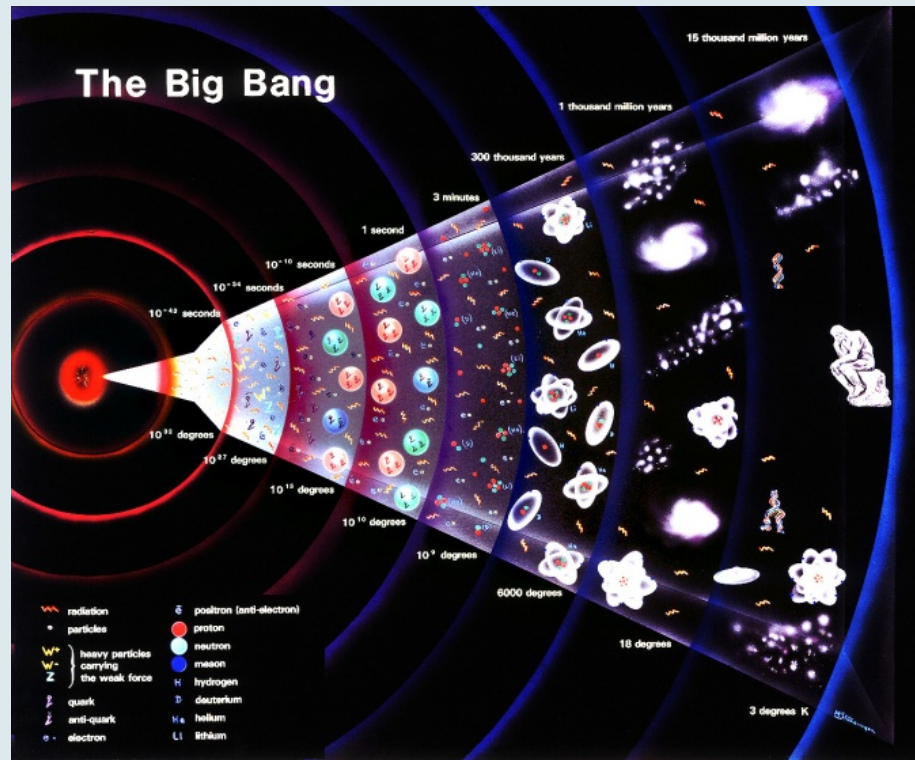
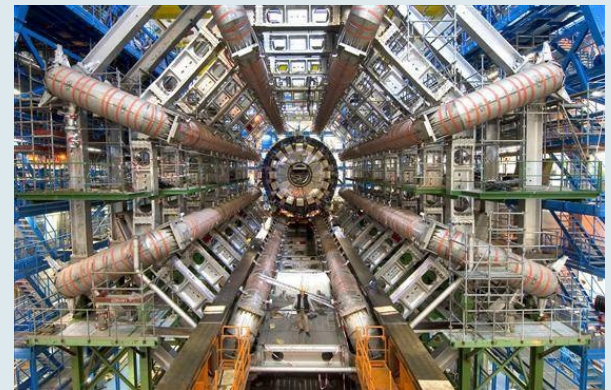


Varför forskar vi om elementarpartiklar?



Large Hadron Collider LHC vid CERN i Genève startades upp 2010



Världens mest högenergetiska protonkrockare
med en kollisionsenergi på $13 \text{ TeV} = 13 \cdot 10^{12} \text{ eV} =$
13 biljoner elektronvolt

Varför hög energi?

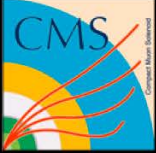
- Enligt kvantmekaniken medger hög energi att man kan studera små detaljer i materien - ju högre energi desto mindre detaljer
- Enligt relativitetsteorin medger hög energi att man kan skapa materiepartiklar - ju högre energi desto massivare partiklar.
- Enligt relativistisk kvantfältteori är vakuum uppfyllt 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?

- I LHC accelereras två strålar av protoner i motsatt riktning till en energi motsvarande ca 7000 gånger protonens vilomassa - varefter man bringade strålarna att kollidera.
- Protonen 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 10^{-19} meter = en tiondels miljardels miljarddels millimeter = en tiondels nano-nano-meter.
- Vid dessa mätningar har hittills inte någon utsträckning eller inre struktur hos elementarpartiklarna uppdagats. Om elementarpartiklarna har en utsträckning måste den därför vara mindre än en tiondels nano-nano-meter.

Hur tunga partiklar har kunnat upptäckas?

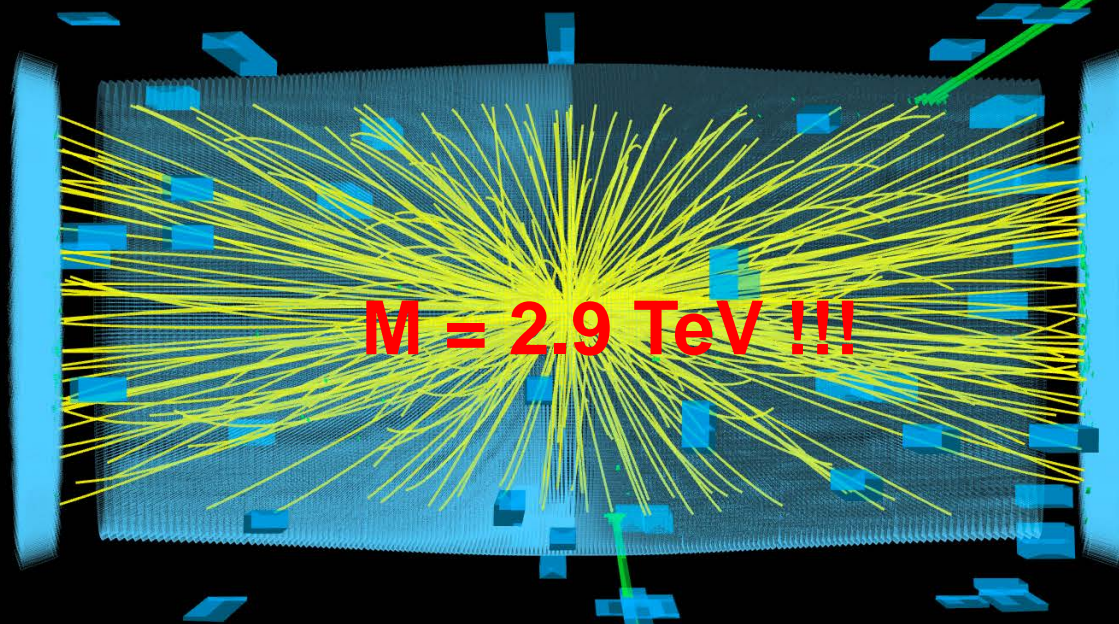
- När två kvarkar kolliderade i LHC omsätts deras kinetiska energi ibland till kollisionsenergi inom en volym av en tiondels nano-nanometers storlek
- Den åstadkomna energitätheten är tillräcklig för att materialsera elementarpartiklar med massor som motsvarar massan hos flera tusen protoner - vid LHC har det varit möjligt att studera många miljontals sådana kollisioner.
- På detta sätt upptäcktes 1995 vid Tevatronen i USA, LHCs föregångare, den hittills tyngsta kända elementarpartikeln, toppkvarken, som har en massa på ca 190 protonmassor. Och 2012 upptäcktes 2012 Higgsbosonen, som har en massa ca 135 protonmassor. Men efter detta har inga nya, tunga partiklar upptäckts trots att det numera skulle vara möjligt att producera partiklar med en massa på flera tusen protonmassor.



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2015-Aug-22 02:13:48.861952 GMT

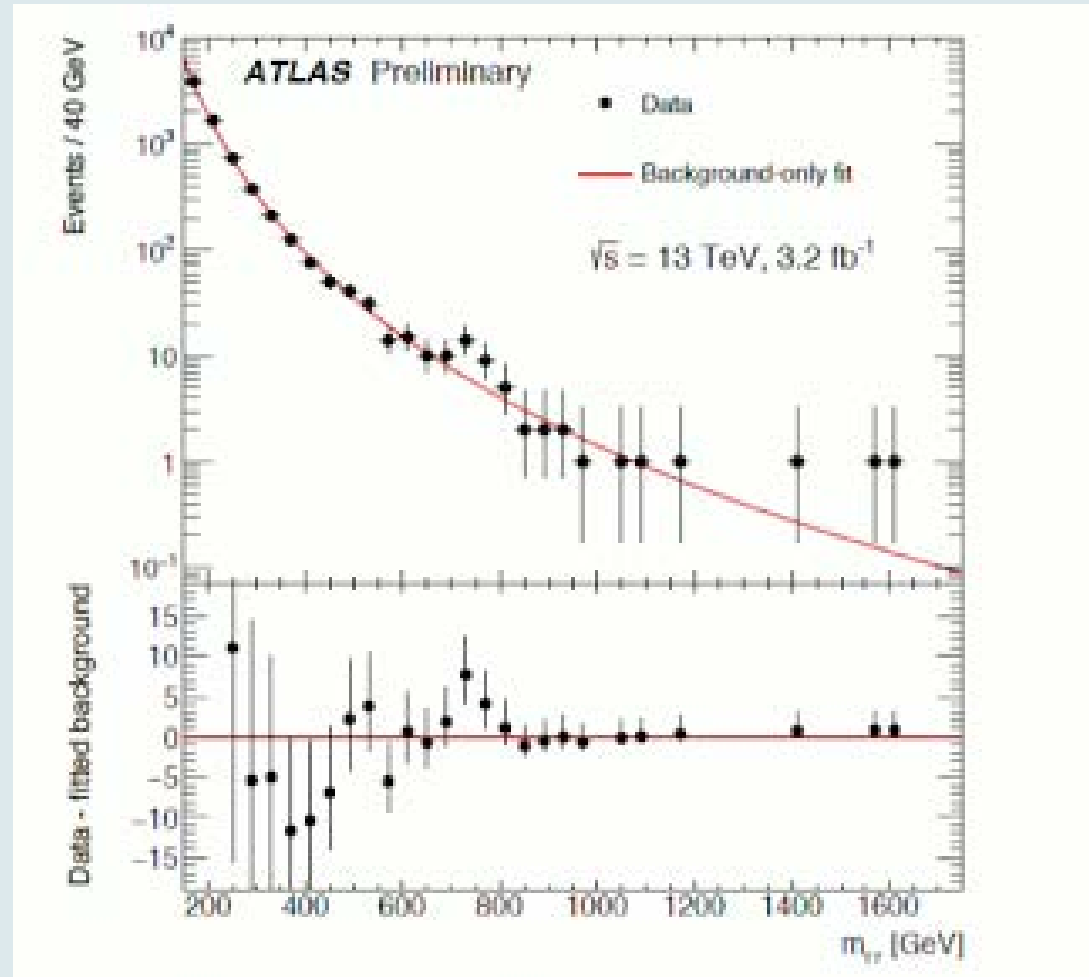
Run / Event / LS: 254833 / 1268846022 / 846



Tuesday, 15 December 2015

A new boson at 750 GeV!

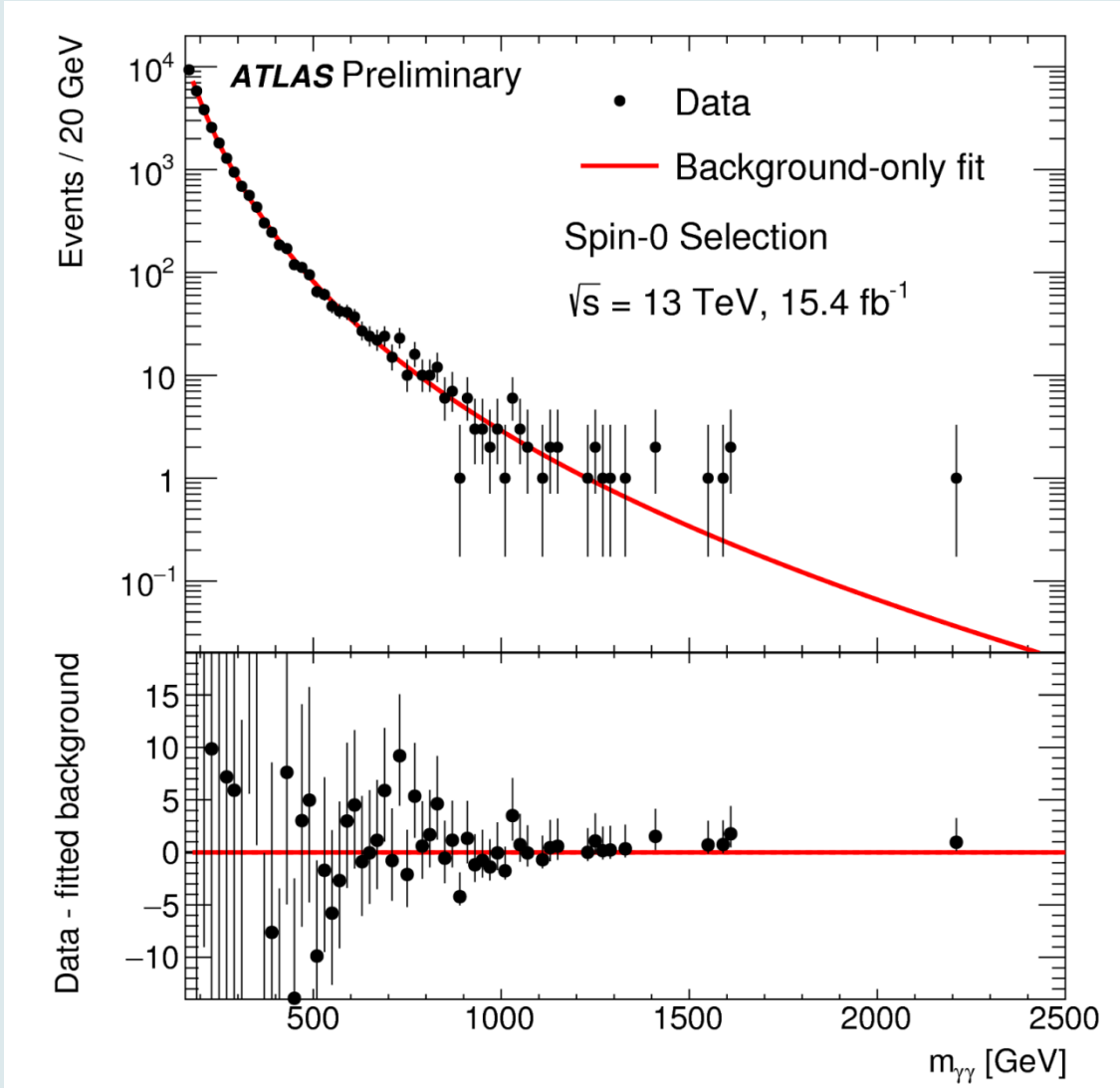
ATLAS and CMS presented today a summary of the first LHC results obtained from proton collisions with 13 TeV center-of-mass energy. The most exciting news was of course the 3.6 sigma bump at 750 GeV in the ATLAS diphoton spectrum, roughly coinciding with a 2.6 sigma excess in CMS.



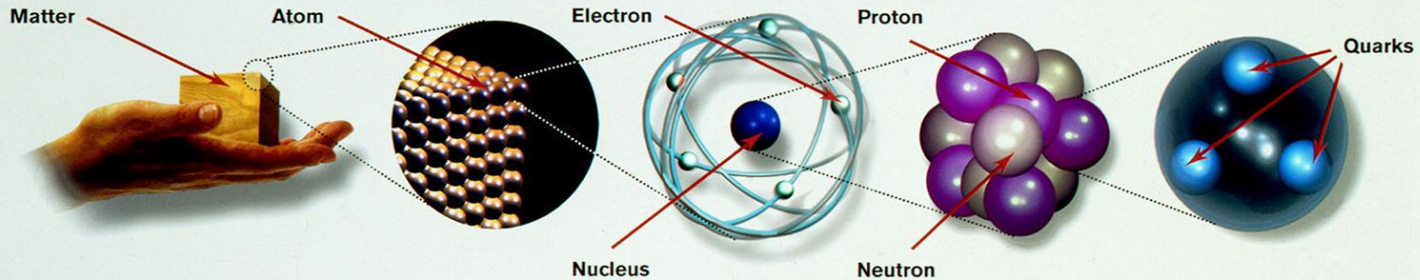
Friday 5 August 2016

No new boson at 750 GeV!

The data is consistent with the Standard Model Background. The global Of the excesses is less than one standard deviation.



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

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 interactions 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.

$m^2 = m_0^2 - \frac{GM}{r^2}$

Matter acquires mass and weight

$E = mc^2$

Spindler discovered that mass is equivalent to energy

The Higgs mechanism would 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 four leptons (1 year of data taking at the LHC)

Events / 2 GeV

$H \rightarrow \gamma\gamma$

Higgs signal

Events / 2 GeV

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

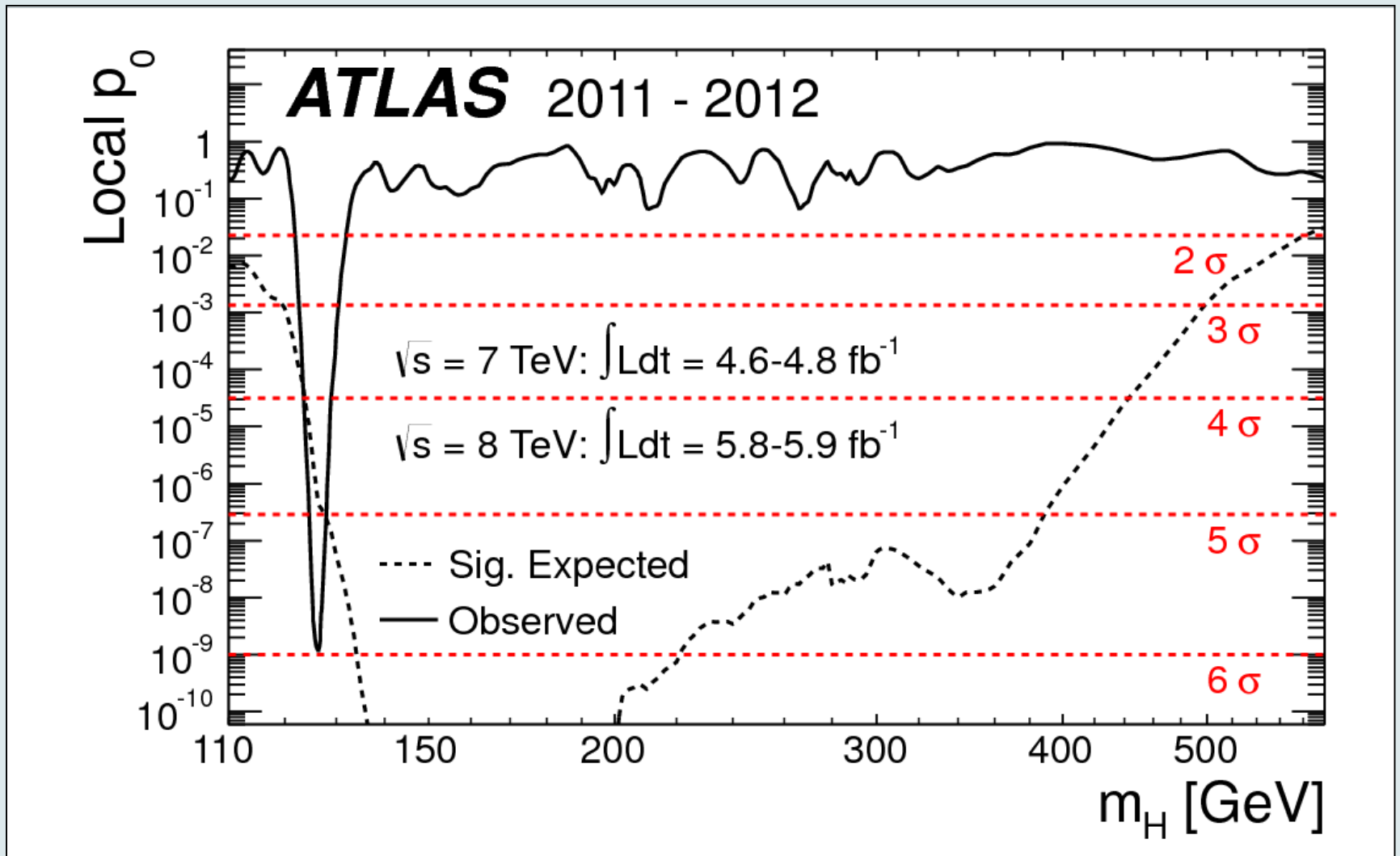
A simulation of the Higgs signal for its decay into four leptons (1 year of data taking at the LHC)

Events / 2 GeV

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

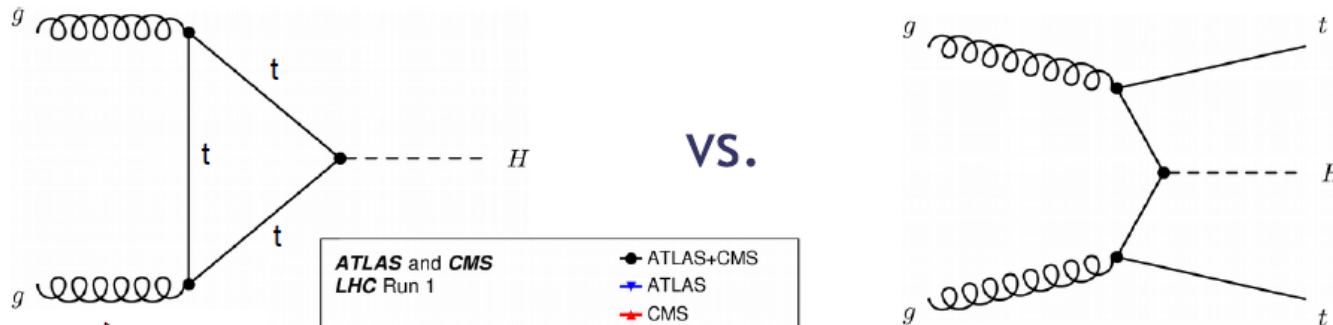
$M_{4\ell}$ (GeV)

...och upptäckt 2012

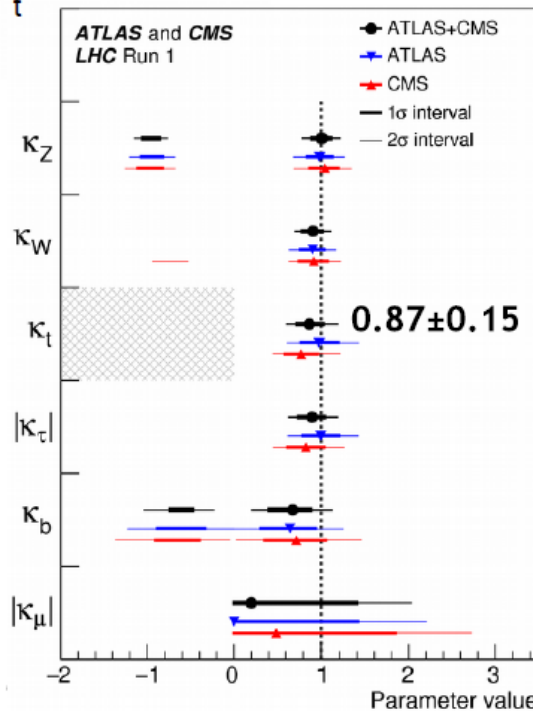


Latest News ttH coupling

While we were confident of the ttH vertex from the production cross-section, this is model-dependent, and the direct observation was missing



VS.



Plot assumes SM loop structures and no BSM decays

JHEP 08 (2016) 045

Dave Charlton LHPC2018

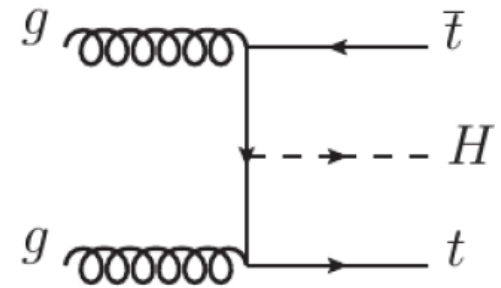
15

D Charlton / Birmingham -

Latest News $t\bar{t}H$ observation

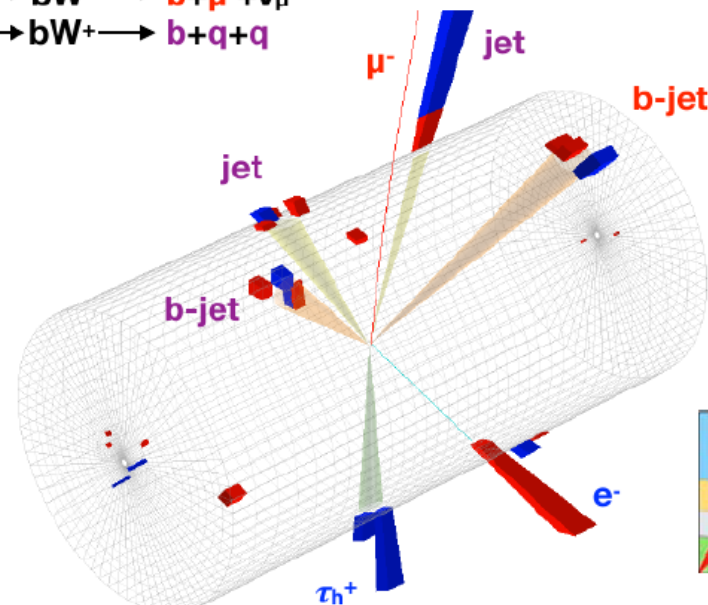
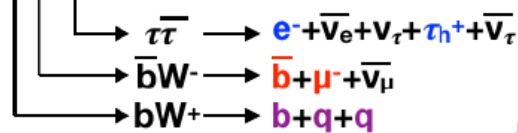
5 σ observation of $t\bar{t}H$ from CMS and ATLAS

Very sophisticated analyses, pushing detector performance very far, many channels, MVAs...



**CMS $t\bar{t}H$
candidate
event**

pp \rightarrow **$t\bar{t}H$**

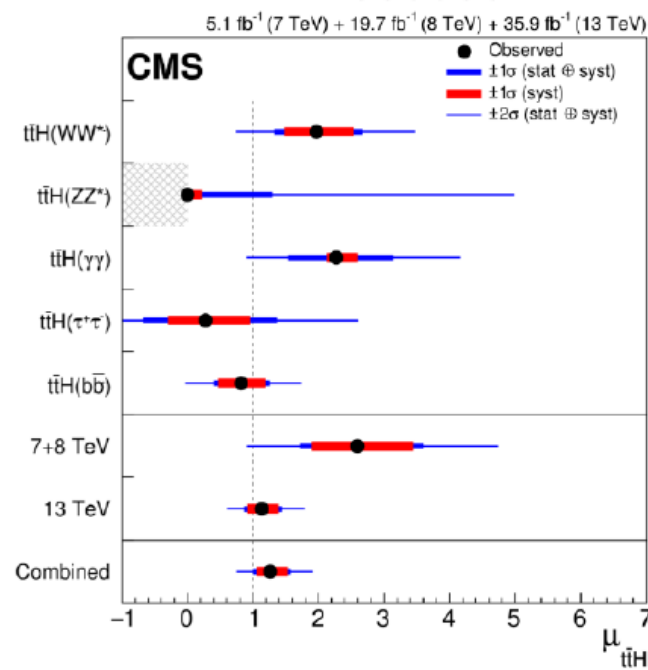
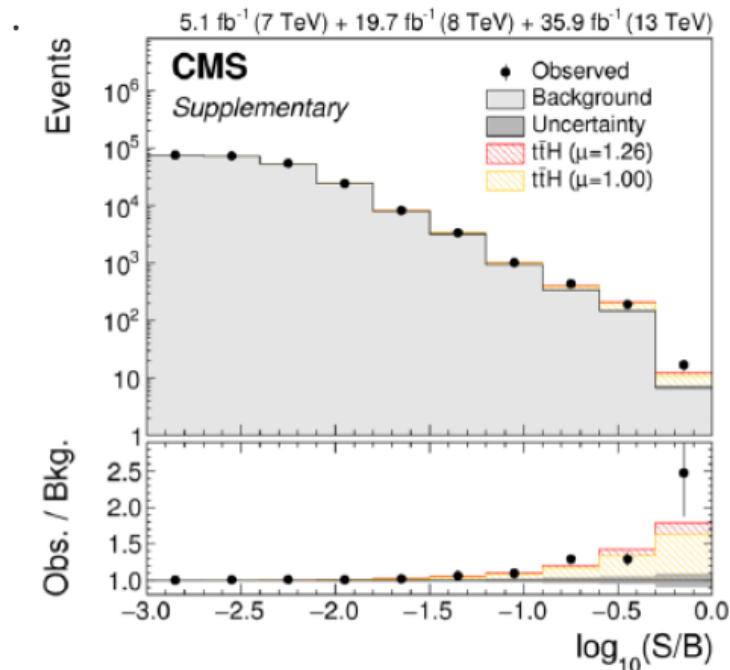
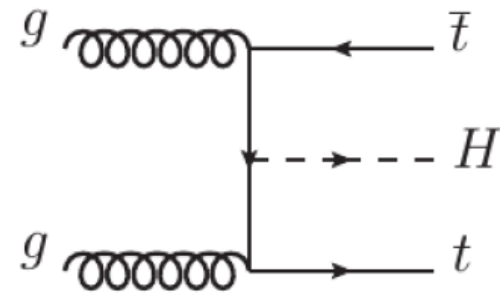


Latest News $t\bar{t}H$ observation

5 σ observation of $t\bar{t}H$ from CMS and ATLAS

Very sophisticated analyses, pushing detector performance very far, many channels, MVAs...

Phys. Rev. Lett. 120, 231801 (2018)



$$\mu_{t\bar{t}H} = 1.26^{+0.31}_{-0.26} = 1.26^{+0.16}_{-0.16}(\text{stat.})^{+0.17}_{-0.15}(\text{exp.})^{+0.14}_{-0.13}(\text{bkg. th.})^{+0.15}_{-0.07}(\text{sig. th.})$$

5.2 σ (4.2 σ exp)

Frågor som inte besvaras av Standardmodellen

- Varför finns det i universum bara materia och ingen antimateria?
- Hur får neutrinerna sin massa?
- 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 rumtiden 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 (10¹⁹GeV), 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

In the quality of these possible events, enough to contain the dark matter of galaxies, the dark matter with the 80% of the universe has been the the answer to us. An additional dimension (d) must be added by multiple dark matter, where each one will represent a kind of the original system of supersymmetry theory. Possible candidates for dark matter are: 1) light supersymmetric particles, which may be thermal at the LHC.

A simulation of a 5000-particle event with three jets, one jet and one gluon in the final state. Such a particular event contribute to the dark matter in the Universe.

Supersymmetry and the Higgs boson

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 har varit att söka efter laddade Higgsbosoner vid LHC

FOURTH INTERNATIONAL WORKSHOP
cHarged 2012

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

International Scientific Advisory Committee:
Kevyn Assamagan (BNL, USA)
Marco Battaglia (CERN, Switzerland)
Oliver Brein (University of Freiburg, Germany)
Johann Collot (University of Grenoble, France)
Dhiman Chakraborty (Northumbria University, UK)
Eliam Gross (Western Institute of Science, Israel)
Sven Heinemeyer (University of Cantabria, Spain)
Gudrun Hiller (Technische Universität Dortmund, Germany)
Karl Jakobs (University of Freiburg, Germany)
Shinya Kanemura (University of Toyama, Japan)
Ritva Kinnunen (Matsuda Institute of Physics, Finland)
Chiara Mariotti (INFN Turin, Italy)
Stefano Moretti (University of Southampton, UK)
Alexandre Nikitenko (Imperial College London, UK)
Per Ostland (University of Bergen, Norway)
Tilman Plehn (University of Mainz, Germany)

Local Organisation Committee:
Richard Breeney, Claus Biscardi,
Tord Ekelöf (chair), Mattias Eliert,
Rikard Enberg, Inger Ericson (secretary),
Arnand Ferran, Charlie Isaksson,
Daniel Pelikan, Johan Rathsman (chair),
Dimitris Wierler,
Glenn Woold, Henrik 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 Email: chargedhiggs2012@physics.uu.se

Sponsors:

Vadhållning om Higgsbosonen och om Supersymmetri



Wilczek - Conrad 2012 om Higgsbosonen

Uppsala 25 January 2013

Bet: Discovery of
"SU(2) gauginos"
with mass ≤ 10 TeV
by end 2019
to be adjudicated by
Gunnar Ingelman

Yes: 100 Nobel chocolate
coins

Frank Wilczek

No: 100 Nobel chocolate
coins

Tord Ekelöf

Vidi: Gunnar Ingelman
Dean of Physics @ UUU

Wilczek - Ekelöf 2019 om gauginos

Latest Searching widely and deeply News

ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits

December 2017

ATLAS Preliminary

$\sqrt{s} = 7, 8, 13 \text{ TeV}$

Model	e, μ, τ, γ	Jets	E_T^{miss}	$[\mathcal{L} d\Gamma(\text{fb}^{-1})]$	Mass limit	Reference				
						$\sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$	$\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$			
Inclusive Searches	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{q}^0$	0	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{q}	1.57 TeV	$m(\tilde{q}^0) < 200 \text{ GeV}, m(1^{\text{st}} \text{ gen. } \tilde{q}) = m(2^{\text{nd}} \text{ gen. } \tilde{q})$	1712.02332	
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{q}^0$ (compressed)	mono-jet	1-3 jets	Yes	36.1	\tilde{q}	710 GeV	$m(\tilde{q}^0) - m(\tilde{q}^1) < 5 \text{ GeV}$	1711.03301	
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{q}^0$	0	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{q}	2.02 TeV	$m(\tilde{q}^0) < 200 \text{ GeV}$	1712.02332	
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{q}^0 \rightarrow qgW^{\pm}\tilde{q}^0$	0	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{q}	2.01 TeV	$m(\tilde{q}^0) < 200 \text{ GeV}, m(\tilde{q}^{\pm}) = 0.5(m(\tilde{q}^0) + m(\tilde{g}))$	1712.02332	
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{q}^0(\ell\ell)\tilde{q}^0$	e, μ, τ	2 jets	Yes	14.7	\tilde{q}	1.7 TeV	$m(\tilde{q}^0) < 300 \text{ GeV}$	1611.05791	
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{q}^0(\ell\ell\nu\nu)\tilde{q}^0$	$3 e, \mu$	4 jets	-	36.1	\tilde{q}	1.87 TeV	$m(\tilde{q}^0) = 0 \text{ GeV}$	1705.03731	
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{q}^0 Z\tilde{q}^0$	0	7-11 jets	Yes	36.1	\tilde{q}	1.8 TeV	$m(\tilde{q}^0) < 400 \text{ GeV}$	1705.02794	
	GMSB (\tilde{g} NLSP)	$1-2 \tau + 0-1 \ell$	0-2 jets	Yes	3.2	\tilde{q}	2.0 TeV	$m(\tilde{q}^0) = 1700 \text{ GeV}, c\tau(\text{NLSP}) < 0.1 \text{ mm}, \mu > 0$	1607.05679	
	GGM (bino NLSP)	2γ	-	Yes	36.1	\tilde{q}	2.15 TeV	$c\tau(\text{NLSP}) < 0.1 \text{ mm}$	ATLAS-CONF-2017-080	
	GGM (higgsino-bino NLSP)	γ	2 jets	Yes	36.1	\tilde{q}	2.05 TeV	$m(\tilde{q}^0) < 200 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2017-080	
Gravitino LSP	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow g\tilde{g}^0$	0	mono-jet	Yes	20.3	$\mu^{1/2}$ scale	865 GeV	$m(\tilde{g}) > 1.8 \times 10^{-4} \text{ eV}, m(\tilde{g}) = m(\tilde{g}) = 1.5 \text{ TeV}$	1502.01516	
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow g\tilde{g}^0$	$0-1 e, \mu$	3 b	Yes	36.1	\tilde{g}	1.92 TeV	$m(\tilde{g}^0) < 600 \text{ GeV}$	1711.01901	
3rd gen. squarks direct production	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{b}^0$	0	2 b	Yes	36.1	\tilde{b}_1	950 GeV	$m(\tilde{b}_1^0) < 420 \text{ GeV}$	1705.03926	
	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{b}^0$	$2 e, \mu$ (SS)	1 b	Yes	36.1	\tilde{b}_1	275-700 GeV	$m(\tilde{b}_1^0) < 200 \text{ GeV}, m(\tilde{b}_1^{\pm}) = m(\tilde{b}_1^0) + 100 \text{ GeV}$	1705.03731	
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{t}^0$	$0-2 e, \mu$	1-2 b	Yes	4.7/13.3	\tilde{t}_1	117-170 GeV	$m(\tilde{t}_1^0) = 2m(\tilde{b}_1^0), m(\tilde{t}_1^{\pm}) = 55 \text{ GeV}$	1209.2102, ATLAS-CONF-2016-077	
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow W\tilde{b}^0$ or $\tilde{c}\tilde{t}^0$	$0-2 e, \mu$	0-2 jets/1-2 b	Yes	20.3/36.1	\tilde{t}_1	90-190 GeV	$m(\tilde{t}_1^0) = 1 \text{ GeV}$	1505.08616, 1709.04183, 1711.11520	
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow c\tilde{t}^0$	0	mono-jet	Yes	36.1	\tilde{t}_1	90-430 GeV	$m(\tilde{t}_1^0) = 5 \text{ GeV}$	1711.03301	
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (natural GMSB)	$2 e, \mu$ (Z)	1 b	Yes	20.3	\tilde{t}_1	150-600 GeV	$m(\tilde{t}_1^0) > 150 \text{ GeV}$	1403.5222	
	$\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + Z$	$3 e, \mu$ (Z)	1 b	Yes	36.1	\tilde{t}_2	290-790 GeV	$m(\tilde{t}_2^0) = 0 \text{ GeV}$	1705.03926	
	$\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + h$	$1-2 e, \mu$	4 b	Yes	36.1	\tilde{t}_2	320-860 GeV	$m(\tilde{t}_2^0) = 0 \text{ GeV}$	1705.03926	
	EW direct	$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi} \rightarrow \tilde{Z}\tilde{\chi}^0$	$2 e, \mu$	0	Yes	36.1	$\tilde{\chi}$	90-500 GeV	$m(\tilde{\chi}^0) = 0$	ATLAS-CONF-2017-039
		$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi} \rightarrow \tilde{Z}(\nu\bar{\nu})$	$2 e, \mu$	0	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	750 GeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = 0, m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = 0.5(m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) + m(\tilde{\chi}_{1,2}^0))$	ATLAS-CONF-2017-039
$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi} \rightarrow \tau\nu, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow \tau\nu(\nu\bar{\nu})$		2τ	-	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	760 GeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = 0, m(\tau, \nu) = 0.5(m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) + m(\tilde{\chi}_{1,2}^0))$	1708.07675	
$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi} \rightarrow \nu\ell, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow \nu\ell(\nu\bar{\nu})$		$3 e, \mu$	0	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	1.13 TeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = m(\tilde{\chi}_{1,2}^0), m(\nu, \ell) = 0.5(m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) + m(\tilde{\chi}_{1,2}^0))$	ATLAS-CONF-2017-039	
$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi} \rightarrow \nu\ell, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow \nu\ell(\nu\bar{\nu})$		$2-3 e, \mu$	0-2 jets	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	580 GeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = m(\tilde{\chi}_{1,2}^0), m(\nu, \ell) = 0, \tilde{\ell}$ decoupled	ATLAS-CONF-2017-039	
$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi} \rightarrow W\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow W\tilde{\chi}_{1,2}^0$		e, μ, γ	0-2 b	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	270 GeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = m(\tilde{\chi}_{1,2}^0), m(\nu, \ell) = 0, \tilde{\ell}$ decoupled	1501.07110	
$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi} \rightarrow h\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{h} \rightarrow h\tilde{h}^0/W\tilde{\tau}\tau/\gamma\gamma$		$4 e, \mu$	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	635 GeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = m(\tilde{\chi}_{1,2}^0), m(\nu, \ell) = 0, \tilde{\ell}$ decoupled	1405.5086	
GGM (wino NLSP) weak prod., $\tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow \gamma\tilde{G}$		$1 e, \mu + \gamma$	-	Yes	20.3	\tilde{W}	115-370 GeV	$c\tau < 1 \text{ mm}$	1507.05493	
GGM (bino NLSP) weak prod., $\tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow \gamma\tilde{G}$		2γ	-	Yes	36.1	\tilde{W}	1.06 TeV	$c\tau < 1 \text{ mm}$	ATLAS-CONF-2017-080	
Long-lived particles		Direct $\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_{1,2}^0$	Disapp. trk	1 jet	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	460 GeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) - m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = 160 \text{ MeV}, \tau(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = 0.2 \text{ ns}$	1712.02116
	Direct $\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_{1,2}^0$	dEdx trk	-	Yes	18.4	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	495 GeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) - m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) = 160 \text{ MeV}, \tau(\tilde{\chi}_{1,2}^0) < 15 \text{ ns}$	1505.05322	
	Stable, stopped \tilde{g} R-hadron	0	1-5 jets	Yes	27.9	\tilde{g}	850 GeV	$m(\tilde{g}^0) = 100 \text{ GeV}, 10 \mu\text{s} < \tau(\tilde{g}) < 1000 \text{ s}$	1310.6584	
	Stable \tilde{g} R-hadron	trk	-	-	3.2	\tilde{g}	1.58 TeV	$m(\tilde{g}^0) = 100 \text{ GeV}, \tau > 10 \text{ ns}$	1605.05129	
	Metastable \tilde{g} R-hadron	dEdx trk	-	-	3.2	\tilde{g}	1.57 TeV	$m(\tilde{g}^0) = 100 \text{ GeV}, \tau > 10 \text{ ns}$	1604.04520	
	Metastable \tilde{g} R-hadron, $\tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}^0$	displ. vtx	-	Yes	32.8	\tilde{g}	2.37 TeV	$\tau(\tilde{g}) = 0.17 \text{ ns}, m(\tilde{g}^0) = 100 \text{ GeV}$	1710.04801	
	GMSB, stable $\tilde{g}, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow \tau(\tilde{b}, \tilde{b}) + \tau(e, \mu)$	$1-2 \mu$	-	-	19.1	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	537 GeV	$10 < \text{LHPF} < 50$	1411.6735	
	GMSB, $\tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow \gamma\tilde{G}$, long-lived $\tilde{\chi}_{1,2}^0$	2γ	-	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	440 GeV	$1 - c\tau(\tilde{\chi}_{1,2}^0) < 3 \text{ ns}, \text{SPS8 model}$	1409.5542	
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow e\bar{e}\nu/\mu\bar{\mu}\nu$	displ. $e\bar{e}/\mu\bar{\mu}$	-	-	20.3	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	1.0 TeV	$7 < c\tau(\tilde{\chi}_{1,2}^0) < 740 \text{ mtr}, m(\tilde{g}) = 1.3 \text{ TeV}$	1504.05162	
	RPV	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_i + X, \tilde{\nu}_i \rightarrow e\mu/\tau\mu$	$e\mu/\tau\mu$	-	-	3.2	$\tilde{\nu}_i$	1.9 TeV	$A_{331} = -0.11, A_{322}/A_{323} = 0.07$	1607.08079
Bilinear RPV CMSSM		$2 e, \mu$ (SS)	0-3 b	Yes	20.3	\tilde{q}, \tilde{g}	1.45 TeV	$m(\tilde{q}) = m(\tilde{g}), c\tau_{\text{LSP}} < 1 \text{ mm}$	1404.2500	
$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow W\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow e\bar{e}\nu, \mu\bar{\mu}\nu$		$4 e, \mu$	-	Yes	13.3	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	1.14 TeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) > 400 \text{ GeV}, A_{123} \neq 0 (k = 1, 2)$	ATLAS-CONF-2016-075	
$\tilde{\chi}_{1,2}^0\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow W\tilde{\chi}_{1,2}^0, \tilde{\chi}_{1,2}^0 \rightarrow \tau\nu, e\nu$		$3 e, \mu + \tau$	-	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_{1,2}^0$	450 GeV	$m(\tilde{\chi}_{1,2}^0) > 0.2 \times m(\tilde{\chi}_{1,2}^0), A_{133} \neq 0$	1405.5086	
$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}^0, \tilde{q}^0 \rightarrow q\tilde{q}^0$		0	4-5 large-R jets	-	36.1	\tilde{g}	1.875 TeV	$m(\tilde{g}^0) = 1075 \text{ GeV}$	SUSY-2016-22	
$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow \tilde{t}\tilde{t}^0, \tilde{t}^0 \rightarrow q\tilde{q}^0$		$1 e, \mu$	8-10 jets/0-4 b	-	36.1	\tilde{g}	2.1 TeV	$m(\tilde{g}^0) = 1 \text{ TeV}, A_{112} \neq 0$	1704.08493	
$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow \tilde{t}\tilde{t}^0, \tilde{t}^0 \rightarrow b\tilde{s}$		$1 e, \mu$	8-10 jets/0-4 b	-	36.1	\tilde{g}	1.65 TeV	$m(\tilde{g}^0) = 1 \text{ TeV}, A_{123} \neq 0$	1710.07171	
$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{s}$		0	2 jets + 2 b	-	36.7	\tilde{t}_1	100-470 GeV	$\text{BR}(\tilde{t}_1 \rightarrow b\nu/\mu) > 20\%$	1710.07171	
$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\ell}$		$2 e, \mu$	2 b	-	36.1	\tilde{t}_1	0.4-1.45 TeV		1710.05544	
Other		Scalar charm, $\tilde{c} \rightarrow c\tilde{q}^0$	0	2 c	Yes	20.3	\tilde{c}	510 GeV	$m(\tilde{c}^0) < 200 \text{ GeV}$	1501.01326

*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. Many of the limits are based on simplified models, c.f. refs. for the assumptions made.

10⁻¹ 1 Mass scale [TeV]

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

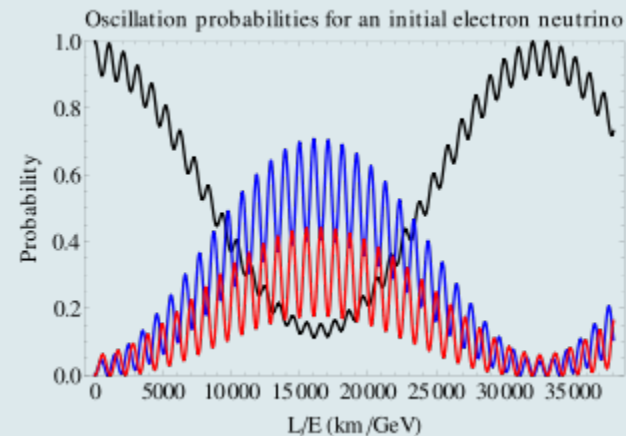
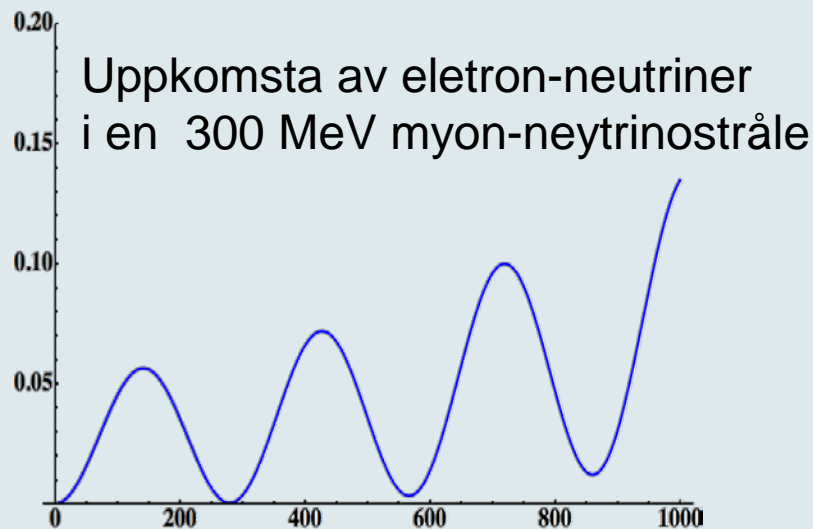
$300 \cdot 10^3$ år Atomer formas -
ljustransport möjlig

10^9 år Gravitationen drar
samman atomer till moln

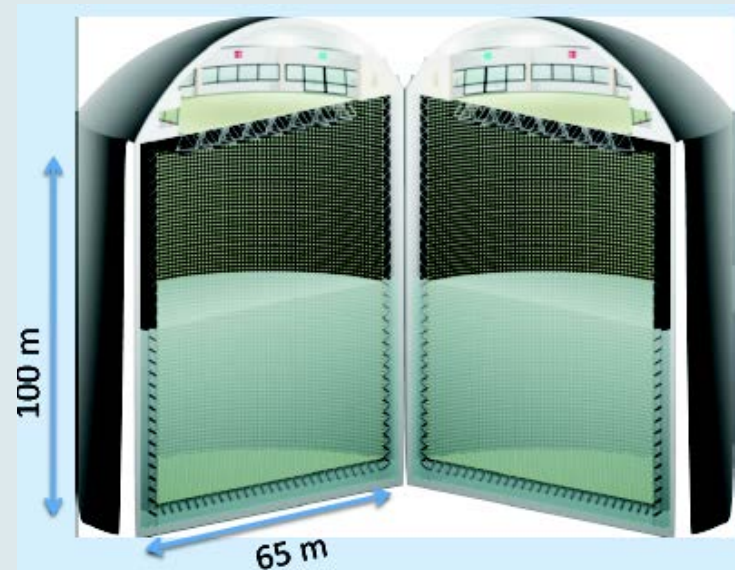
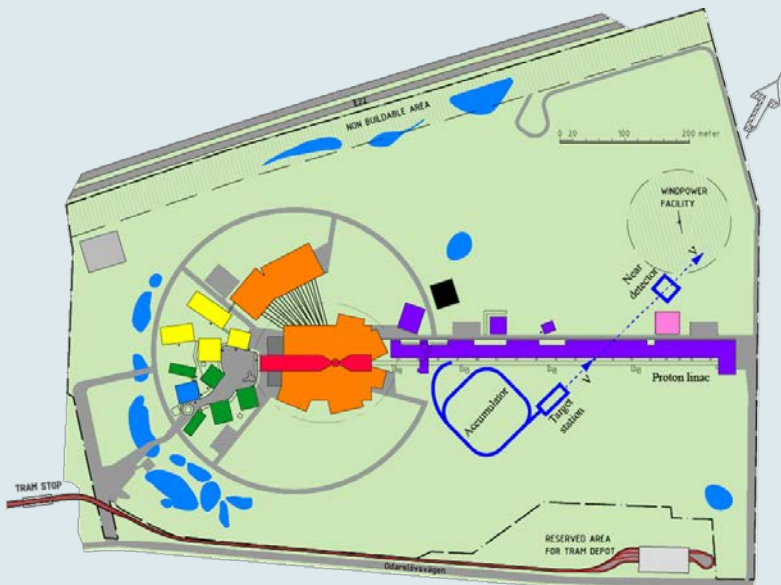
$15 \cdot 10^9$ år Idag



Genom den enorma energikoncentrationen i Big Bang skapades ur vakuumfälten exakt lika stora mängder materia och anti-materia. Idag ser vi bara materia omkring oss, ingen anti-materia. Detta kan inte förklaras av Standardmodellen. För 20 år sedan upptäcktes att neutriner oscillerar och att de därmed har massa vilket belönats med 1915 års Nobel-pris. Inte heller det kan förklaras med standardmodellen.



Jag har föreslagit att ESS' kraftfulla linjäraccelerator i Lund skall användas för att generera en världsunikt intensiv neutrinostråle för experiment som skulle kunna sprida ljus över frågan om materiens dominans över anti-materian i universum. Neutrino-strålen skall riktas från Lund mot en 1 miljon kubikmeter stor vatten-Cherenkov-detektor i Garpeneberg-gruvan i dalarna , 1 km under jord.



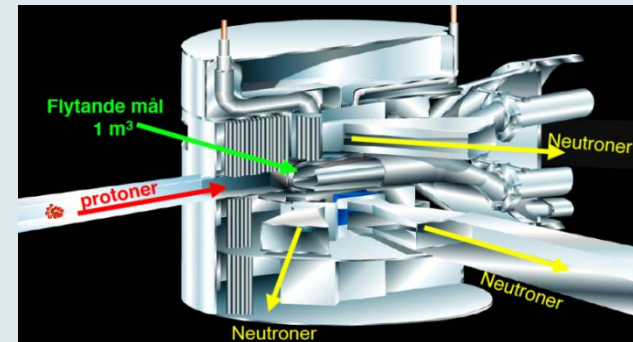
Högenergifysikens Omedelbara tillämpningar

De teknologier vi utvecklar inom högenergifysikenspelar 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

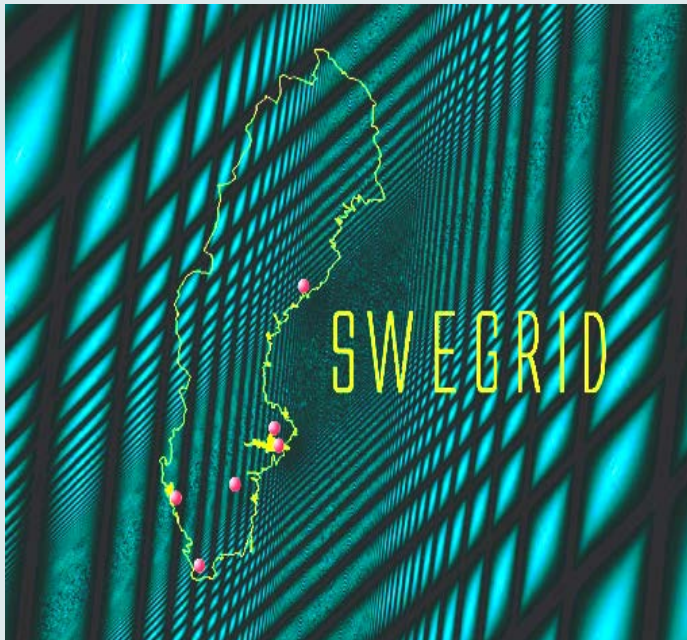


ESS I LUND



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?

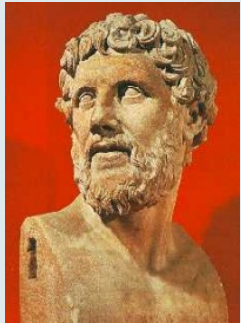
Vid fronten mot det okända

- 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.

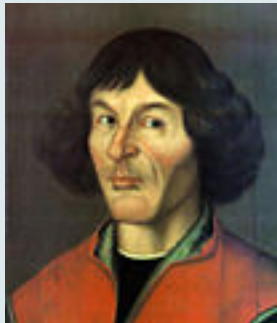
Innan Kopernikus, Galilei och Kepler

- 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.

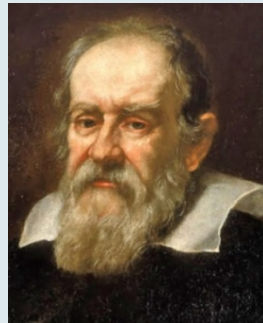
Framtiden...



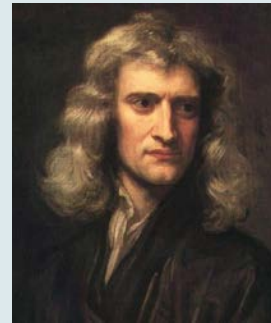
Demokritos



Kopernikus



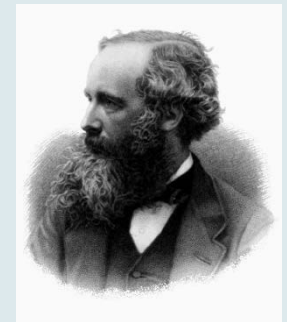
Galileo



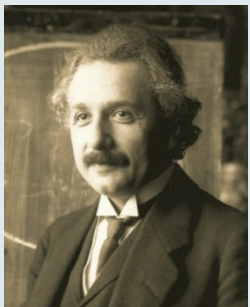
Newton



Dalton



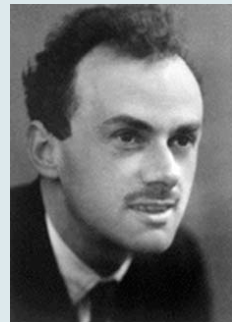
Maxwell



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,
- Heisenbergs osäkerhetsrelationen i kvantmekaniken och
- arvsmassans kodning i DNA

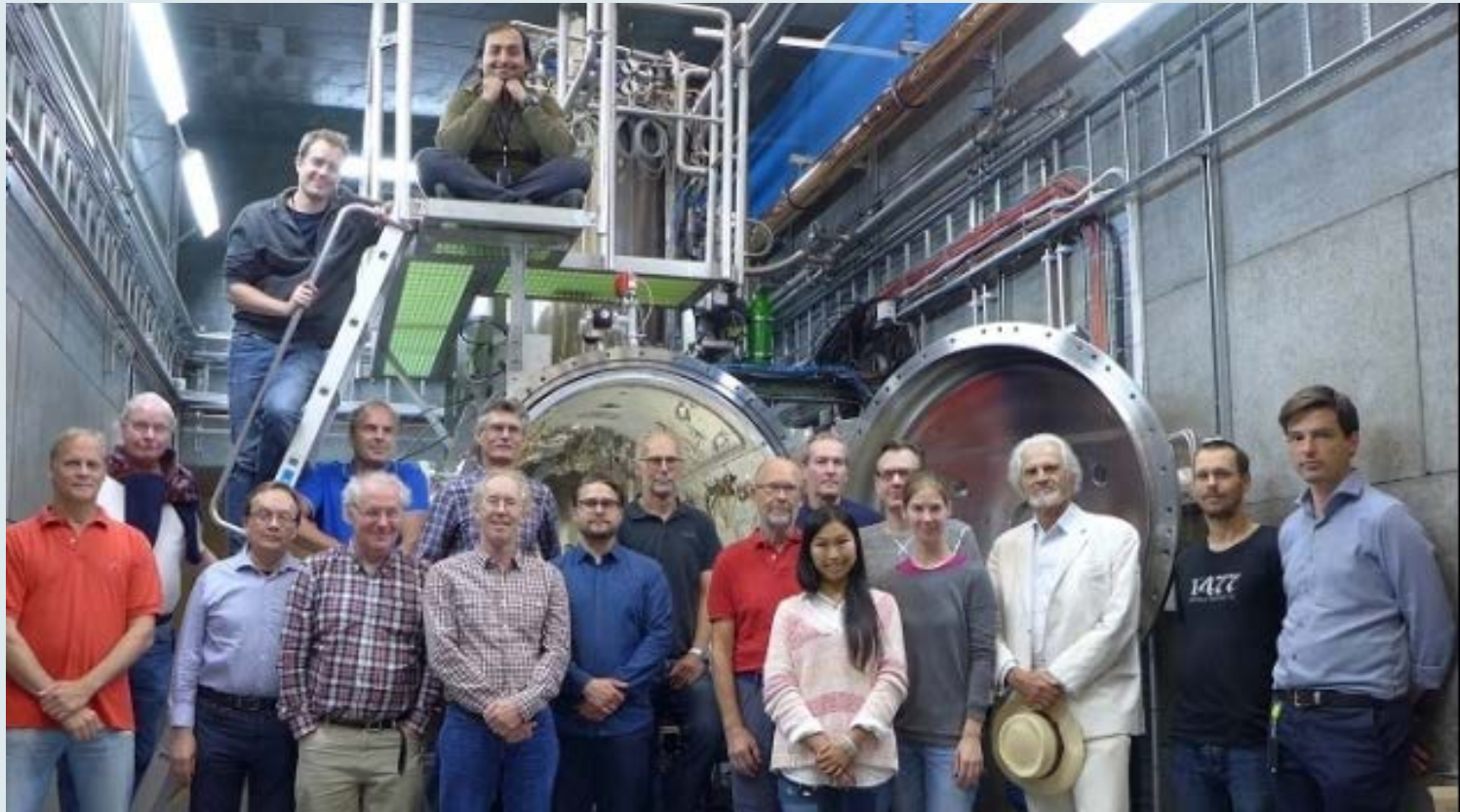
är andra naturvetenskapligt framsteg som haft omvälvande inflytande på våra föreställningar om människans villkor och därmed på samhällslivet

- 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.

FREIA-laboratoriet vid Uppsala universitet utvecklar och testar ny acceleratorutrustning för ESS och CERN I samarbete med svensk industri - i detta samrbete uppstår nya innovationer med tillämpningar inom hälsovård, energiteknik, radiokommunikation m.m.



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

