



Från neutronstjärnor till big bang: Teoretiska verktyg för extrema förhållanden

Oscar Henriksson

Avdelningen för fysik & Forskningsinstitutet för fysik (HIP)

Helsingfors universitet

Innehåll

- Lite om mig
- Våra bästa teorier: Allmän relativitetsteori & kvantfältteori
- Kvantfältteori på GUMTÄKTS campus
- Holografisk dualitet med tillämpningar

Lite om mig...

- Född & uppvuxen på Åland
- Kandidat i fysik, Uppsala
- 2010-2011: Utbytesstudent i Boulder, Colorado
- Doktorand i fysik, U. of Colorado Boulder (2017)
- 2017-nu: Forskardoktor, Helsingfors universitet



Min forskning

Teoretisk fysik – Vill förstå vårt universum, dess grundläggande lagar, beståndsdelar, och egenskaper

(Inget som direkt påverkar ditt vardagsliv... Men fascinerande!)

Mycket matematik

Utvecklar **teoretiska verktyg** och förståelse som (förhoppningsvis) kan användas inom *många områden* av fysiken

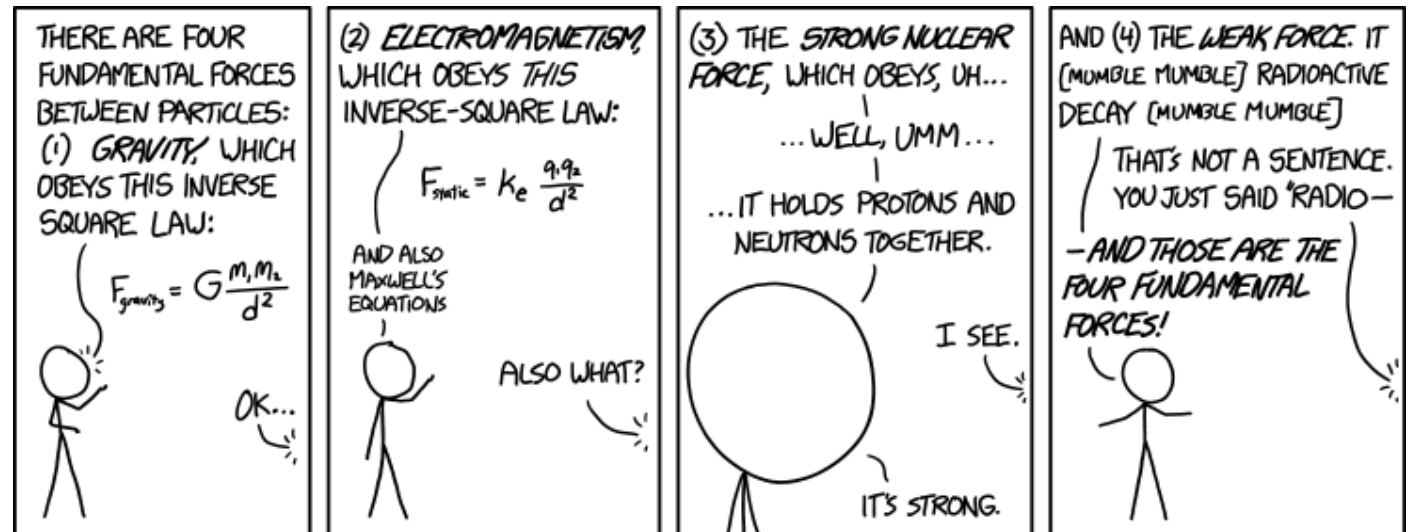
Tillämpningar inom kondenserade materiens fysik, kärn-/partikelfysik, kosmologi, osv.

En vanlig dag: läser artiklar, gör beräkningar (penna & papper eller *Matematica*), tänker...

Fundamental fysik – lite bakgrund

- Inom fysiken talar man om **fyra fundamentala krafter**
- Objekt (allt från partiklar till planeter) som vill påverkar varandra kan göra det på fyra olika sätt

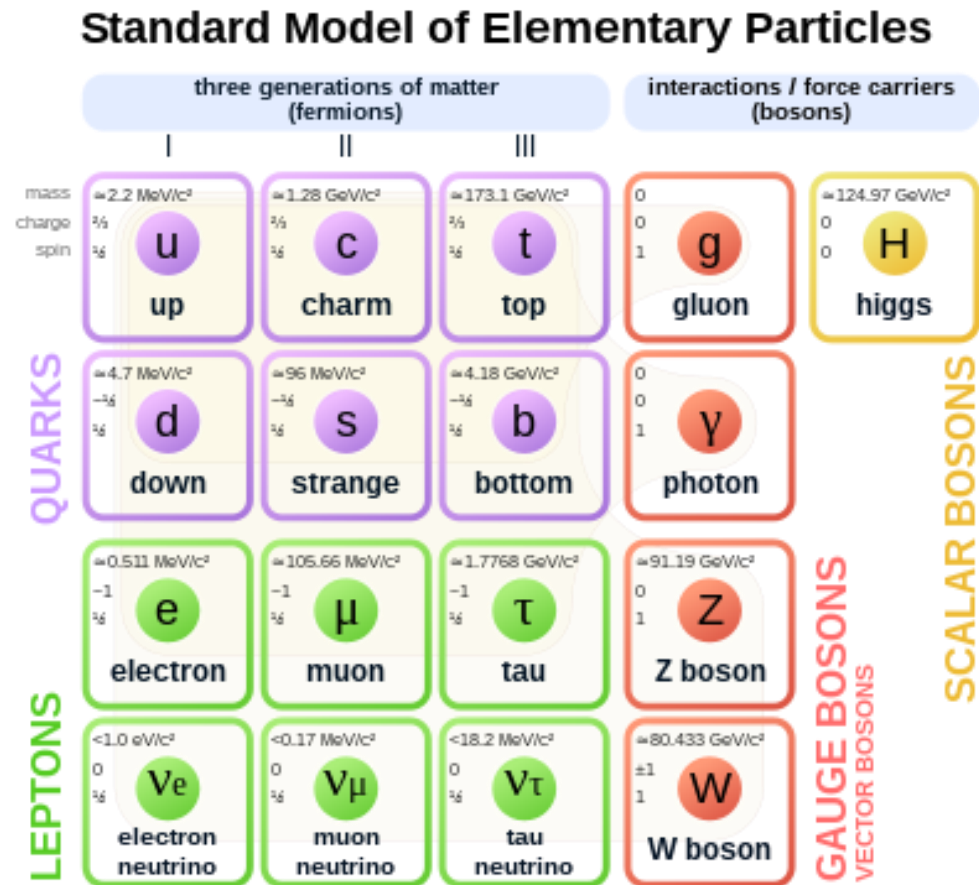
1. Gravitation
2. Elektromagnetisk kraft
3. Stark kärnkraft
4. Svag kärnkraft



1 & 2 ger upphov till nästan ALLT du observerar i din vardag!

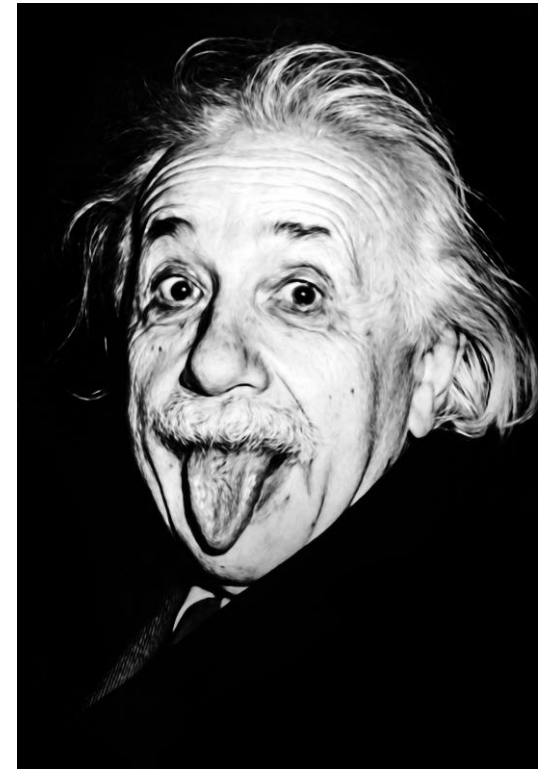
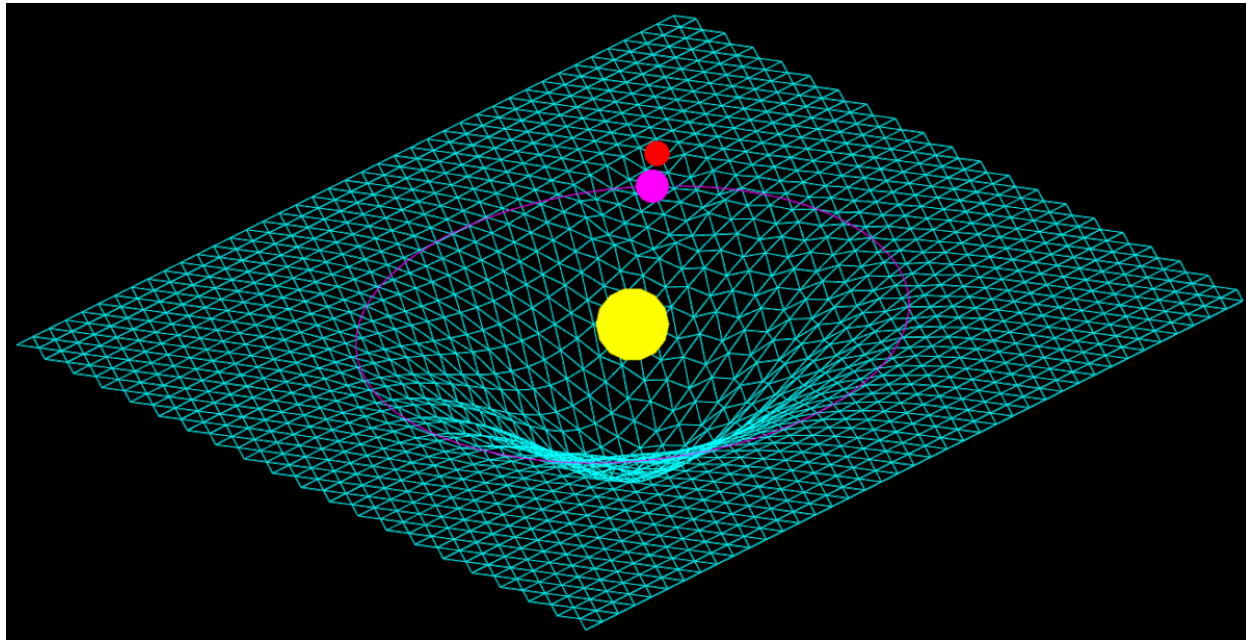
1. Gravitation
2. Elektromagnetisk kraft
3. Stark kärnkraft
4. Svag kärnkraft

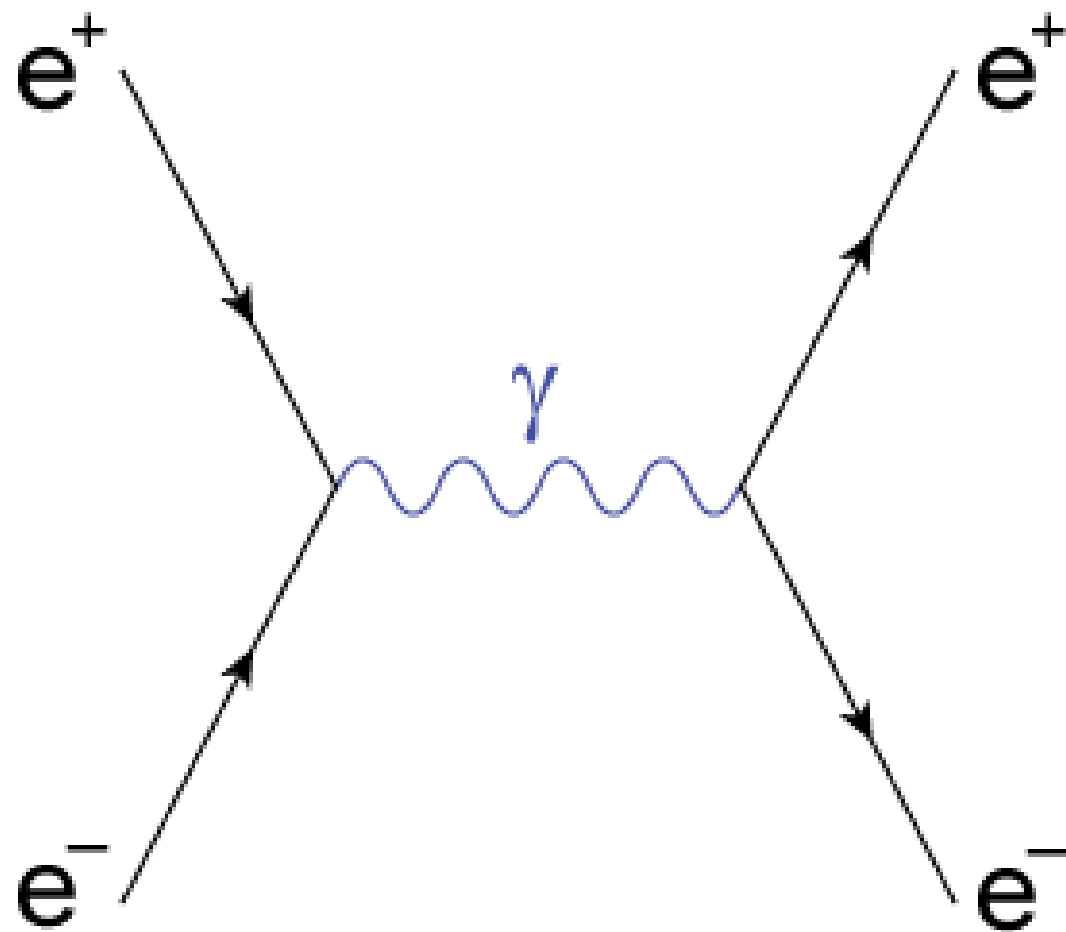
- Vår bästa gravitationsteori är Einsteins **allmänna relativitetsteori**
- De andra krafterna, samt alla elementarpartiklar, beskrivs utsökt bra av **kvantfältteori**
 “Standardmodellen”



Allmän relativitetsteori

Gravitation orsakas av att tid och rum *kröks* i närheten av massa
Förutspår svarta hål, gravitationsvågor, ljus böjs av gravitation, etc.





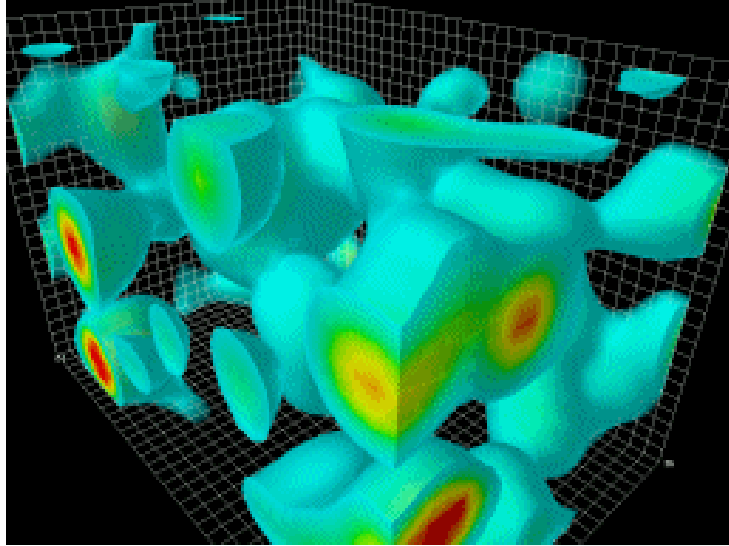
Kvantfältteori (KFT)

- Ett av de viktigaste verktygen inom teoretisk fysik
- Behövs för att beskriva partiklar som kan skapas och annihileras
- Ger svar på: Varför är alla elektroner likadana?

Kvantfältteori

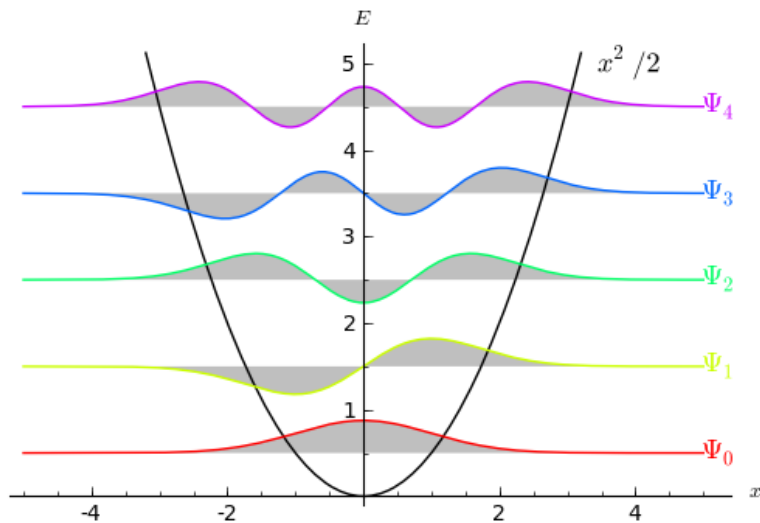
- Många vardagliga fenomen kan beskrivas matematiskt som fält
 - Temperatur
 - Vind





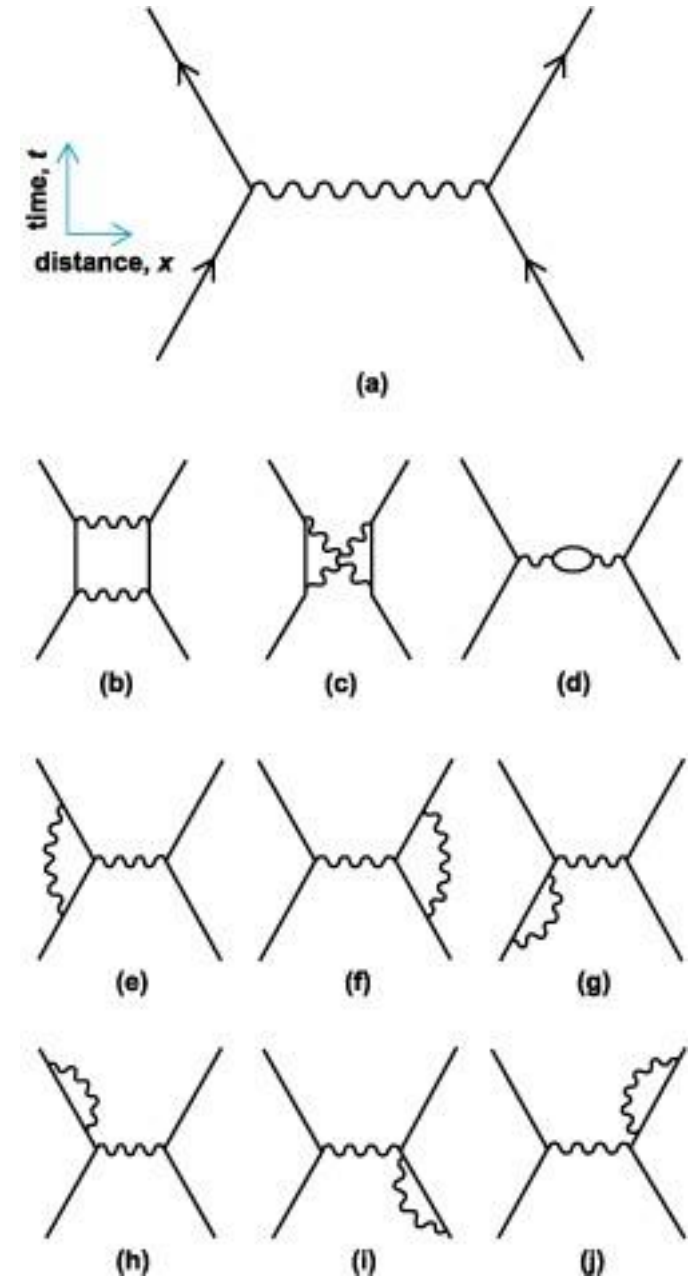
Kvantfältteori

- Istället för jämna, mjuka fält \rightarrow diskreta, partikel-liknande vågor eller "excitationer"
- (Om du kan lite kvantfysik: Tänk dig en harmonisk oscillator vid varje punkt i rummet)
- Alla elektroner är likadana för att de är alla excitationer av samma elektronfält!



Kvantfältteori är *svårt*

- Ofta används "störningsteori"...
- Vid **svag växelverkan**: Två elektroner växelverkar genom att utbyta en foton, eller två, eller tre... etc.
- (Som en Taylorserie...)



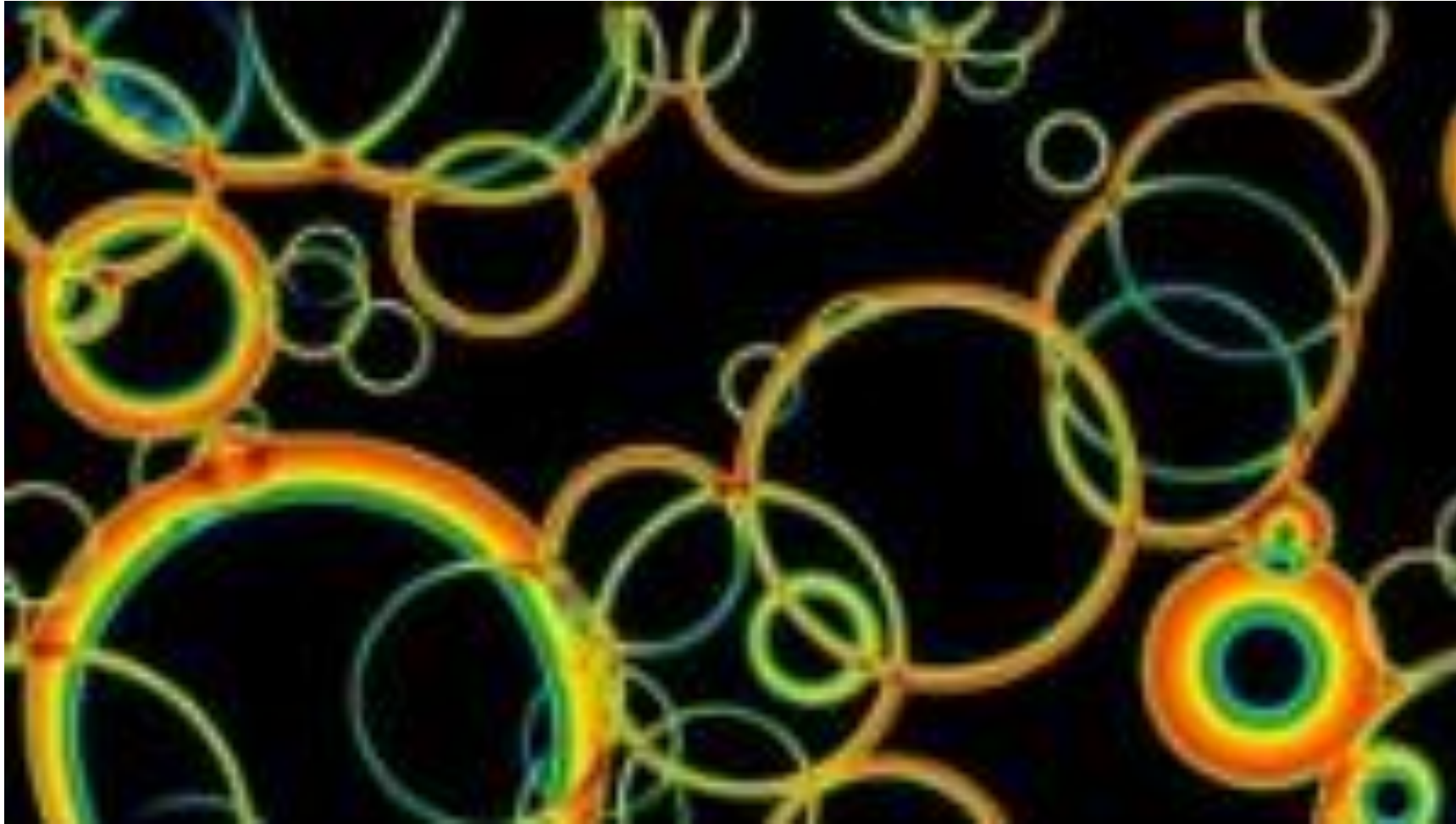
Tillämpning: *Extrema temperaturer*

- Det tidiga universum – **Big bang**
 - Otroligt hett *överallt*
 - Nya faser kan ha existerat
 - När universum svalnade → fasövergångar
 - **Bubblor** av den nya fasen bildas, expanderar, *kolliderar*
 - Spåren av dessa kollisioner kan finnas kvar än idag!

- På Gumtåkt: Mark Hindmarsh, Kari Rummukainen, David Weir m.f.

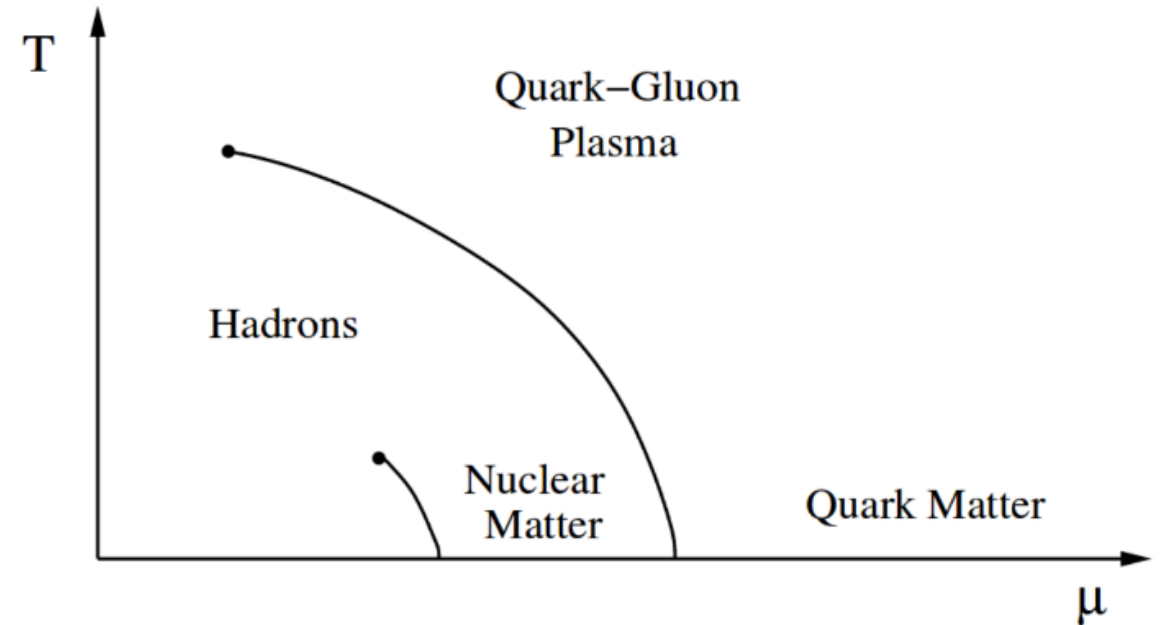


Simulering av bubblor i det tidiga universum (av David Weir)



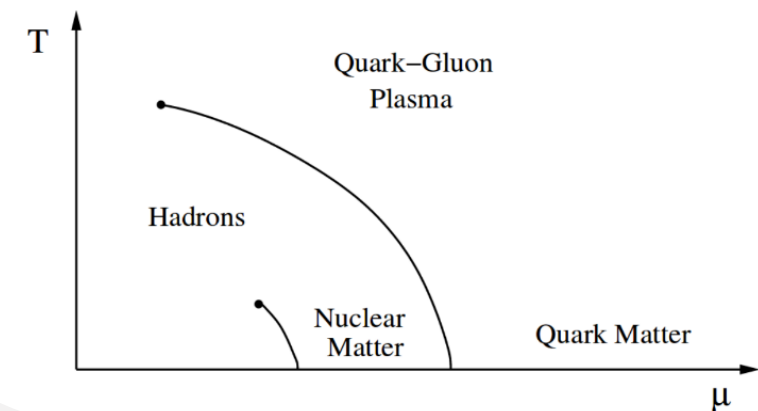
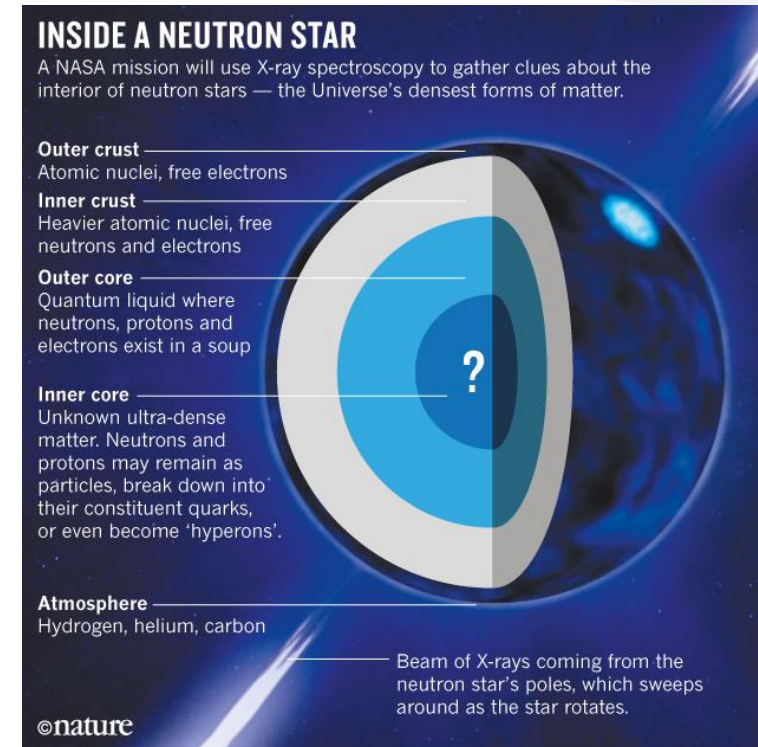
Tillämpning: *Extrema tryck*

- Den starka kärnkraften håller ihop atomkärnor
 - Teorin som beskriver den kallas **kvantkromodynamik** (eng. QCD)
 - Stark växelverkan!
- Okända faser vid höga tätheter & tryck



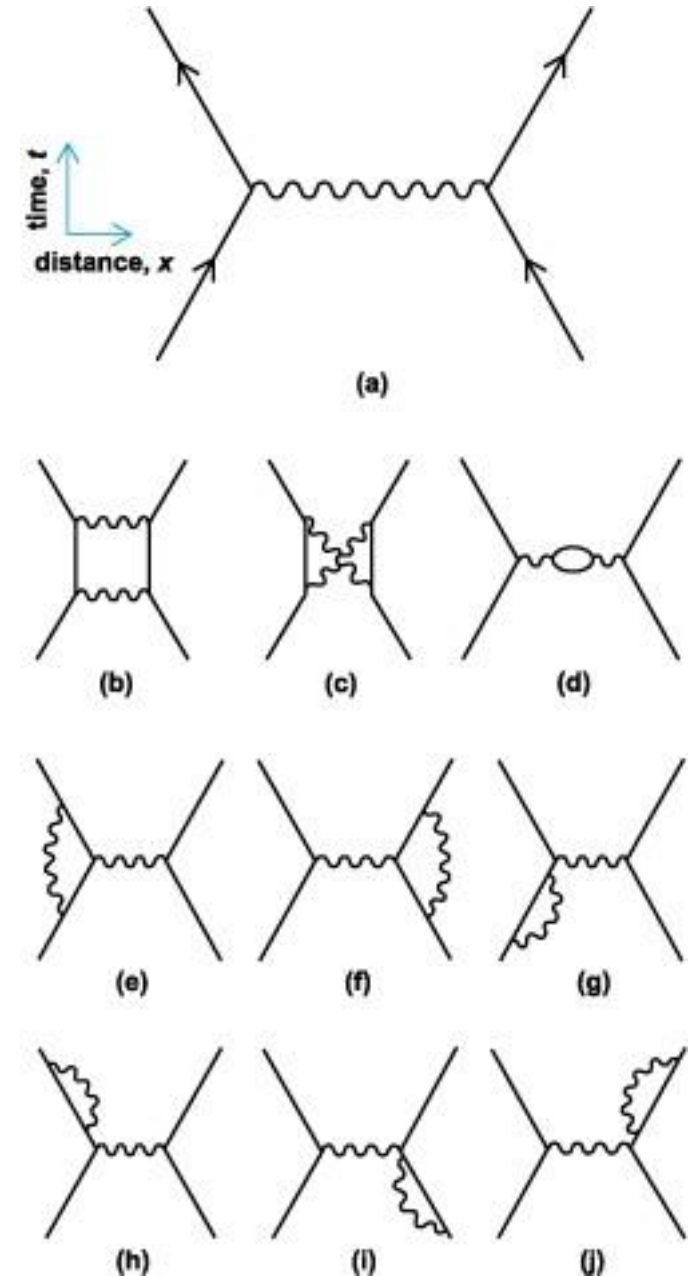
Tillämpning: *Extrema tryck*

- Extrema tryck uppstår inom **neutronstjärnor**
 - En biljard gånger densitet än vanligt vatten
 - Okänt vad som händer i deras mittpunkt
 - → kanske det enda "experiment" som kan skapa dessa tryck
-
- På Gumtäkt: Niko Jokela, Risto Paatelainen, Aleksi Vuorinen m.f.



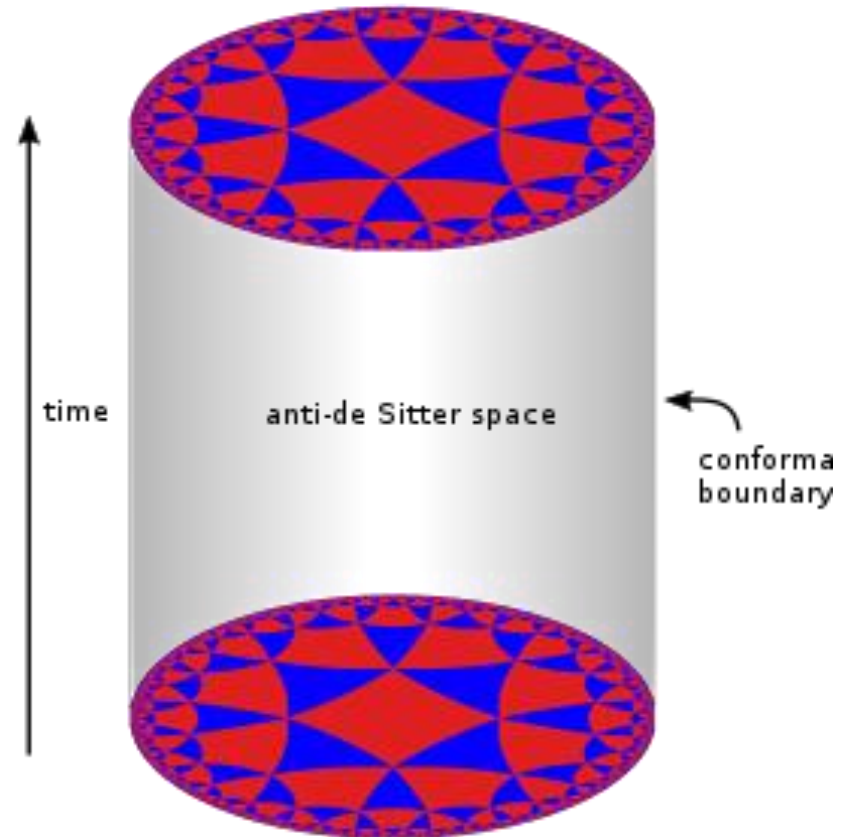
Kvantfältteori är *svårt*

- Ofta används "störningsteori"...
- Vid **svag växelverkan**: Två elektroner växelverkar genom att utbyta en foton, eller två, eller tre... etc.
- (Som en Taylorserie...)
- ...men ibland funkar det inte! (t.ex. vid **stark** växelverkan)
- Alternativa verktyg: Datorsimuleringar (*lattice field theory*), **dualitet**...



Holografisk dualitet

- Matematisk *ekvivalens* mellan **vissa kvantfältteorier och vissa gravitationsteorier**
- Det går att "översätta" ekvationer mellan teorierna
→ Beräkningar i de två teorierna ger samma resultat
- De två teorierna har olika antal dimensioner →
"holografi"



Holografisk dualitet är ett teoretiskt *verktyg!*

När beräkningarna inom kvantfältteorin är svåra, kan motsvarande beräkning inom gravitationsteorin vara "enkel"...

Speciellt intressant:

Stark växelverkan inom KFT:n \leftrightarrow
vanlig allmän relativitet inom gravitationsteorin

Möjliga tillämpningar inom många områden!

Tillämpning: *Extrema temperaturer*

- Holografisk dualitet kan beskriva sådana fasövergångar
- Möjligt att utforska nya teoretiska alternativ

Se också HBL... →

Bubblor på kollisionskurs när det tidiga universum svalnade och expanderade

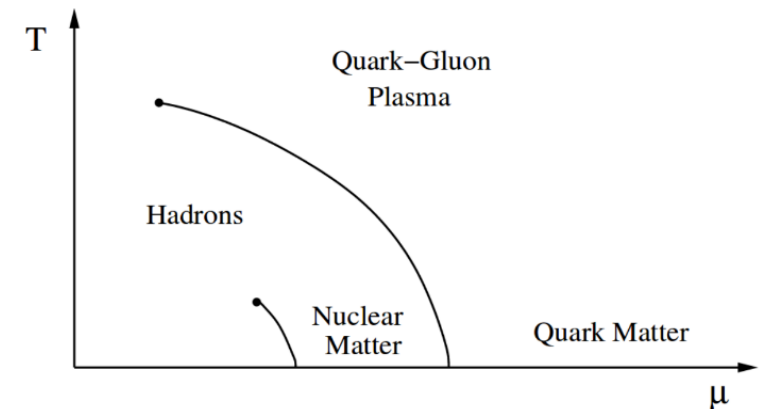
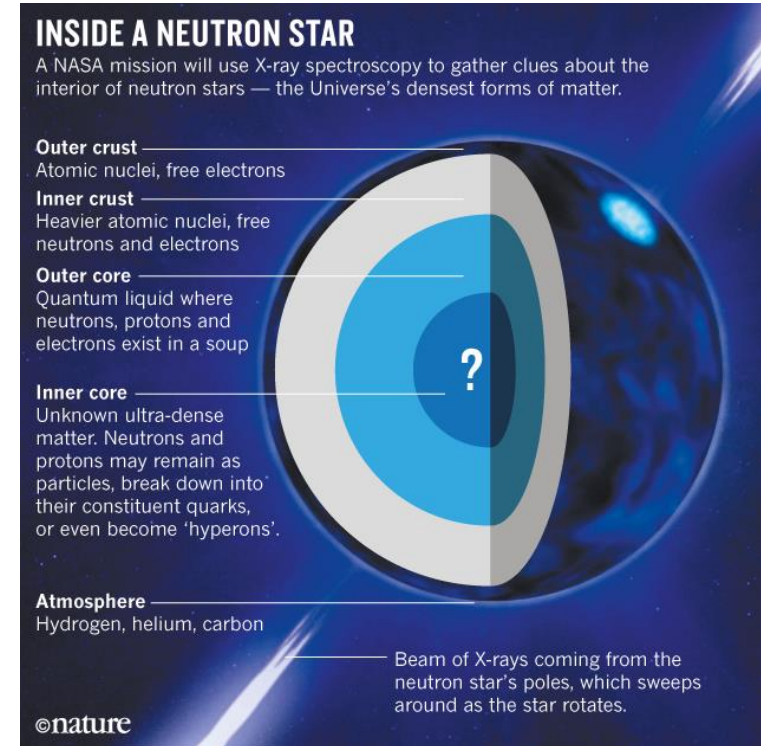
Universums tidiga expansion kan ha varit ett inferno av kolliderande bubblor där gigantiska energimängder frigjordes och orsakade gravitationsvågor. Om Oscar Henrikssons forskarlag har rätt kan vi kanske se de vågorna i framtiden.

VETENSKAP PREMIUM



Tillämpning: *Extrema tryck*

- Holografisk dualitet kan beskriva QCD-liknande teorier med **stark växelverkan** och under **hög täthet**
→ Bättre förståelse för vad som sker i neutronstjärnor?



Tack för att ni lyssnade!

Frågor?

(Kontakta mig gärna på oscar.henriksson@helsinki.fi)