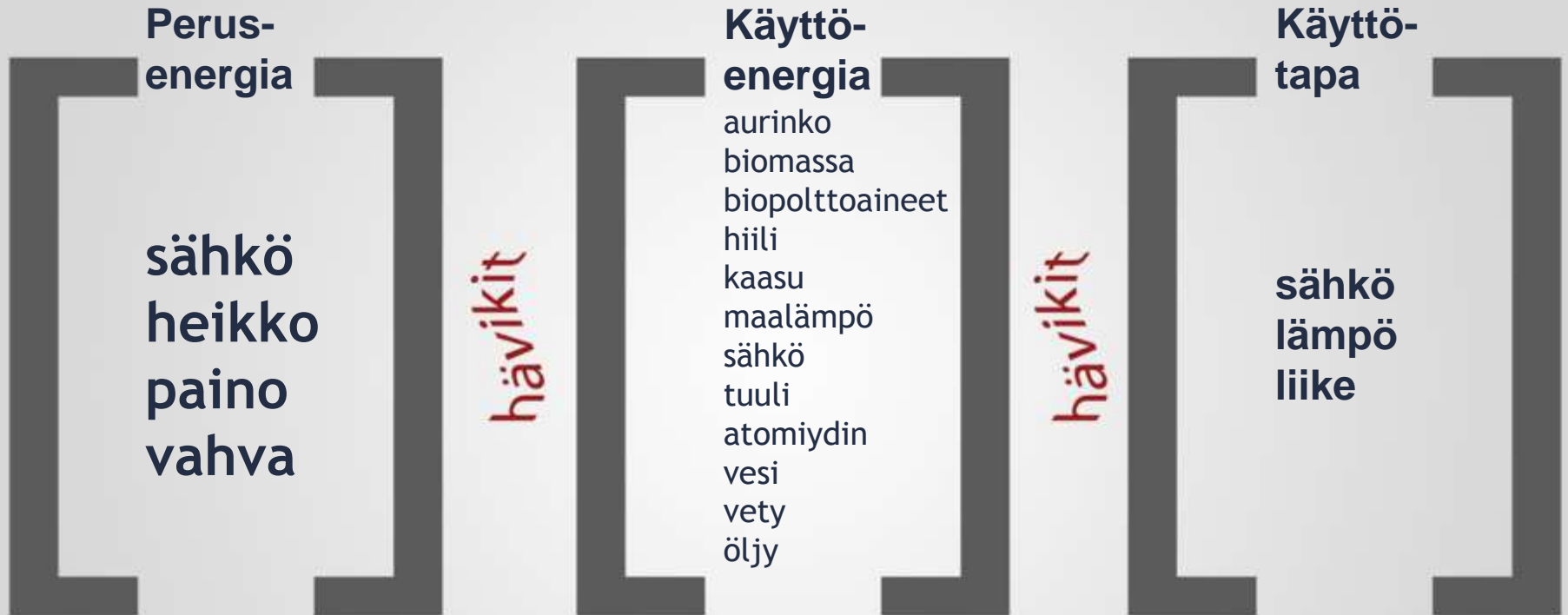


Mitä energia on?

Risto Orava
Helsingin yliopisto
Fysiikan tutkimuslaitos
CERN

Mistä energiaa saadaan?



ENERGIASTA EI OLE PUUTETTA – ENERGIAN KÄYTÖN LOGISTIIKASSA ON PARANTAMISEN VARAA.

Energia

- säilyy - ei voi luoda eikä hävittää*
- havaitaan vaikutusten avulla
- kenttä - ei suuntaa

Energia on muutospotentialia

- **siirtyy** muutosten kautta:
sähkö \Rightarrow lämpö \Rightarrow massa
- **muuntuu** tai aiheuttaa muutoksia muualla:
lämpö \Rightarrow sulaminen
painovoima \Rightarrow luode-vuoksi
- **ilmenee** massana ja liikkeenä tai pelkkänä muutospotentialina: liikkuva juna - juna varikolla (ja myöhässä!)

Energia ja aine
ovat yhtä:

$$E = m c^2$$

E = energia

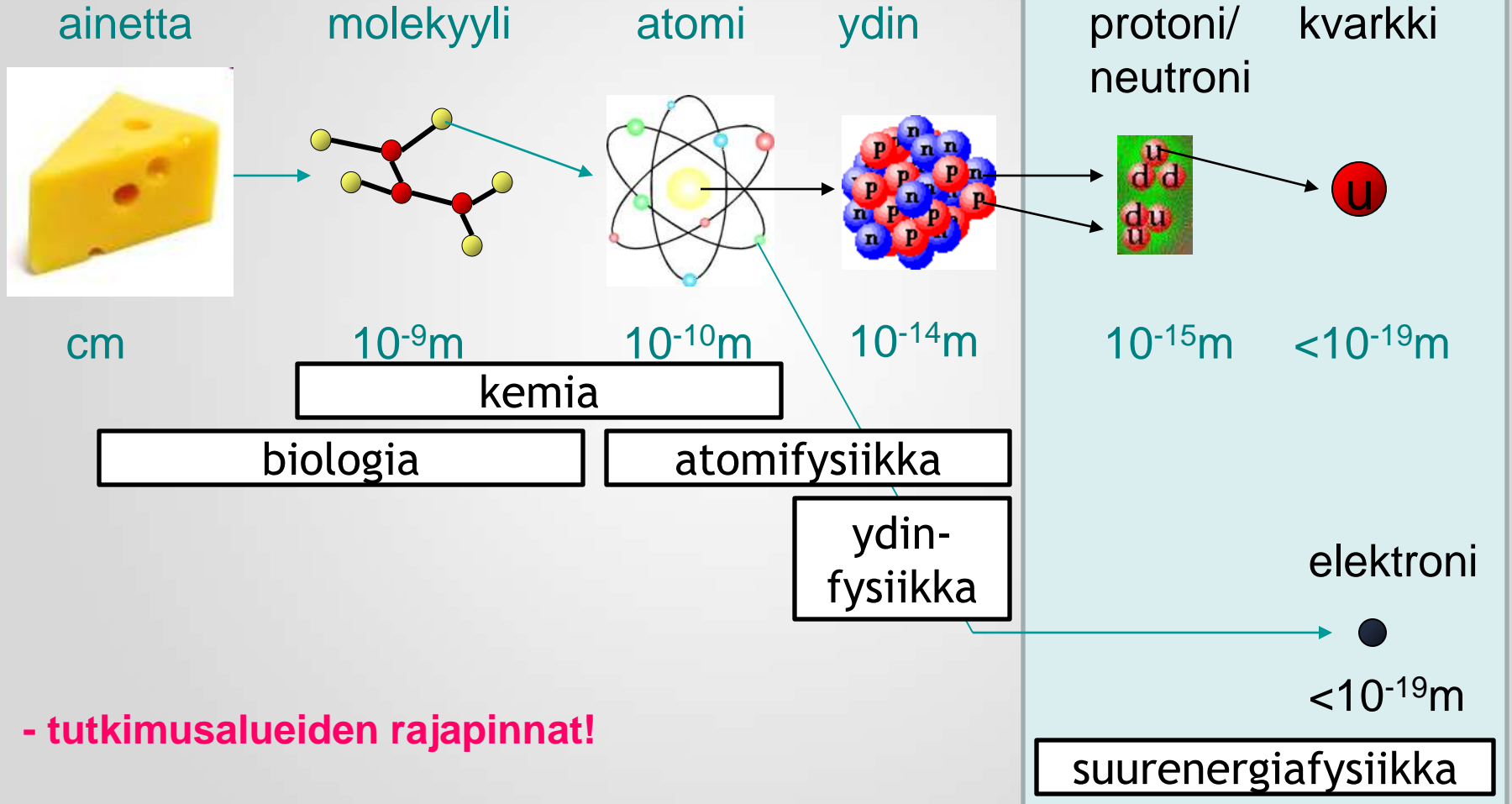
m = massa

c = valon nopeus tyhjöissä $\approx 300\,000$ km/s

aine ja energia

energiasisältö pieni

energiasisältö suuri



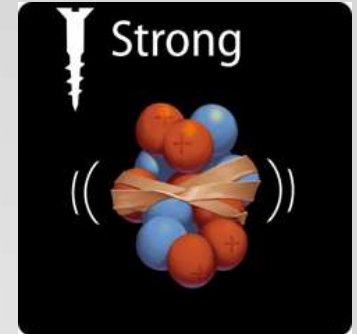
aineen energiasisältö

AINE	ENERGIASISÄLTÖ (MJ/kg)
JUUSTO	0.1
AKKU	1-2
PUU	15
KIVIHILI	30
RAAKAÖLJY	40
VETY	130
URAANI-235	80 000 000
H2-H3 FUUSIO	300 000 000
MATERIA- ANTIMATERIA	90 000 000 000

Neljänlaista energiaa

- vahva
 - heikko
 - sähkö
 - paino
- } sähköheikko

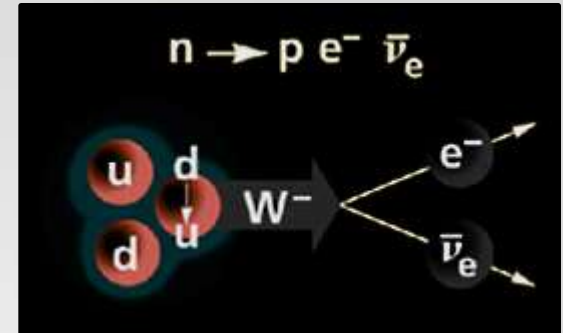
Vahva voima



- pitää atomiytimen osaset koossa
- vaikuttaa kvarkkien välillä
- 'gluoni'-kvantit siirtävät
- ydinenergia on vahvan voiman pieni jäännösvaikutus

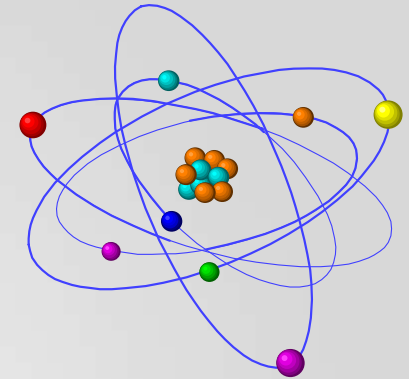
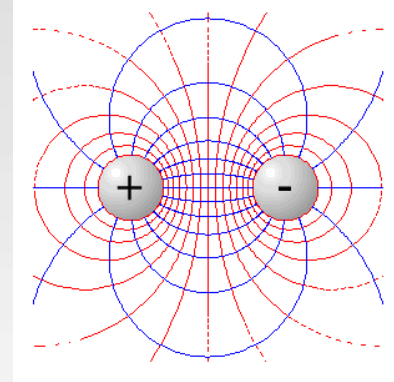
kvarkkien välinen vahva voima nostaisi tonnin painoisen taakan
– vaikutus rajoittuu 1 fermimetriin ($= 10^{-15}\text{m}$)

Heikko voima



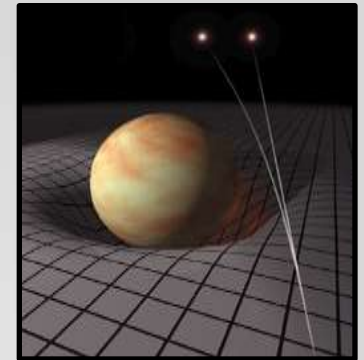
- vaikuttaa elektronien ja kvarkkien välillä
- raskaat 'bosoni' –kvantit siirtävät*
- on osa sähköenergiaa
- auringon energiatuotannon avain

Sähkö



- pitää atomit koossa
- vaikuttaa sähkövarausten välillä
- valokvantti - fotoni - siirtää
- arkinen energian välityskeino

Paino



- pitää planeetat radoillaan
- vaikuttaa painovoimakentän kautta
- 'gravitoni'-kvantti siirtää (?)
- hankala sovittaa samaan kuvaan muiden energiamuotojen kanssa – mittakaavat!

Perusvoimat

voima	välittäjä	voimakkuus	etäisyyden vaikutus	kantama - metriä
vahva	gluoni	1	$\sim r$	$\sim 10^{-15}$
sähkö	fotoni	0.01	$\sim 1/r^2$	∞
heikko	W/Z	10^{-13}	$\frac{d}{dr} \left(\frac{\exp(-m_{W,Z} r)}{r} \right)$	$\sim 10^{-18}$
paino	gravitoni?	10^{-38}	$\sim 1/r^2$	∞

Ydinenergia perustuu lukemattomien ydinhiukkasten (protonit ja neutronit) välisten voimien yhteisvaikutukseen. Ydinhiukkasten välinen voima on vahvan voiman pienen pieni jäännösvaikutus 10^{-15} m suuremmilla etäisyyksillä.

Maailmankaikkeuden energiabudjetti

100%

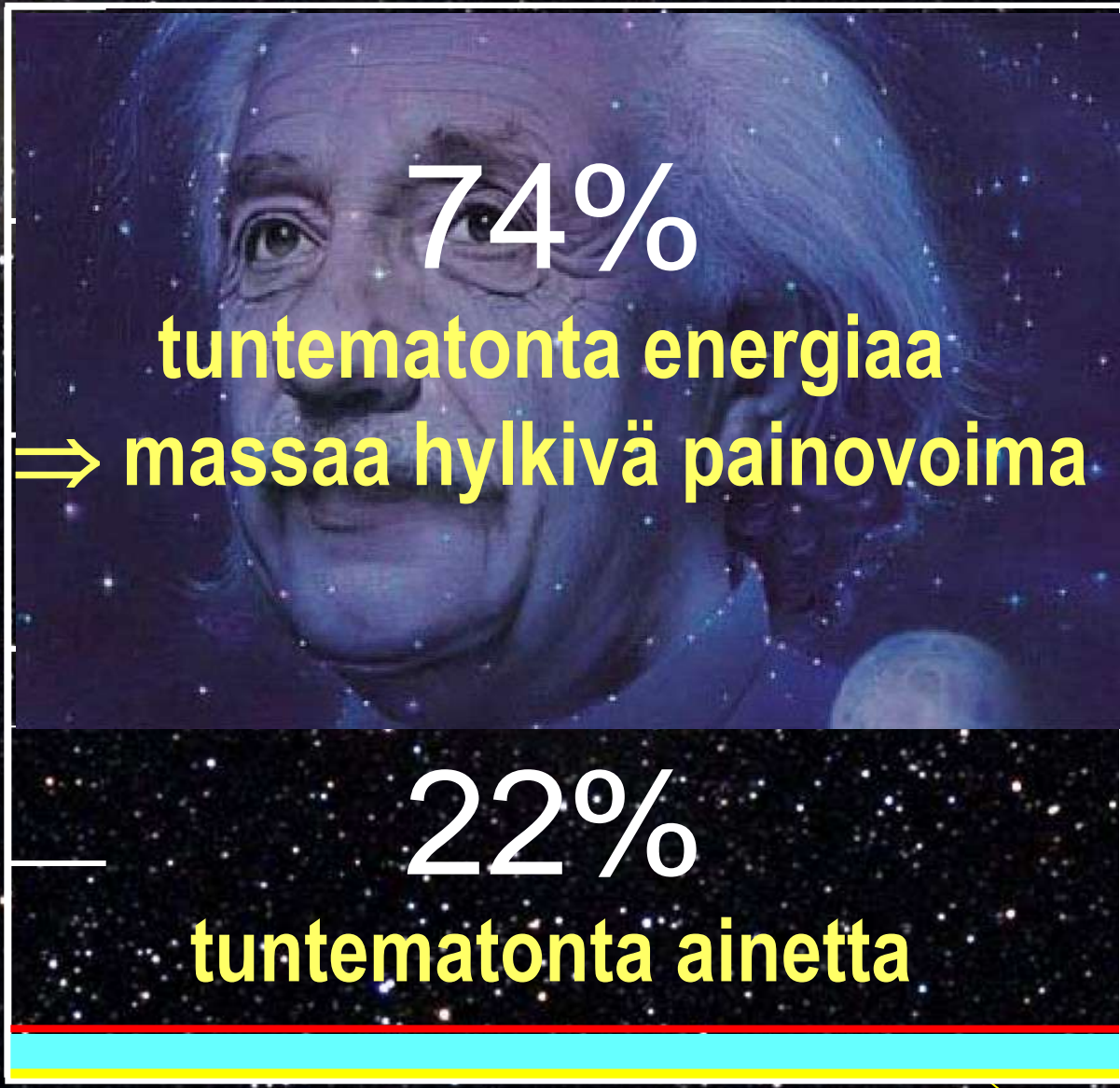
80%

60%

40%

20%

0%



74%

tuntematonta energiaa

⇒ massaa hylkivä painovoima

22%

tuntematonta ainetta

universumi
kiihtyvässä
kasvussa

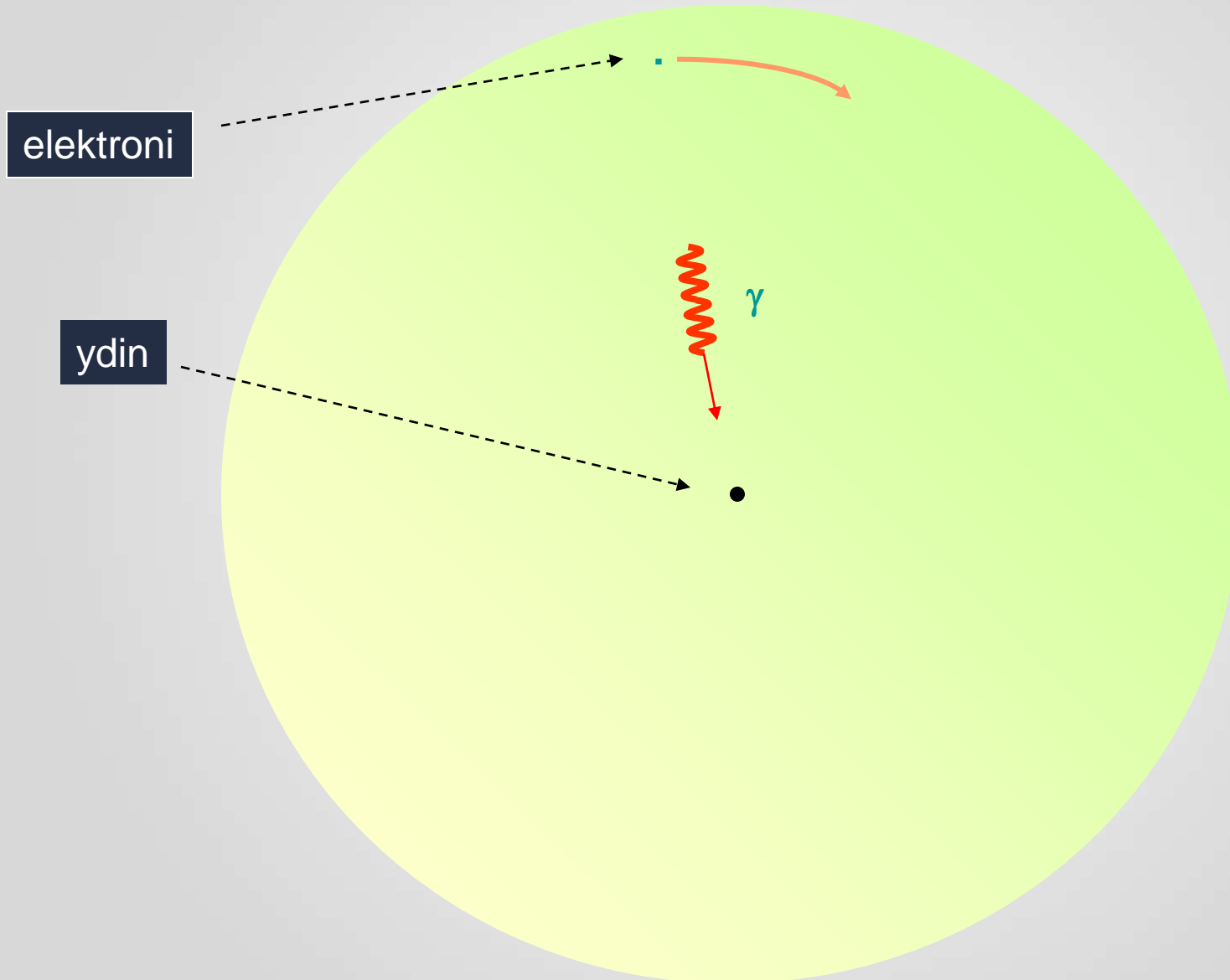
tarvitaan
tähtitieteen
havaintojen
selittämiseksi

neutriinot

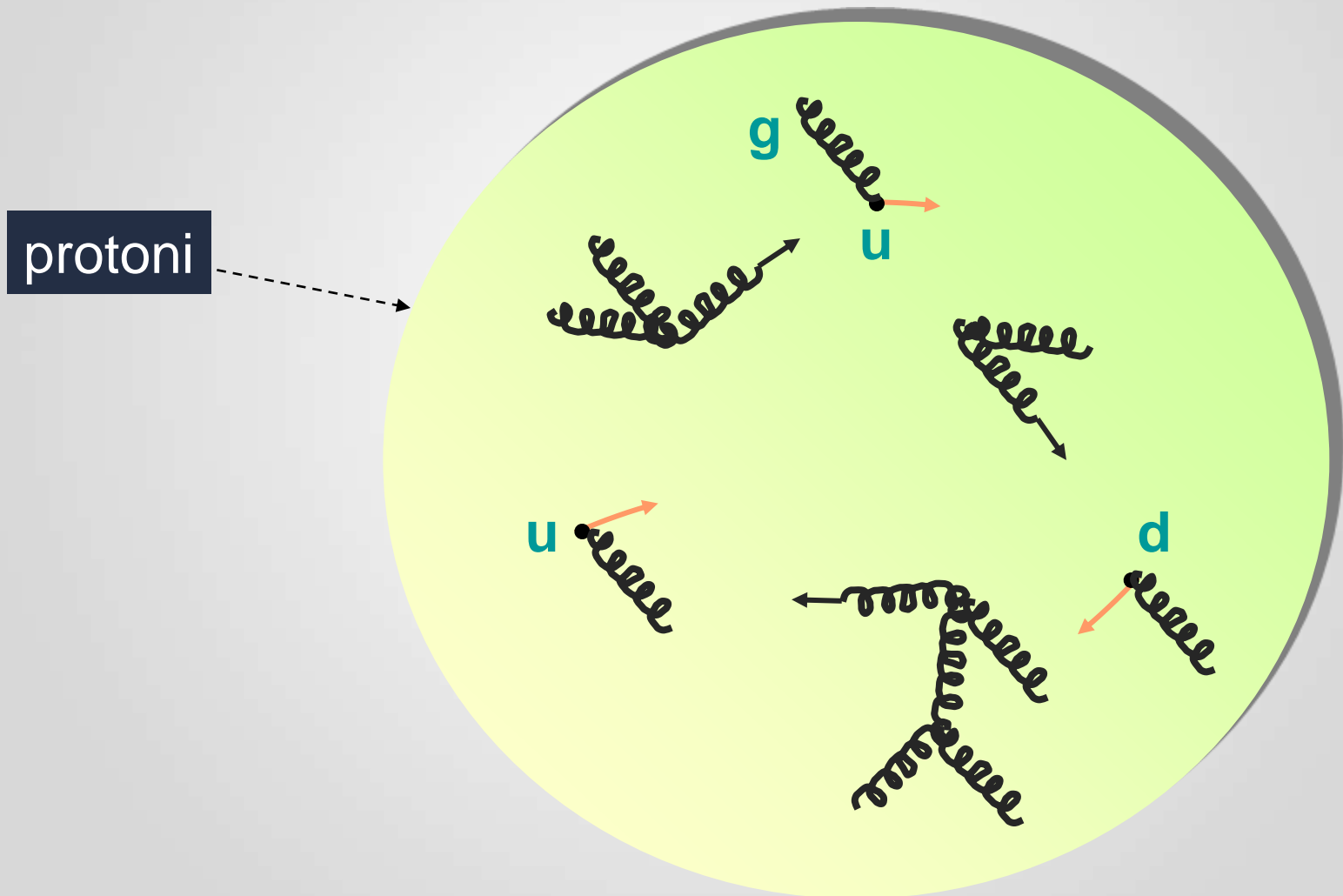
tunnettua
ainetta

tähdet

Atomit ovat $> 99.999\%$ 'tyhjää'



protonit ovat
> 99.999% 'tyhjää'



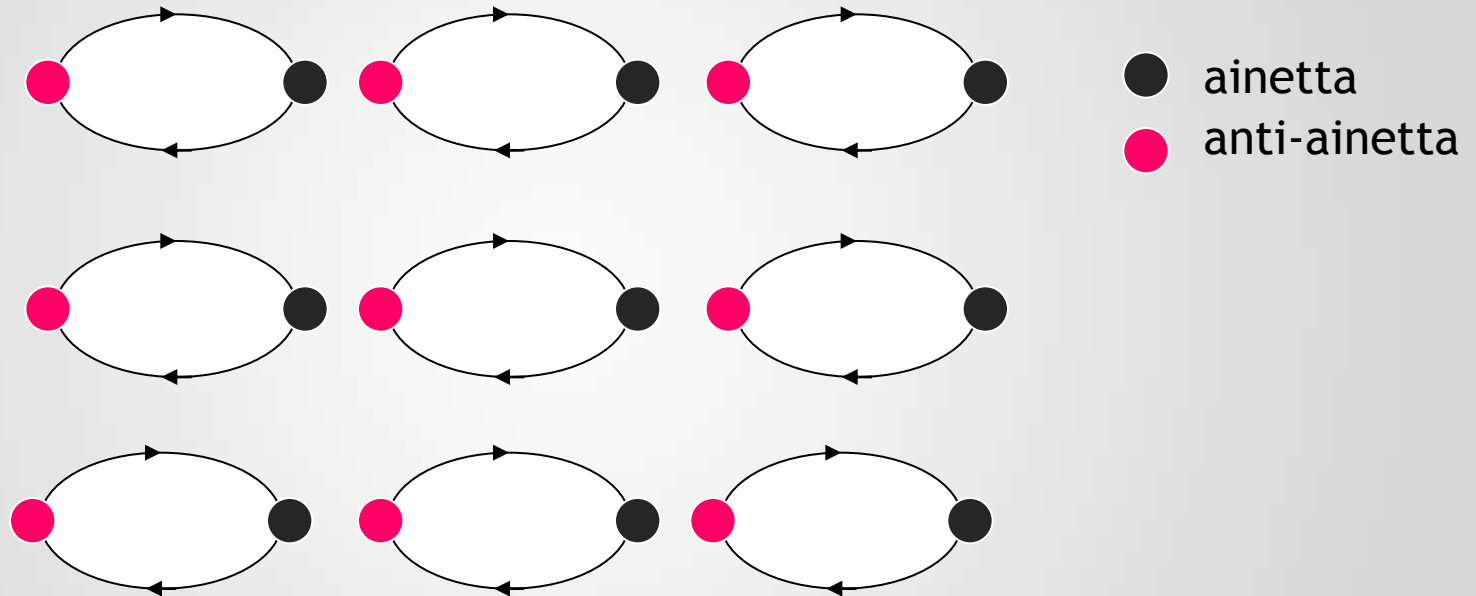
Tuntematon 'pimeä' aine

vaikuttaa tähtiin ja linnunratoihin – täyttää tyhjää

yksi uusi ainemuoto
vai useita eri aine-/energiamuotoja yhdessä?

CERNin LHC-hiukkastörmäytin kokeet nyt
avainasemassa

Tyhjä on täynnä muutospotentiaalia – ainetta ja energiaa syntyy ja häviää supernopeaan tahtiin



TYHJÄN FLUKTUAATIOT - ENERGIAN PERUSTILA?

Pienin energia?

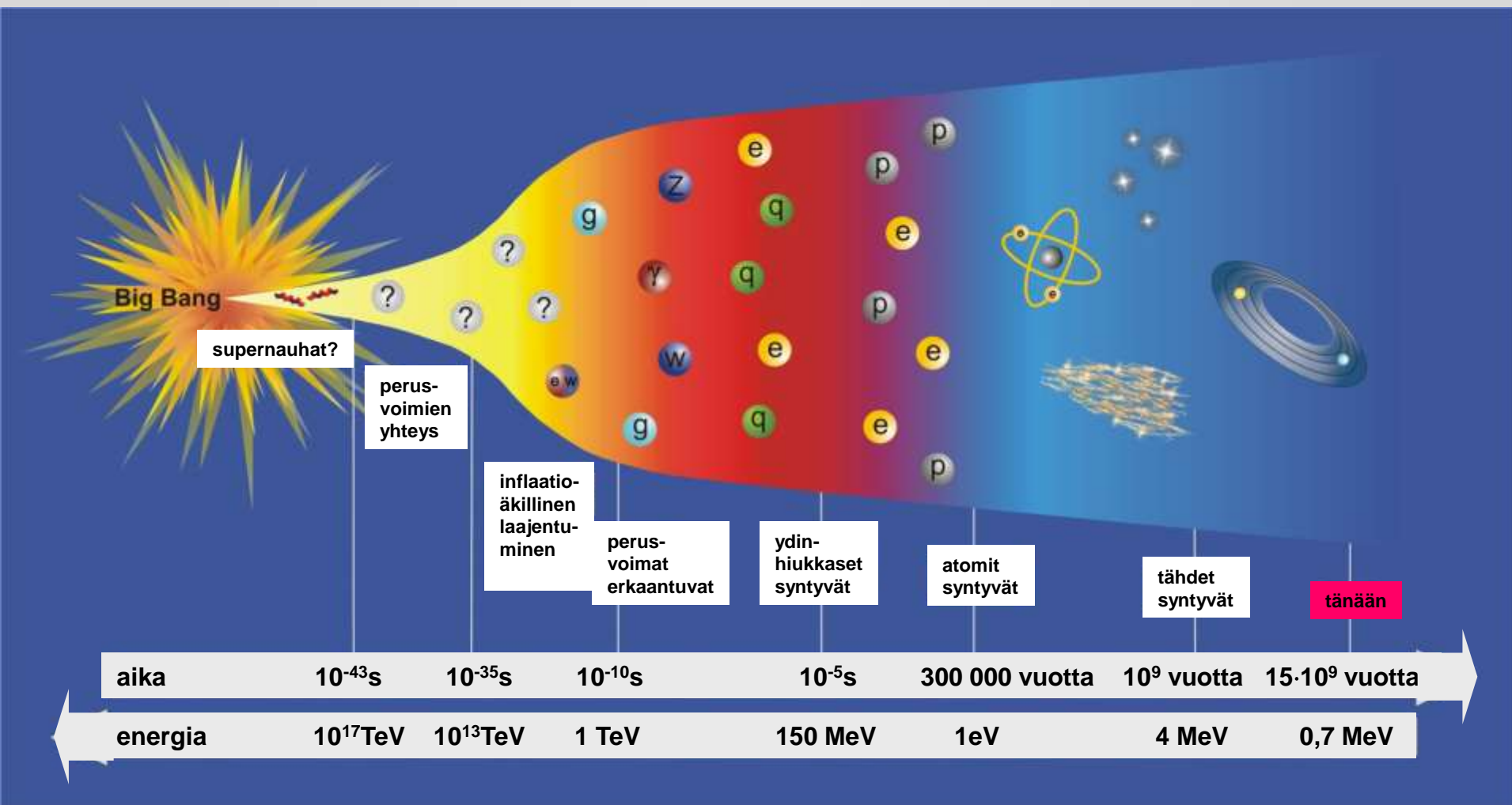
tyhjän fluktuaatiot:

aine-energia -tilojen jatkuva sykintä
($\Delta t \approx 10^{-23} \text{s}$) täyttää tyhjän.

havaitaan kokeellisesti.

kosmologian ja hiukkasteorioiden ristiriita:
maailmankaikkeuden pienin energia välillä
 $10^{-15} - 10^{70} \text{ Joulea/cm}^3$?

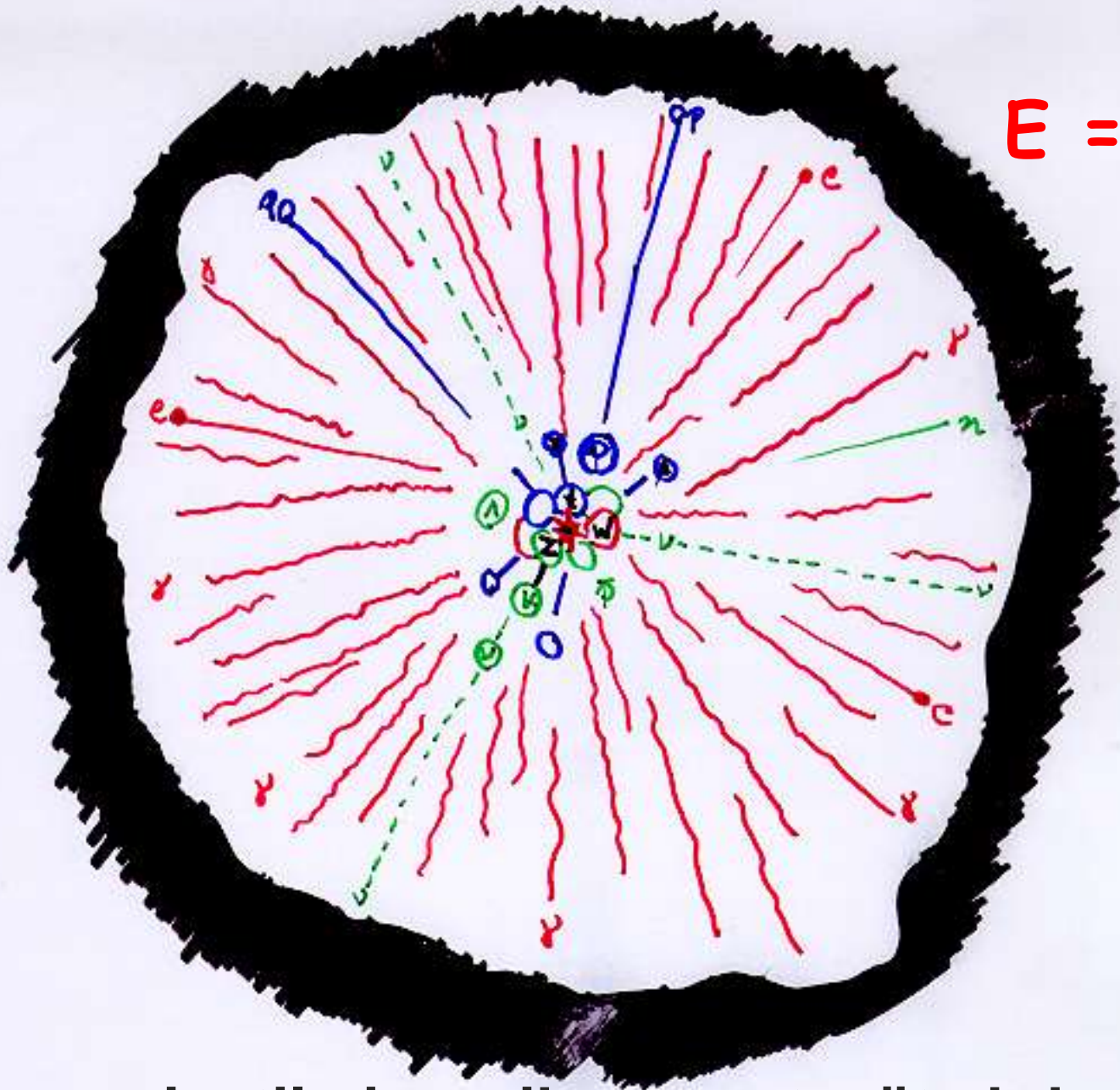
Aine, energia, tila ja aika nivoutuvat yhteen.



extrapolaatio

hiukkaskiihdyttimet (LHC, Tevatron)

$$E = mc^2$$



aine, energia, tila ja – aika – syntyvät yhdessä²¹

Suurin energia?

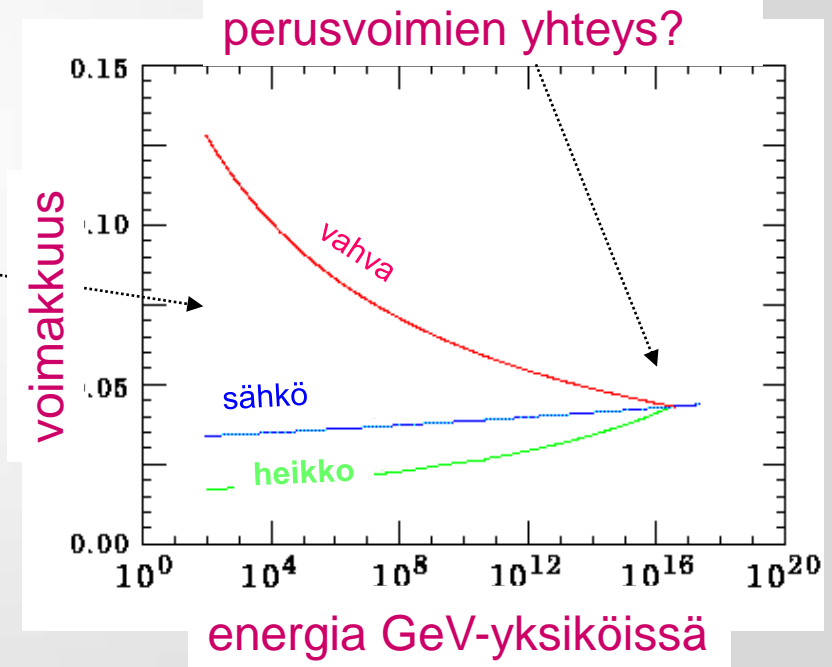
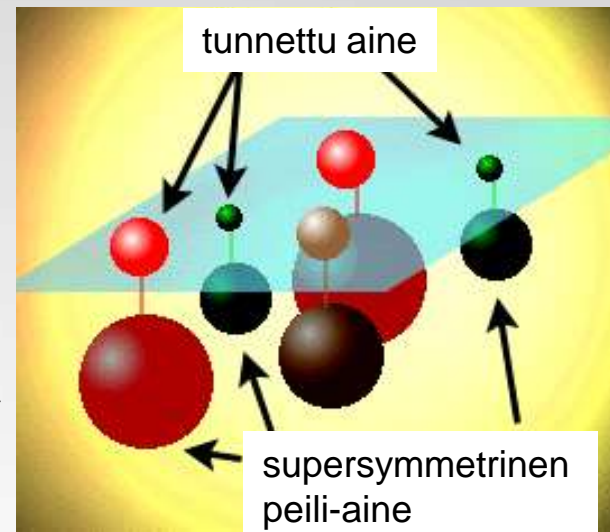
arvioitu maailmankaikkeuden
koko massaa vastaava energia:

10^{70} Joulea?

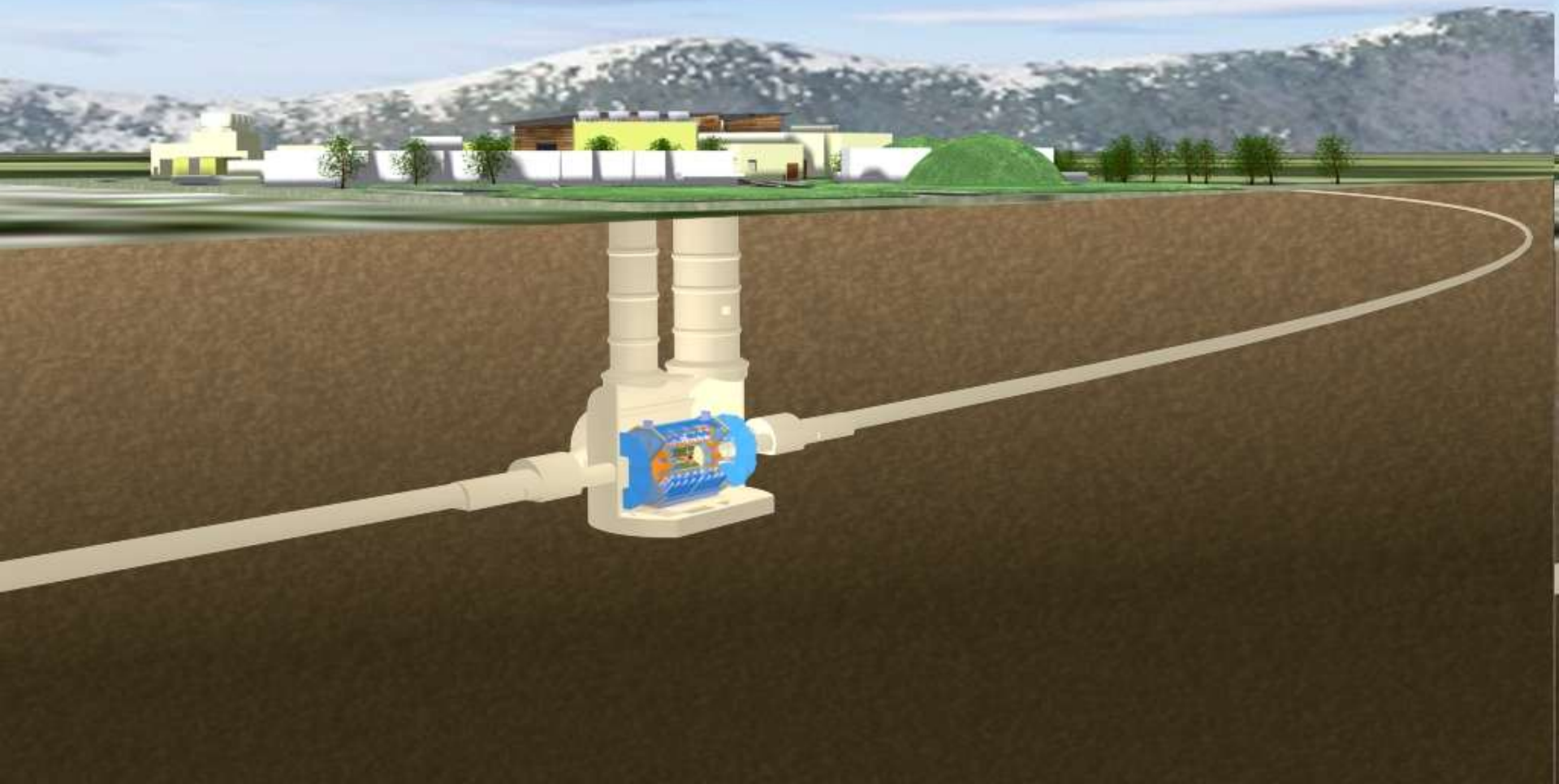
Nykyisellä energiakulutuksemme tasolla (v 2008 käytettiin $4.74 * 10^{20}$ Joulea) käyttäisimme seuraavan 14 miljardin vuoden aikana (=maailmankaikkeuden arvioitu ikä) yhteensä 10^{-30} (=0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 1 %) osan maailmankaikkeuden kokonaisenergiasta.

Supersymmetria?

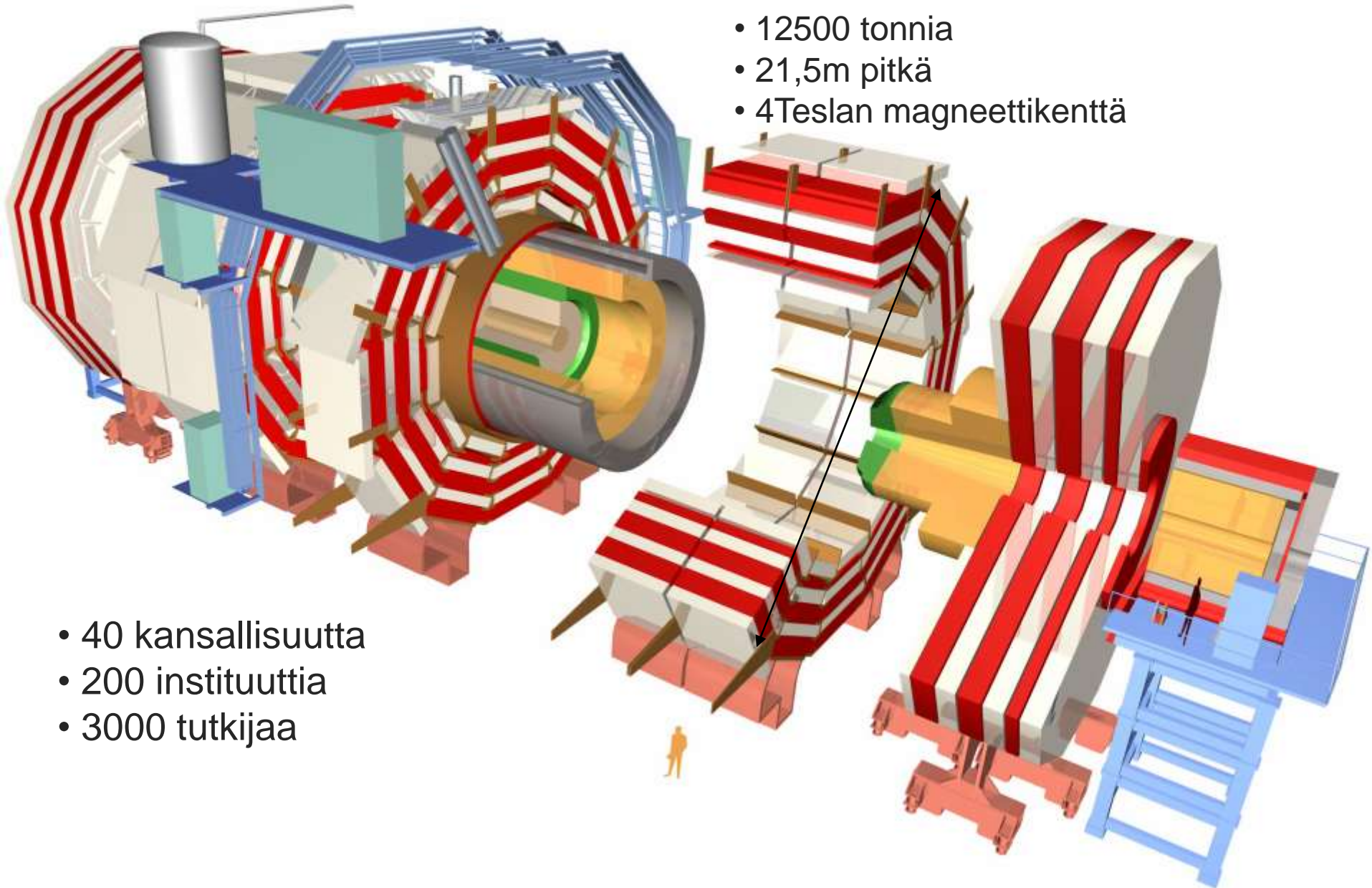
- yhdistää aineen ja energian jokaiselle tutulle ainehiukkaselle supersymmetrinen vastine
- yhdistää perusvoimat
- aineen ja energian yhtenäis-malli?
- selitys pimeälle aineelle/energialle?



Big Bang –luokan energia- tiheyksiä laboratoriossa!



CMS-koeasema



- 12500 tonnia
- 21,5m pitkä
- 4Teslan magneettikenttä

- 40 kansallisuutta
- 200 instituuttia
- 3000 tutkijaa

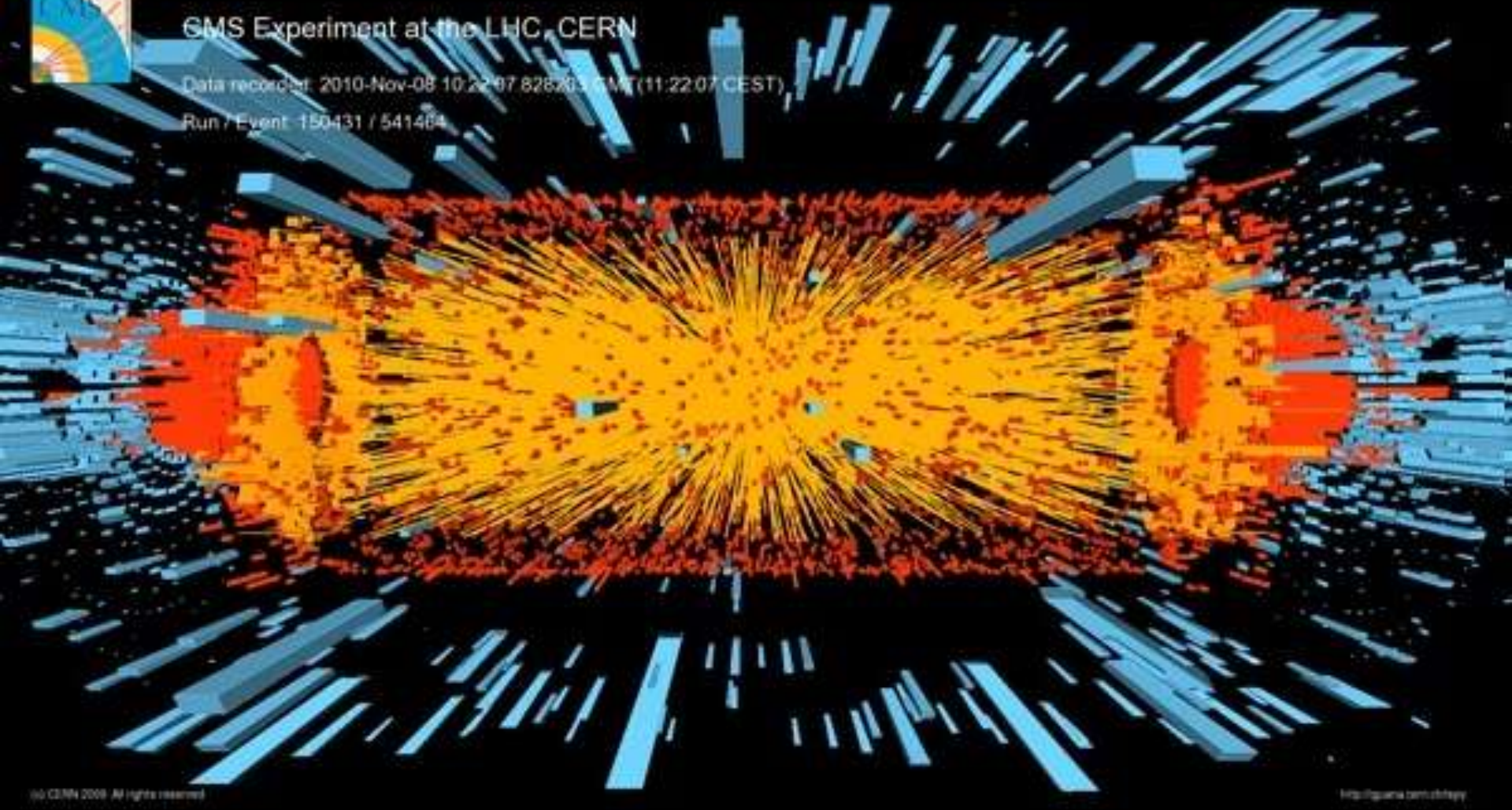
Alkuräjähdyks CERNin LHC-törmäyttimeillä vuonna 2010



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded at: 2010-Nov-08 10:22:07.828263 GMT (11:22:07 CEST)

Run / Event: 150431 / 541404



© CERN 2010. All rights reserved.

<http://cms.cern.ch/fey>

ainetta ja energiaa syntyy tyhjästä - tyhjän sykintä

Johtopäätöksiä

- **ENERGIAA RIITTÄÄ**

- KÄYTÖN ORGANISOINTIA SYYTÄ PARANTAA:

- ENERGIAN PROSESSOINTI LÄHTEESTÄ KÄYTTÄJÄLLE
- HÄVIKKIEN MINIMOINTI
- ENERGIAN KIERRÄTYS – TALTEENOTTO ('HARVESTING')

- **ENERGIATUTKIMUS**

- KOKONAISVALTAINEN LÄHESTYMISTAPA – TUTKIMUSALOJEN RAJAPINNAT
- MITTAUSTEKNIikka – MONITOROINTI
- SUURENERGIAFYSIikka ENERGIATUTKIMUKSEN VETURINA

- **UUDET ENERGIALÄHTEET?**

- MITÄ PIMEÄ ENERGIA/AINE ON?
- VASTAUKSIA LÄHIVUOSINA CERNistä?