

Superstrenger

Håkon Enger
Teorigruppa, Fysisk institutt

Innhold

Hva er strengteori?
Problemer med moderne fysikk
Historisk oversikt
Mer om strenger
Supersymmetri
5 Strengteorier
Ekstra dimensjoner
D-braner
M-teori
Speilsymmetri
Kosmiske strenger
Oppsummering

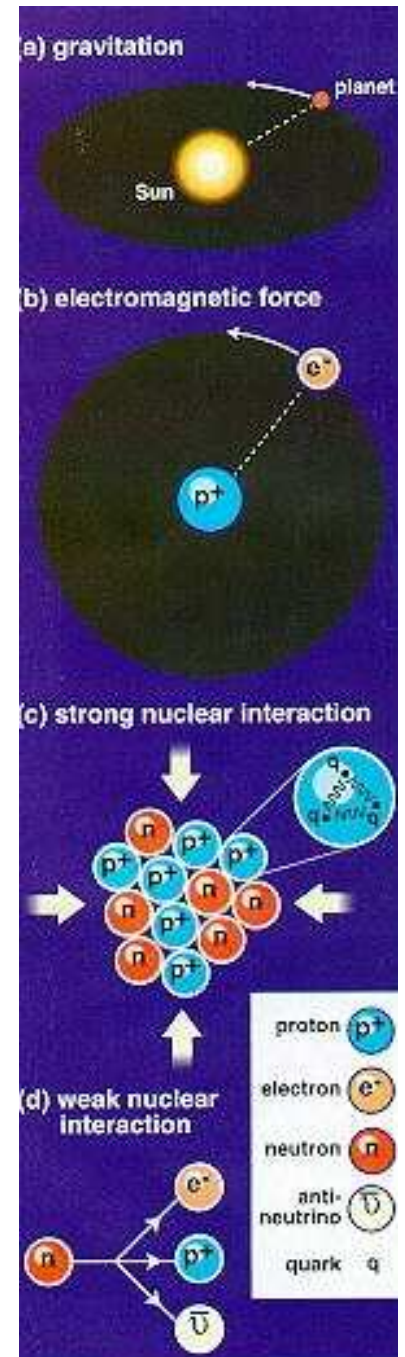
Moderne fysikk

Fire fundamentale krefter:

- Gravitasjon
- Elektromagnetiske
- Sterke kjernekrefter
- Svake kjernekrefter

Gravitasjon: Einsteins generelle relativitetsteori. *Geometrisk teori.*

EM & Kjernekrefter: Standardmodellen for partikkelfysikk. *Kvantefeltteori.*



Matematiske problemer

Kvantefeltteori: Kvantefluktuasjonene blir større og større på mindre og mindre skala

Divergenser = “uendeligheter”

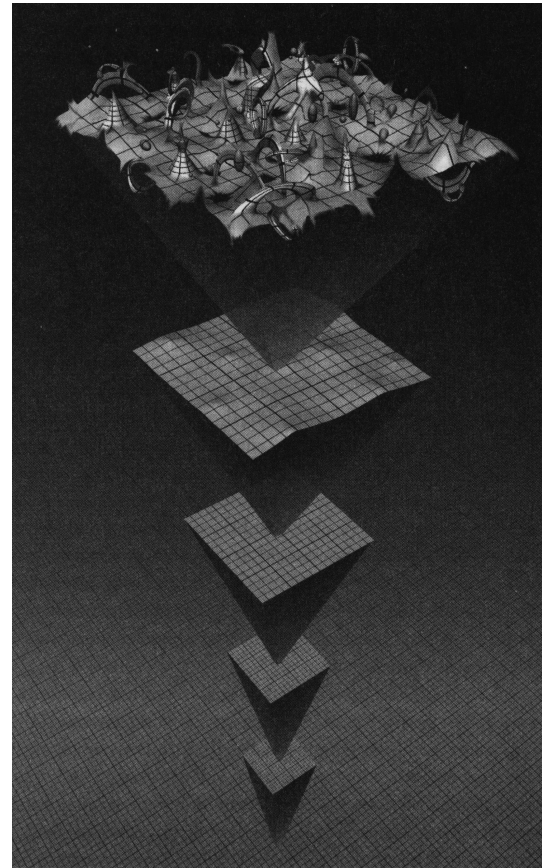
Løsning: *renormalisering*.

Fjerner de uendelige størrelsene.

Bare noen få matematiske modeller er *renormaliserbare*.

Ingen renormaliserbar kvantefeltteori for gravitasjon!

Det betyr: Det fins ingen matematisk modell som beskriver alle fire kreftene i naturen samtidig.



Bilde fra Brian Greene: *The Elegant Universe*

Observasjonelle problemer

Galakser roterer for fort – relativitetsteorien gal?



Forklaring: “mørk materie” – ukjent type stoff. Hva består denne materien av?

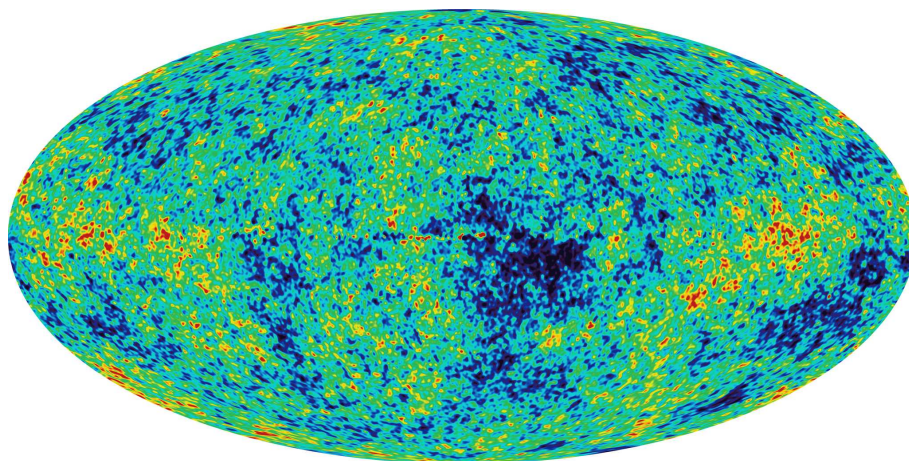
Bilde fra <http://hubble.nasa.gov/image-gallery/>

Observasjonelle problemer

Astronomiske observasjoner (bakgrunnsstråling, supernovaer): *vakuumentergi* fyller universet.

Ikke observert i eksperimenter på Jorden.

Hvor kommer vakuumentergien fra?



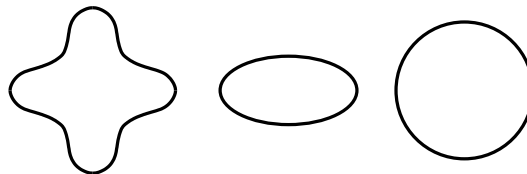
Bilde fra WMAP: <http://map.gsfc.nasa.gov/>

Strengteori

Strenger kan være av to slag: Åpne og lukkede.



Åpne strenger gir *Standardmodellen* (Materie + elektromagnetiske krefter og kjernekrefter.)



Lukkete strenger gir *gravitoner* – bærere av tyngdekraften.

Strengteorien inneholder både tyngdekraften og de tre kreftene i Standardmodellen.

Teori for alt!

Strengteori: den eneste vellykkede “teorien for alt” – hittil...

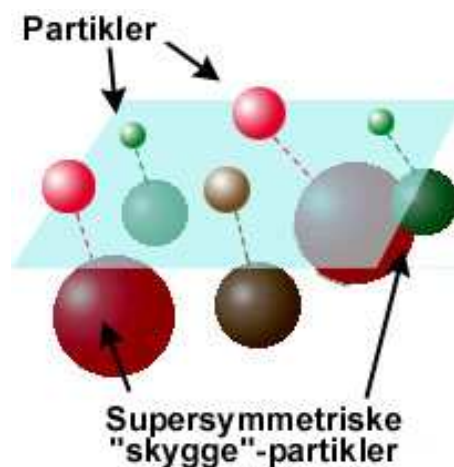
Supersymmetri

Problem i den opprinnelige strengteorien: partikler som går fortere enn lyshastigheten – *tachyoner*

Løsning: symmetri mellom *fermioner* og *bosoner* – *Supersymmetri*

Første superstreng-revolusjon

Den supersymmetriske strengteorien kalles *superstrengteori*.



Superpartnerne: Kan kanskje observeres på LHC ved CERN i 2007 →

Bilde fra ‘partikkeleventyret’:

http://www.fys.uio.no/epf/adventures/particleadventure_2.1/

Fem strengteorier

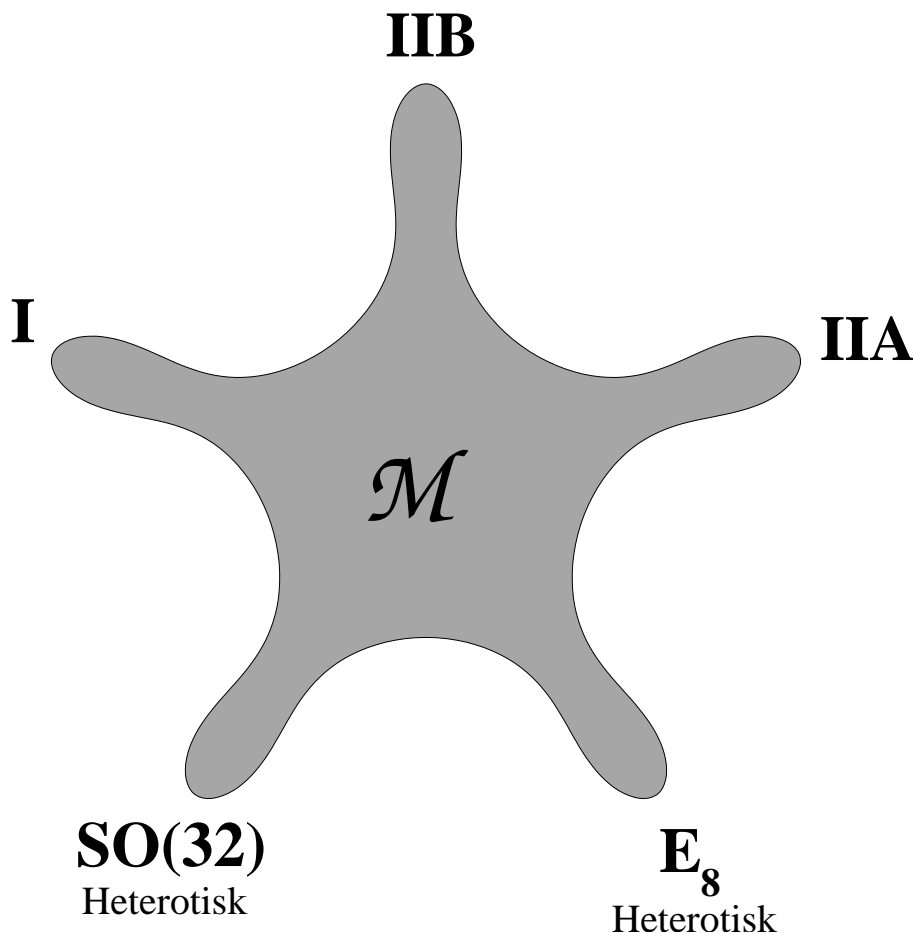
Nytt problem: det eksisterer 5 forskjellige supersymmetriske strengteorier.

Hvilken er riktig?

Andre superstreng-revolusjon

1995: sammenheng mellom de ulike strengteoriene –
Dualitetsrelasjoner

De fem strengteoriene er ulike synspunkter på en felles
unifisert teori, som kalles M-teori.



Ingen vet nøyaktig hva M-teori er...

Ekstra dimensjoner

Kvantemekanikken gir strenge matematiske krav til teorien.

Verden må ha nøyaktig **9 dimensjoner!**

Kan det være riktig?

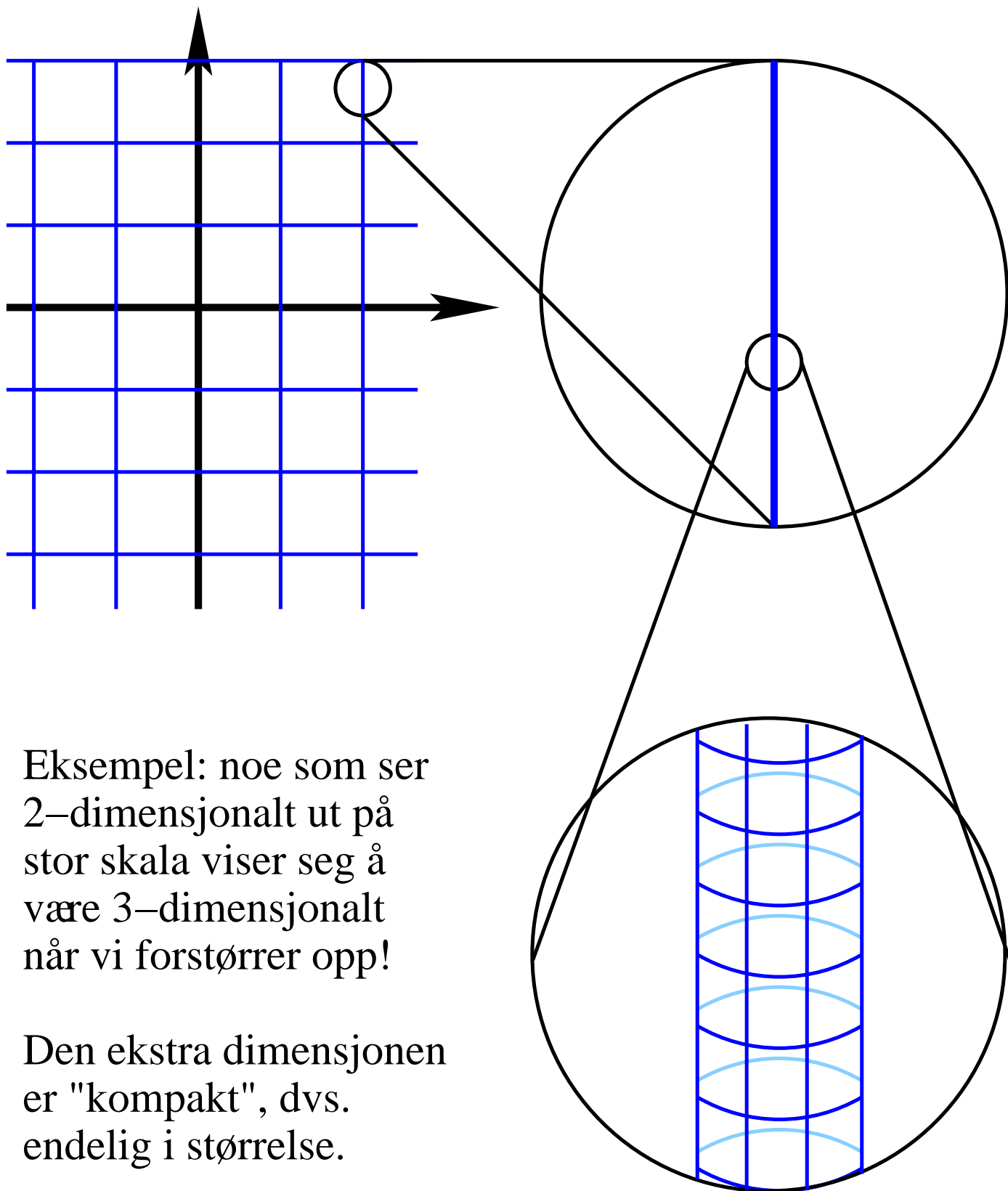
?

(Vi regner som regel også med tiden som en dimensjon, da sier vi 9+1 eller 10 dimensjoner.)

Ekstra dimensjoner

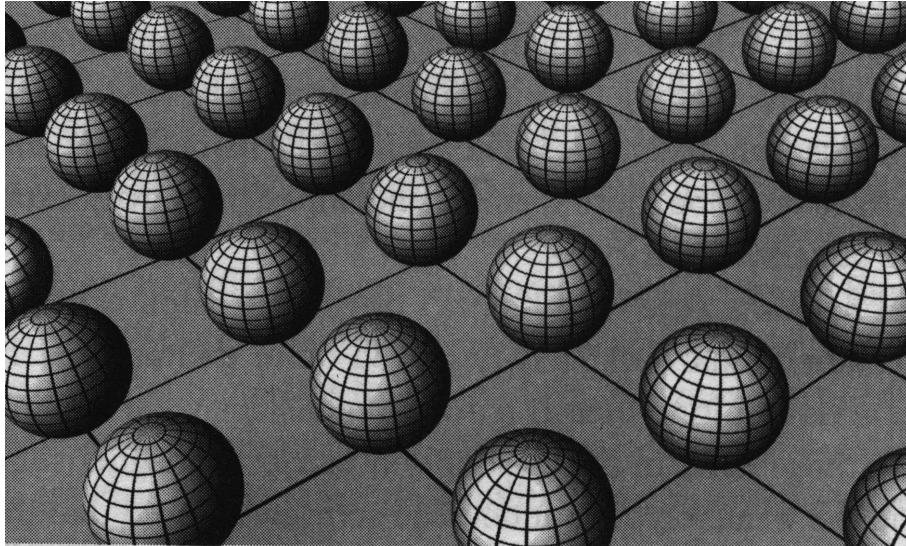
Hva om verden virkelig er 9-dimensjonal?

Kanskje vi ikke ser de ekstra dimensjonene fordi de er veldig små, og verden ser 3-dimensjonal ut på vår størrelsesskala?

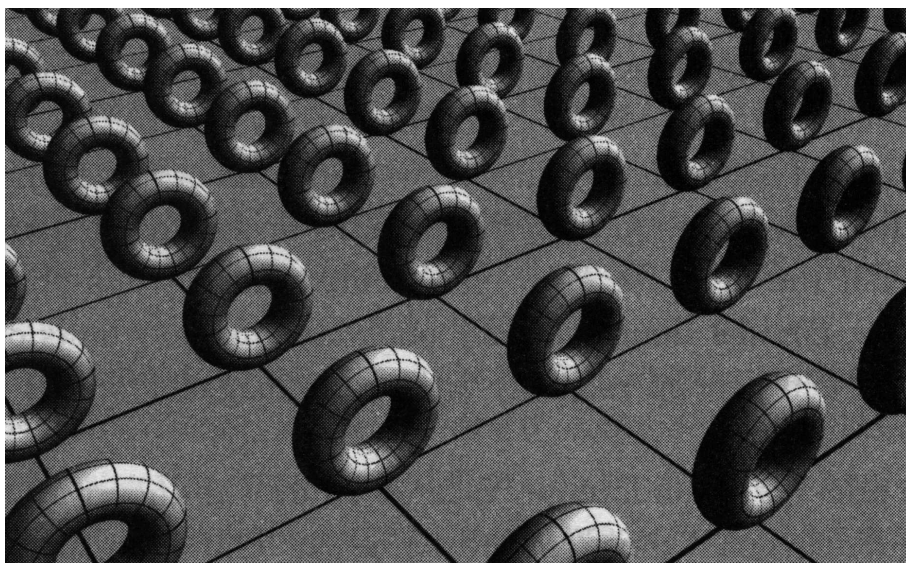


Ekstra dimensjoner

Formen (*geometrien og topologien*) til de ekstra dimensjonene har konsekvenser for fysiske størrelser.



- Elementærladningen e
- Antall “familier” av partikler
- Antall fundamentale krefter

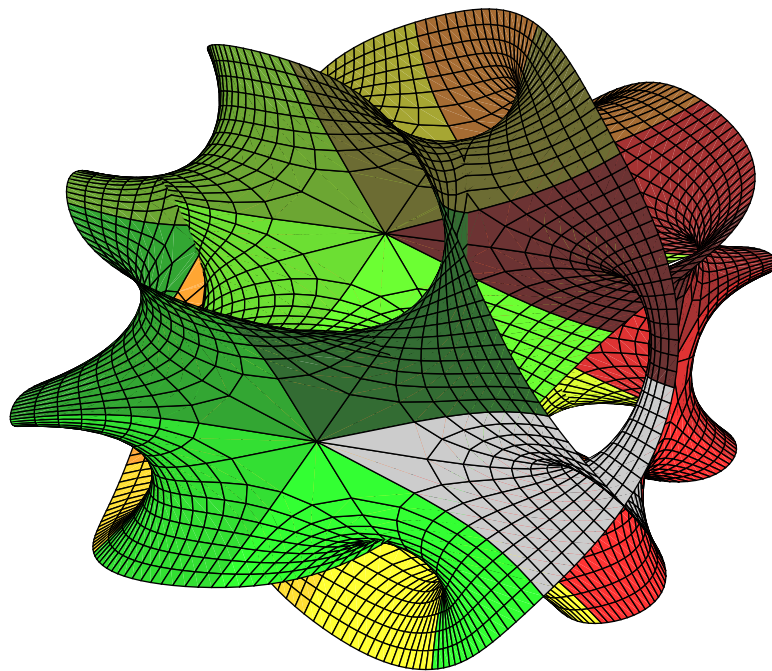


Bilder fra Brian Greene: *The Elegant Universe*

Ekstra dimensjoner

Kvantemekanikken og supersymmetrien gir krav på hva slags form, eller *topologi* de ekstra dimensjonene kan ha.

Calabi-Yau-rom



$$z_0^5 + z_1^5 + z_2^5 + z_3^5 + z_4^5 = 0$$

Bilde basert på A. J. Hanson, Not. Amer. Math. Soc., **41(9)** (1994), 1156.

<http://www.cs.indiana.edu/~hanson/>

Ekstra dimensjoner

Newtons gravitasjonslov i 3 dimensjoner

$$F = \frac{GMm}{r^2},$$

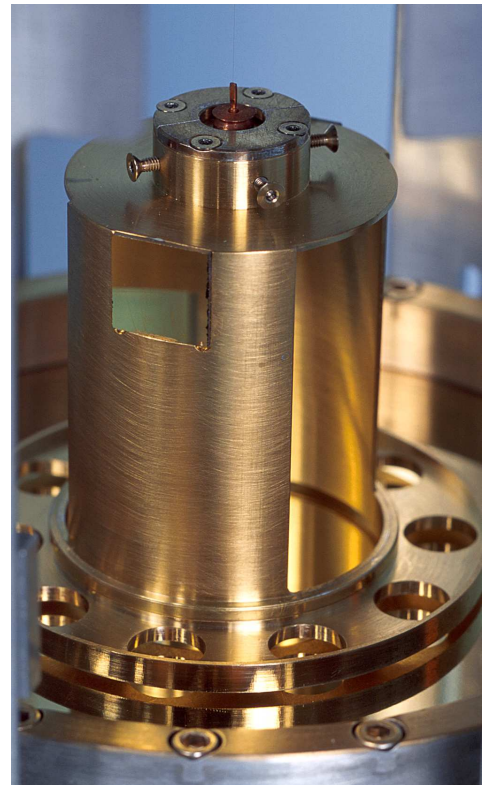
Newtons gravitasjonslov i d dimensjoner

$$F = \frac{GMm}{r^{d-1}}.$$

På veldig små skalaer er det den d -dimensjonale gravitasjonsloven som gjelder.

Gravitasjonsloven testet eksperimentelt ned til ca 0,15 mm – de ekstra dimensjonene må være mindre enn dette.

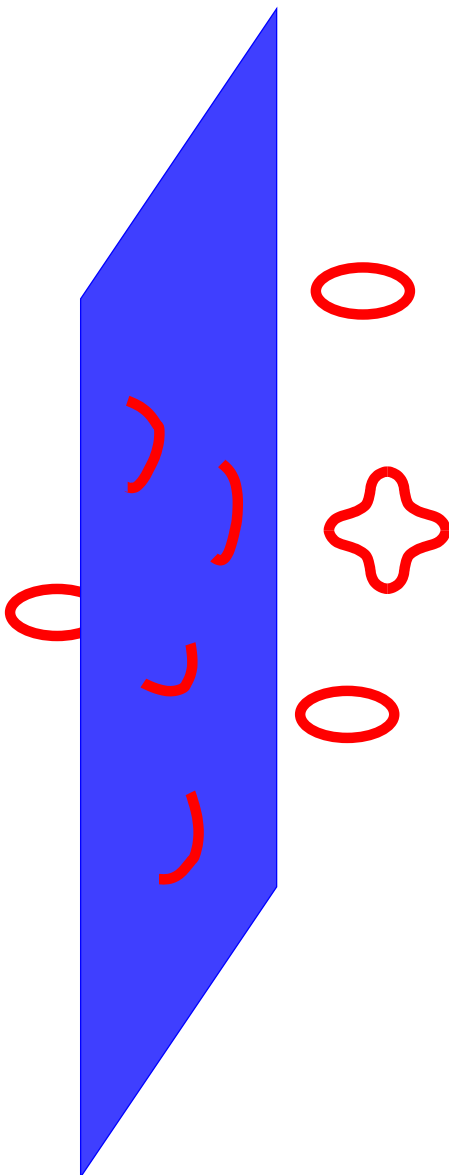
C. D. Hoyle et. al.,
Phys. Rev. Lett. **86** (2001), 1418
<http://www.npl.washington.edu/eotwash/>



D-braner

Ny oppdagelse i 90-årene: *D-braner*.

Massive objekter som strekker seg ut i en eller flere dimensjoner.



Åpne strenger festes til D-braner.

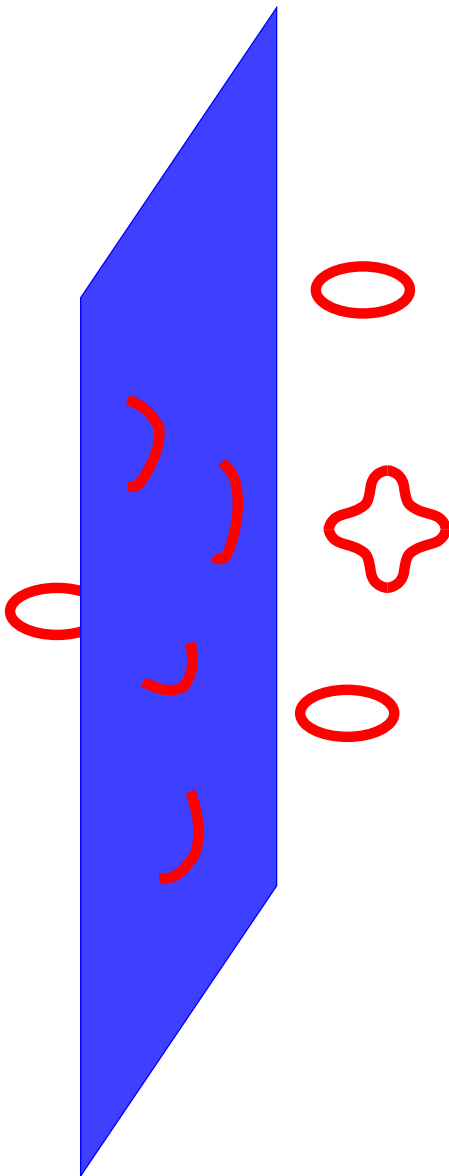
lukkede strenger beveger seg i 9 dimensjoner.

D-branene viktige i *dualitetene* mellom de fem forskjellige strengteoriene.

D-braner

Åpne strenger: partikler vi kjenner fra Standardmodellen.

Lukkede strenger: bærere av gravitasjonskraften.



Hva om vårt univers er en 3-dimensjonal D-bran i et 9-dimensjonalt rom?

To modeller: **ADD**, **Randall-Sundrum**

I følge disse modellene kan kanskje ekstra dimensjoner oppdages ved LHC på CERN i 2007.

M-teori

- Fundamentale objekter: 2- og 5-dimensjonale M-braner
- **11**-dimensjonal rom-tid
- Stor-skala-grense: 11-dimensjonal “supergravitasjon”



De 2-dimensjonale M-branene ser ut som strenger på større skala.

M-teori gyldig på enda mindre skala enn strengteori!

“M” = Membran, Matrise, Mysterium?

Bilde fra Brian Greene: *The Elegant Universe*

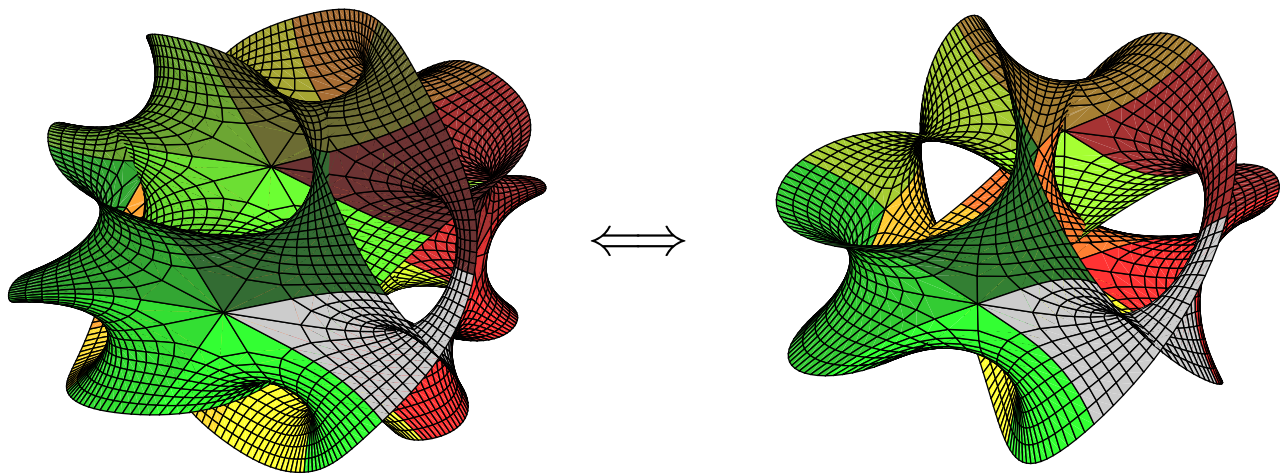
Speilsymmetri

En streng opplever geometri på en annen måte enn vi gjør.

T-Dualitet

Dualitet mellom sirkel med størrelse R og sirkel med størrelse $\frac{1}{R}$

Mer generelt: Dualitet mellom ulike *topologiske rom*!



Ukjent fram til 1987 for matematikere, konsekvens av strengteori.

Nå brukt av matematikere til å finne nye resultater innen algebraisk geometri.

Strengteori bevist?

NewScientist.com **SEARCH**

- Free E-Zine
- Subscribe to Magazine
- Customer Service

4 FREE ISSUES

18 May 2005 | HOME | NEWS | EXPLORE BY SUBJECT | LAST WORD | SUBSCRIBE | SEARCH | ARCHIVE | RSS | JOBS

EXPLORE BY SUBJECT

ALL SUBJECTS

- Space
- Health
- Earth
- Fundamentals
- Being Human
- Info-Tech
- Life
- Mech-Tech
- Opinion
- Sex and Cloning

[New Scientist Special Reports](#)

PRINT EDITION

FUNDAMENTALS

The first evidence for string theory?

18 December 2004

From New Scientist Print Edition. [Subscribe](#) and get 4 free issues.

Marcus Chown

IF YOU consider them separately, these two observations are hardly going to set the scientific world on fire. But together they add up to a spectacular possibility. In a tiny region of sky, astronomers have seen a dozen galaxies that appear as a curious sequence of double images. They have also observed a quasar whose brightness oscillates in an unexpected way. What could cause these odd phenomena? The only explanation that covers both is pretty mind-bending: "superstrings" of pure energy that can stretch millions of light years across the universe. Is

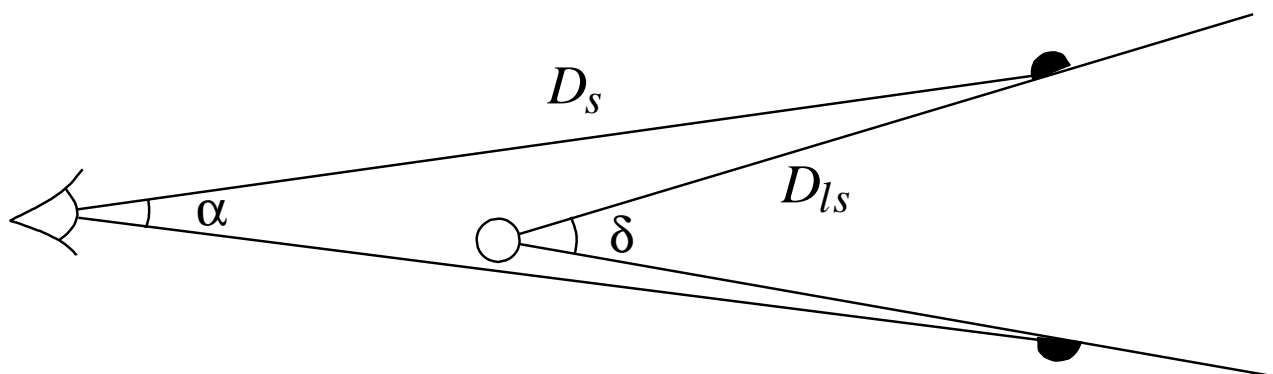
More Fundamentals Stories

- [Lightning: Thunderbolts from space **NS**](#)
- [Superconductors have no need to be negative **NS**](#)
- [One law rules dedicated followers of fashion](#)
- [Fred Hoyle: A life in science by Simon Mitton and Fred Hoyle's Universe, by Jane Gregor **NS**](#)
- [The theory of everything: Are we nearly there](#)

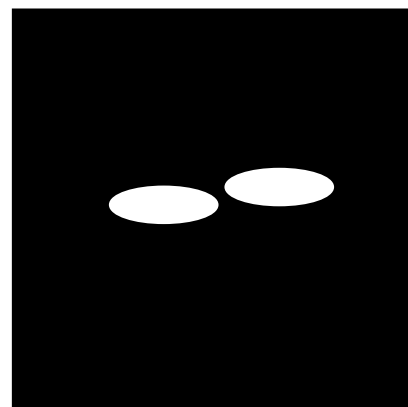
Kosmiske strenger



Linse-effekt av streng

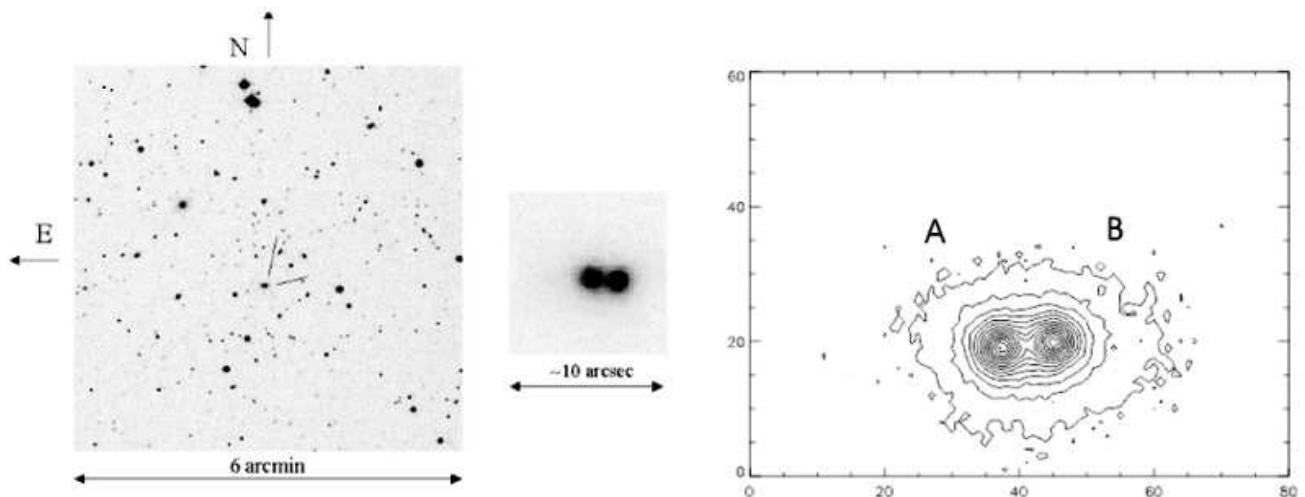


- $\delta = 8\pi G\mu$
- Kan regne ut α ved D_s og D_{ls} .



CSL-1

- “CSL-1: a chance projection effect or serendipitous discovery of a gravitational lens induced by a cosmic string?”
- M. Sazhin et. al., Mon. Not. Roy. Astron. Soc. **343** (2003) 353 [astro-ph/0302547]



Oppsummering

- Fundamental antagelse: elementære partikler er **strenger**
- Konsekvenser: **Unifisert** “teori for alt”, 9+1 dimensjoner
- **Supersymmetri**: Symmetri mellom fermioner og bosoner (Første superstreng-revolusjon)
- Fem ulike strengteorier
- **Dualiteter** unifiserer strengteoriene, **M-teori** (Andre superstreng-revolusjon)
- **D-braner** oppstår pga. kvantemekanikk
- Matematisk konsekvens: **speilsymmetri**

Kan strengteori oppdages?

- Ekstra dimensjoner kan være store nok til å bli oppdaget på LHC i 2007
- Supersymmetri kan også oppdages, men forutsetter ikke strengteori

Mer informasjon

- Brian Greene: *The Elegant Universe*
Nå også som TV-serie:
<http://www.pbs.org/wgbh/nova/elegant/>
- <http://superstringtheory.com/>
- Vitenskaplige artikler “publiseres” alltid først på
<http://arxiv.org/archive/hep-th>