till att de nya upptäckterna i sin förlängning tillämpas på ett konstruktivt sätt.

# Varför forskar vi i grundläggande fysik?

- ▣ **Äventyret** ...för att utöka och vidareutveckla vår kunskap om den värld vi lever i
- ▣ **Innovationerna** ...för att i nutid (inom 5-20 år) utveckla och tillämpa helt nya teknologier och innovationer att användas i vårt vardagsliv
- ▣ **Framtiden** ...för att lägga grunden för och stimulera den långsiktiga materiella och intellektuella utvecklingen av den mänskliga kulturen

# Kunskapens äpple

