

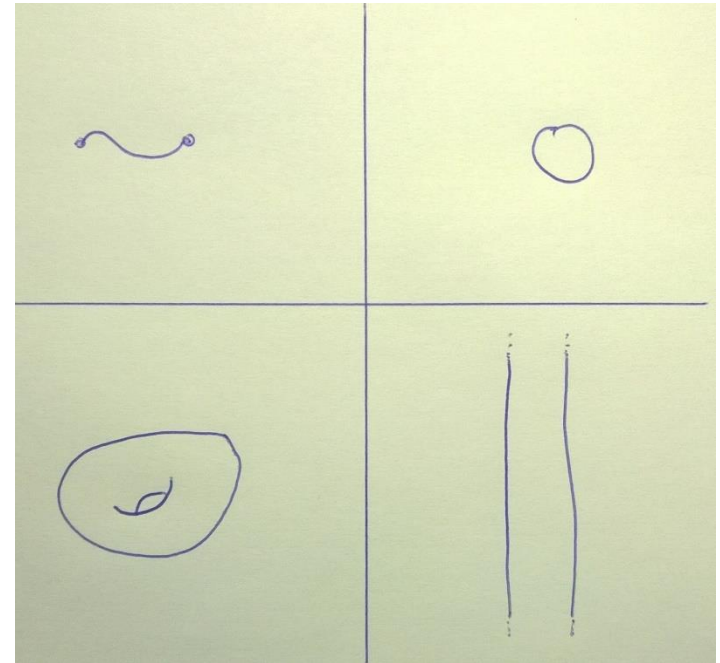
Superstrenge

Superstrengte

- Superstrengte i grove træk
- Kendte ubesvarede spørgsmål
- Standard modellen
- Hvorfor superstrengte?
- Historik og teori
- Hvor er fysikken?
- Det sidste; M-branes
- Hvad forklarer strengteori?

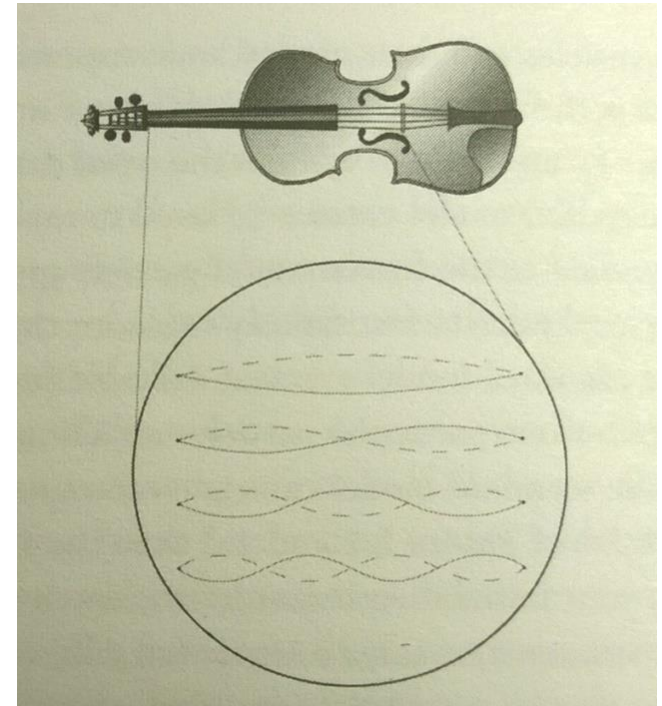
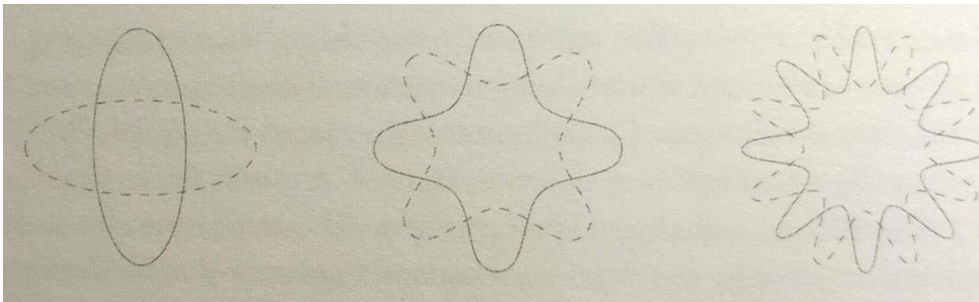
Superstreng: I grove træk (1)

- "Streng" kan være åbne eller lukkede
- Størrelsen på streng, er ofte til diskussion
- Streng består ikke af noget der kan deles: Det er "sidste ende" i rækken
- Strengteori er afhængig af "ekstra dimensioner"
- Strengteori har de fysiske felter i de ekstra dimensioner
- Massen, eller energien, af strengene er i vibrationen og i "længden"



Superstreng: I grove træk (2)

- Bindinger på de ekstra dimensioner kommer fra krav om at vi ikke ønsker tachyioner (negativ masse) eller "ghosts" (negative sandsynligheder)
- Supersymmetri bliver brugt fordi det "gør teknikken nemmere at håndtere". (Supersymmetri kan også introduceres i punkt partikel modeller.)
- Energien og massen af strengen kommer fra vibrationerne og 'længden' af strengen



(Kosmologiske spørgsmål)

Superstrengte: Kosmologiske spørgsmål

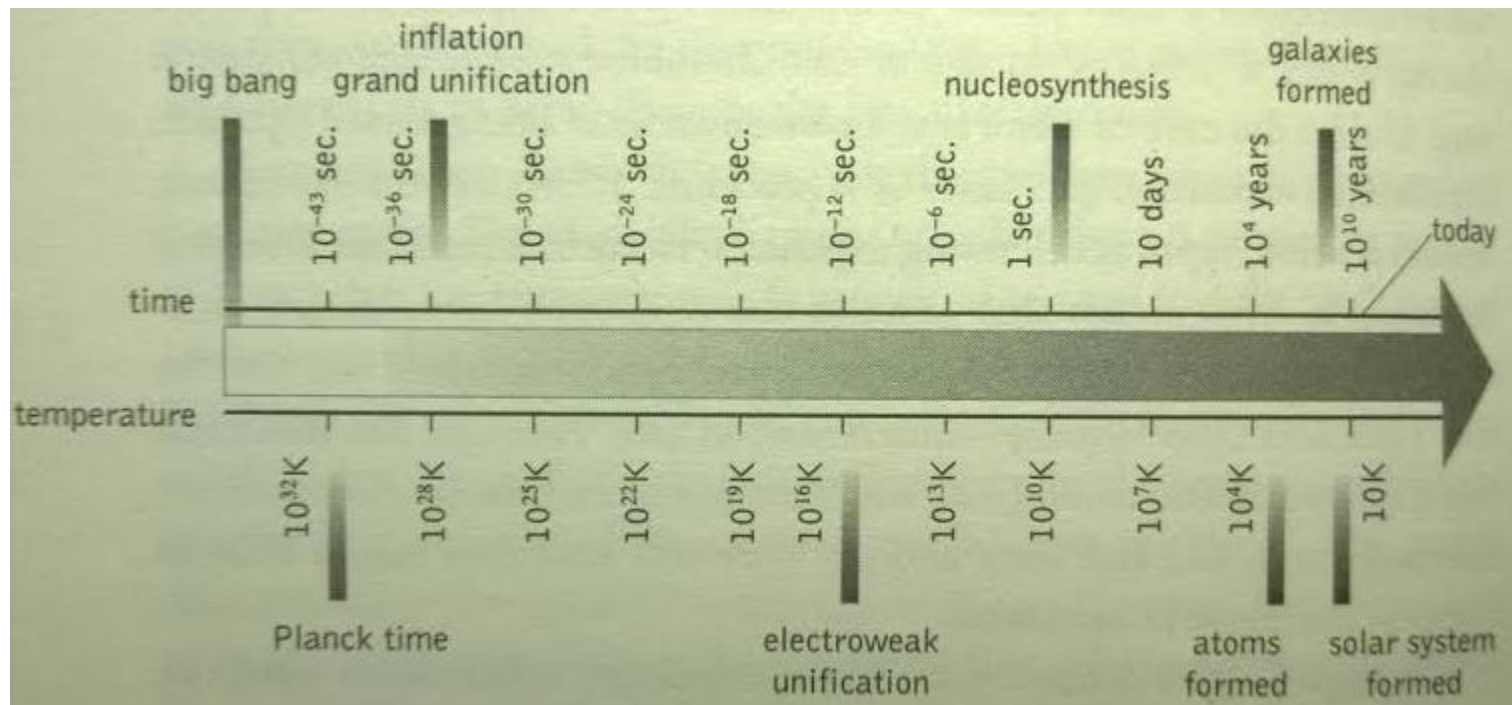
- Hvor er den manglende masse i universet? Hvor meget af det manglende er stof? Hvor meget er fra ukendte partikler? Og er der noget af energien der kommer fra den 'kosmologiske konstant'?
- Hvad er det der har foregået ved 'inflationen' ved universets fødsel?
- Hvorfor er der blevet dannet mere stof end antistof ved universets fødsel?

(Perspektiv)

Perspektiv

Det bedste sted at lede efter indikationer af eksistensen af strengteori, er i ekstreme situationer.

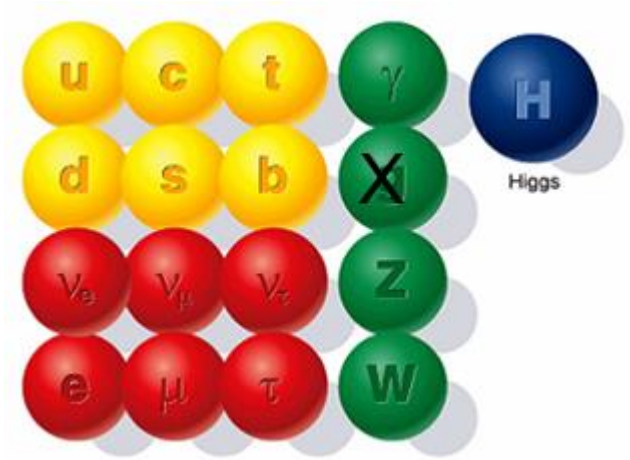
Skabelsen af universet eller ved sorte huller.



(Standard modellen)

Standard modellen

- En ”kvante felt teori”, som indarbejder den specielle relativitets teori
- $SU(3) \otimes SU(2) \otimes U(1)$
- 19 tal skal bestemmes eksperimentelt, for at resten er givet
- GR er ikke indarbejdet, og det er ikke indlysende hvordan det skal gøres



(QED på næste side)

Standardmodellen

- QED

- Lagrange (1 elektron i sit elektriske felt)

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}(i\gamma^\mu\partial_\mu - m)\psi + e\bar{\psi}\gamma^\mu A_\mu\psi - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

hvor $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$

- Gauge gruppe: U(1) (rotationer)

- Gauge valg: $\partial_\mu A^\mu = 0$

- Streng teori starter i princippet på samme måde.

- Men ender hurtigt i et spørgsmål om at sikre sig at selve geometrien er konsistent og indeholder (kandidater til) de rigtige felter.

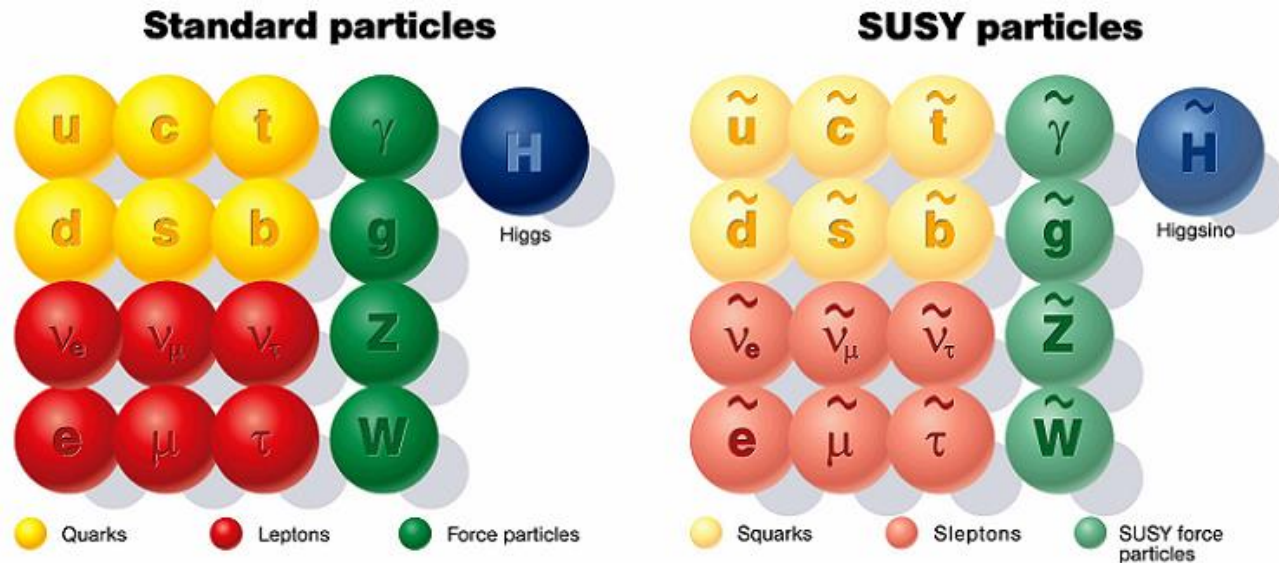
(Hvorfor superstreng)

Superstrengte: Hvorfor superstrengte?

- Grunde til strengteori:
 - Forklarer tyngdekraften.
 - Giver en model for en "GUT"
 - Kræver ikke re-normalisering
 - Standardmodellen er ikke "nem" at udvide.
Specielt ikke med tyngdekraften.
- Grunde til supersymmetri:
 - (Partikel fysik) Fjerner kravet om re-normalisering
 - (Streng teori) 'Tachioner' forsvinder
 - Hvis supersymmetri inkluderes i modellen får man en "naturlig samling" af "koblings konstanterne".

(Supersymmetri)

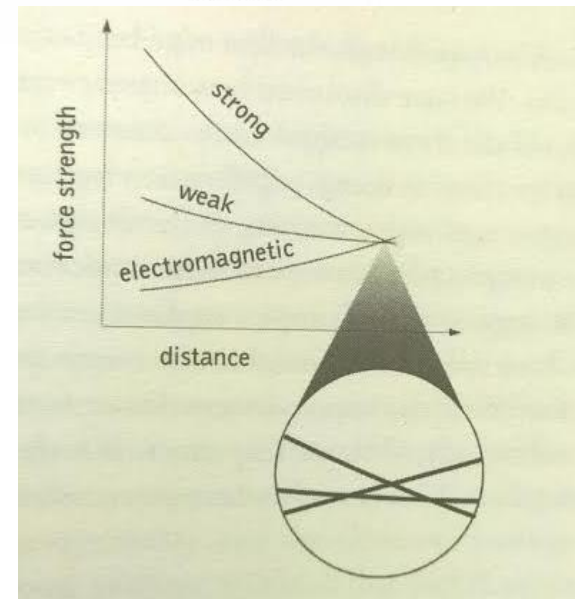
Supersymmetri



Uden supersymmetri bliver koblingskonstanterne for de 3 ikke-tyngde kræfter næsten ens ved høje energier.

Med supersymmetri er de ens.

Der er ikke nogen der har målt nogen effekter, som kun kan beskrives med supersymmetri. Den bliver kun inkluderet af tekniske årsager. (Nemmere at renormalisere + BPS)



(Historik og teori)

Superstrengte: Historik og teori

- 1916: Generel relativitetsteori (Einstein og Hilbert)
- 1919: Kaluza skriver til Einstein
- 1921: Kaluza – 5te dimension i ligningerne giver noget der ligner elektromagnetismen
- 1926: Klein – 5te dimension er ”cirkulær”
- 1930: Dirac – Kvantemekanisk formulering af QED
- 1968: Salam, Glashow, Weinberg - Elektosvag model $SU(2) \times U(1)$
- 1968: Veneziano - Første formulering af en strengteori model som et forsøg på at forklare den stærke kernekraft
- (1965: Første introduktion af $SU(3)$ som gruppe for QCD; formulering af QCD ca. slut 1974, accepteret næsten med det samme)
- Ca. 1974: Veneziano-modellen diskuteres som en strengteori, med bredere række end QCD

(Formuleringer)

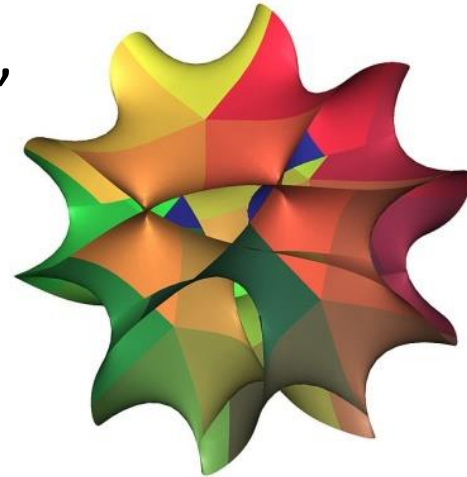
Superstrengte: Historik og teori

- Veneziano's oprindelige model: 26 dimensioner; kun bosoner; indeholder en gravitation; og en tachyon
- Nuværende klassiske formulering (starten af 1980'erne) indeholder 5 formuleringer i 10 dimensioner; har fermioner; ingen tachyon
- Disse 5 formuleringer viser sig at være forskellige billeder af samme teori, men med 11 dimensioner

(De ekstra dimensioner)

Superstrengene: De ekstra dimensioner

- Ligesom strengene bevæger sig i de "store" 3+1 dimensioner, bevæger de sig også i de sidste 6 (7) dimensioner
- Ligningerne for strengene + vores krav om at de ekstra dimensioner skal være "små" sætter bånd på hvordan de "kan se ud"
- De ekstra dimensioner er nødt til at være en Calabi-Yau manifold
- Men ligningerne siger ikke noget om hvilken Calabi-Yau manifold der er den rigtige
- Calabi-Yau manifolder er der mange af
- Den eneste hjælp vi får er at antallet af "huller" i den er antallet af partikel familier (3)



(De 5 formuleringer)

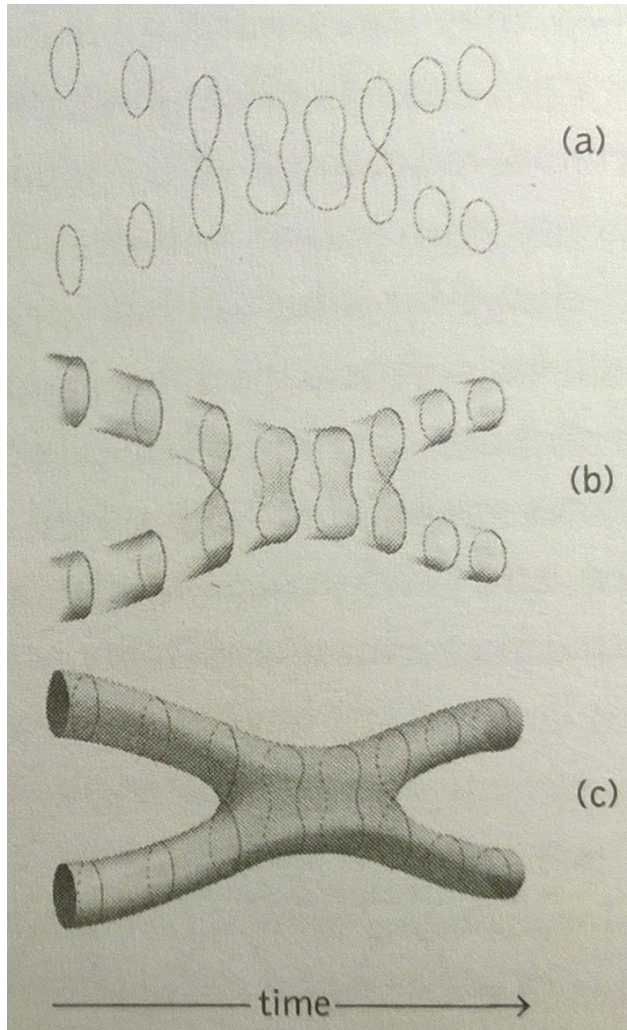
Superstrengte: Formuleringerne

Der er 5 mulige forskellige formuleringer af super-strengteori d= 10 (11)

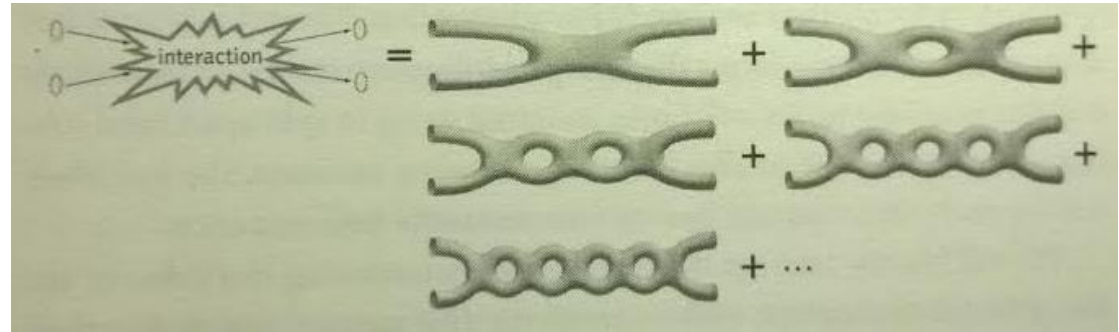
Type	Åbne eller lukkede	Har retning	Detaljer	
I	Åbne (og lukkede)	Nej	Ladninger i enden af strengene; SO(32) gauge symmetri	
IIA	Lukkede	Nej	U(1) gauge symmetri	
IIB	Lukkede	Ja	Ingen gauge symmetri	
Heterogen $E_8 \otimes E_8$	Lukkede	Ja	Sammensmeltning af en "Klassisk streng" og en "Superstreng". $E_8 \otimes E_8$ gauge symmetri.	
Heterogen SO(32)	Lukkede	Ja	Sammensmeltning af en "Klassisk streng" og en "Superstreng". SO(32) gauge symmetri.	

(Interaktioner)

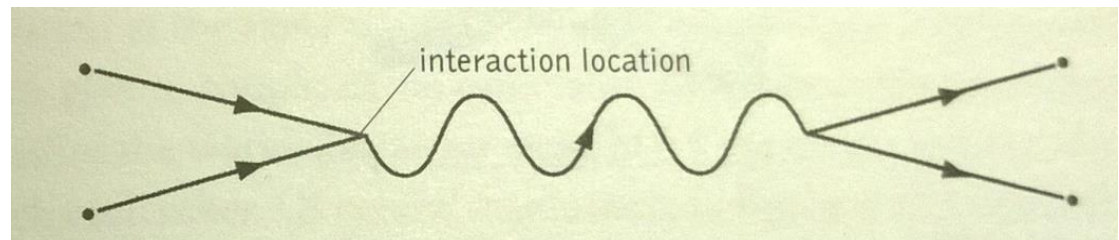
Superstreng: Interaksjoner



Lukkede strenge (perturbation)

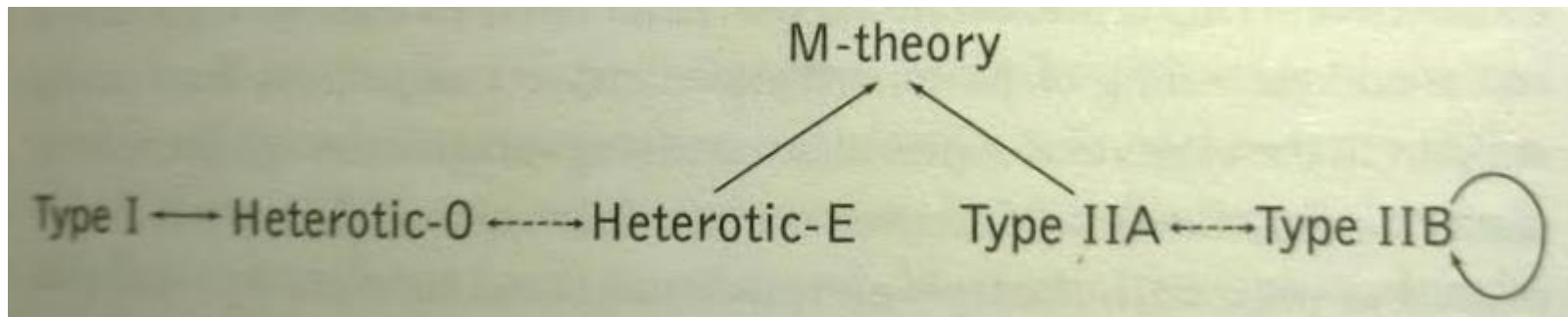
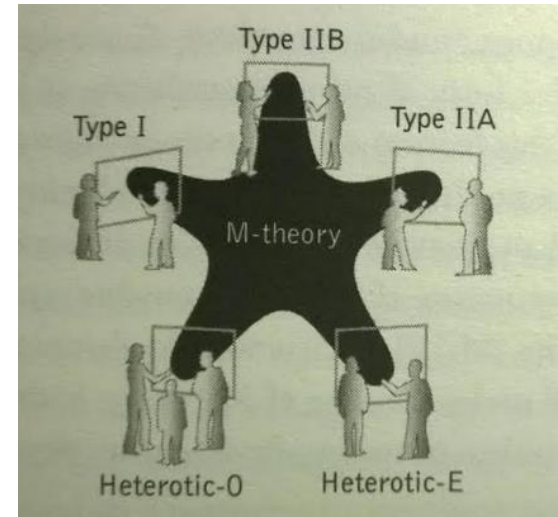
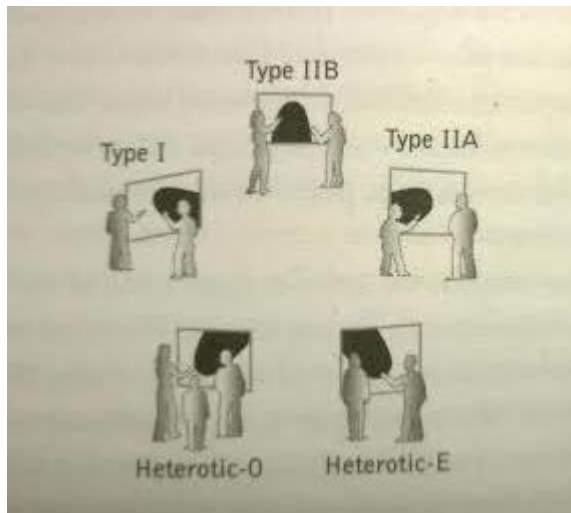


For punkt partikler er det nøjagtigt det samme



(M-teori)

Superstrengte: Det sidste; M-branes



Fylgte linier: Sammen hæng ved skift i koblingskonstant

Stiplede linjer: Størrelses dualitet

Desuden kommer den supergravitations teorien (11 dimensioner, partikel model) frem, ved lav-energi af streng teori.

(Afslutning)

Superstrengte: Evidens ?

- Alle strengteorier indeholder tyngdekraft
- Der er en rig mulighed for at indpasse kræfter i strengteori
- Strengteori er mere en "kasse" hvor man kan forklare en vilkårlig teori. Der er ikke meget hjælp til at forklare verden som den ser ud

