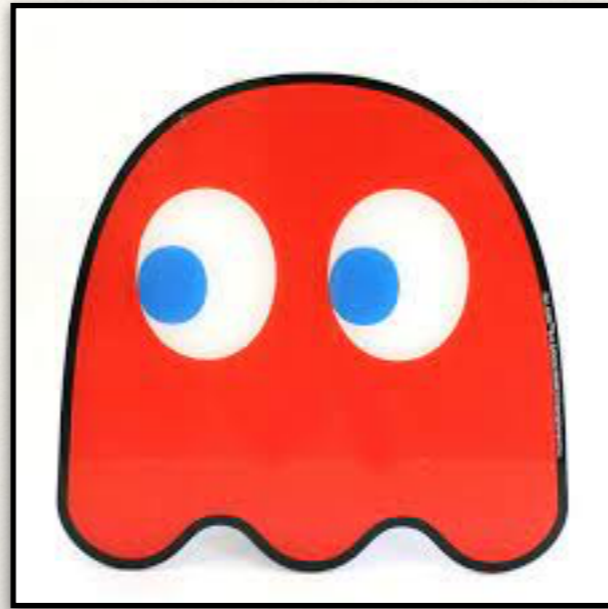


De zoektocht naar extra neutrino's



Jordy de Vries, Universiteit van Amsterdam & Nikhef

De vragen van vandaag

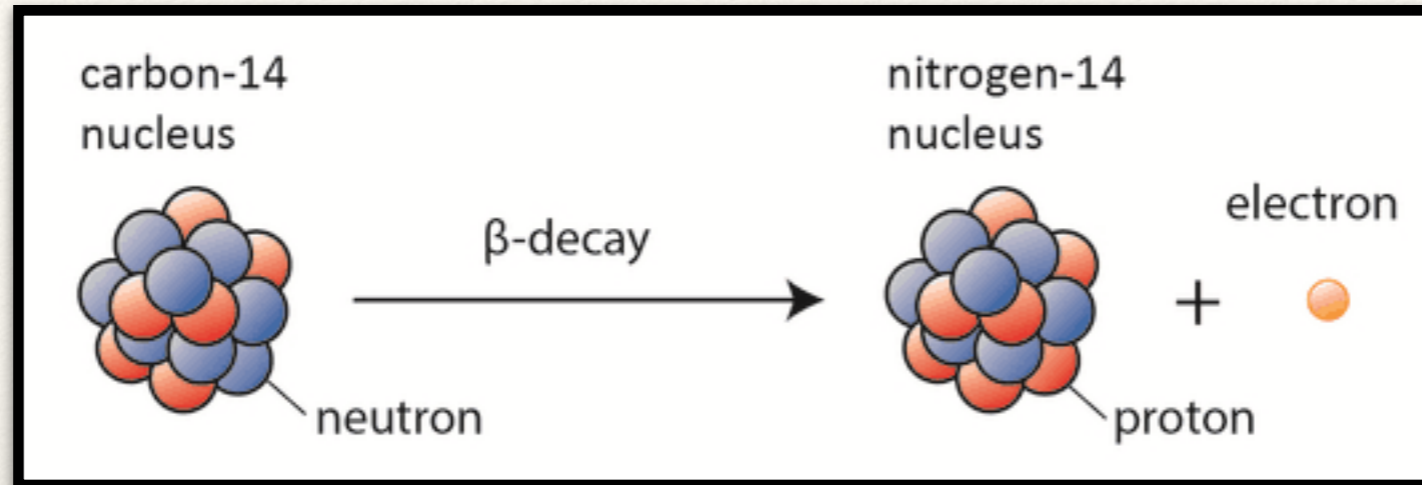
- ❖ Wat zijn neutrino's ?
- ❖ Waarom denk ik dat er meer neutrino's zijn ?
- ❖ Hoe vinden we die dan ?

*Neutrinos, they are very small.
They have no charge and have no mass
And do not interact at all.
The earth is just a silly ball
To them, through which they simply pass.*

John Updike's Cosmic Gull

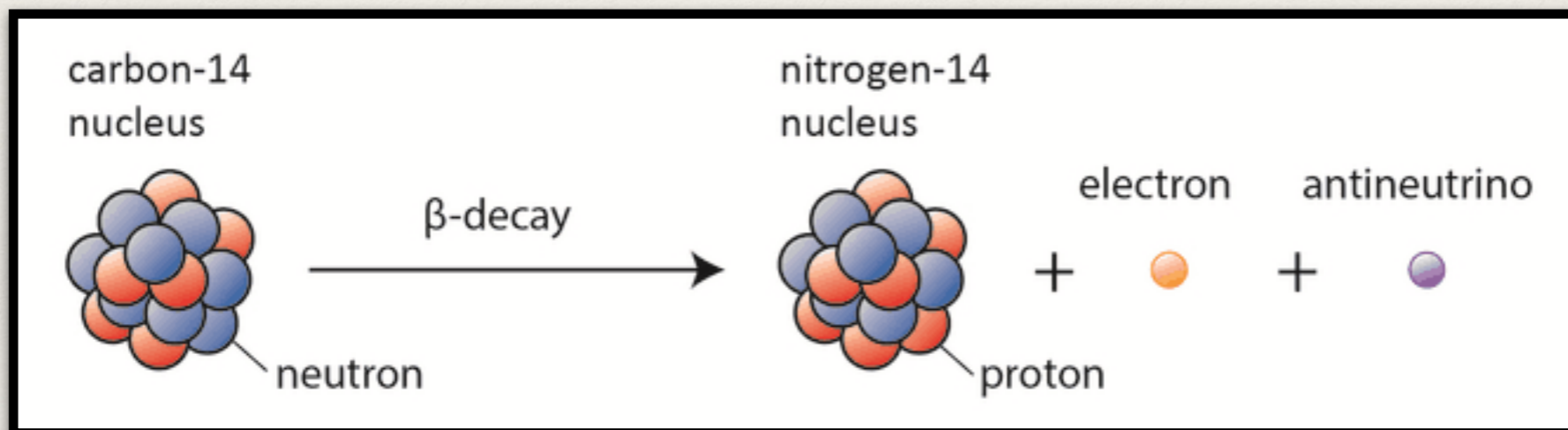
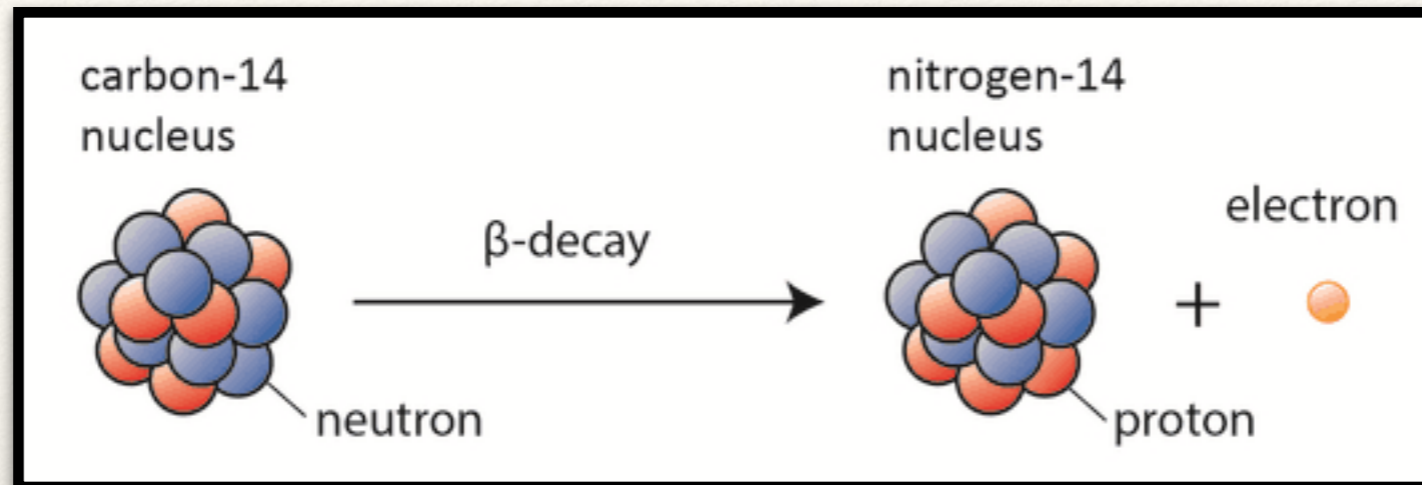
De eerste aanwijzing

Het mysterie van de verdwenen energie



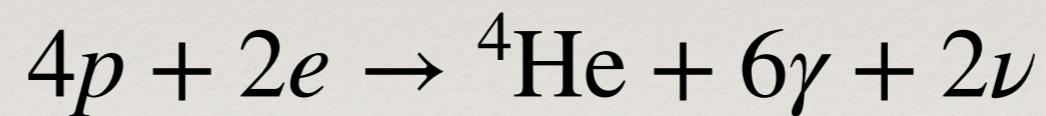
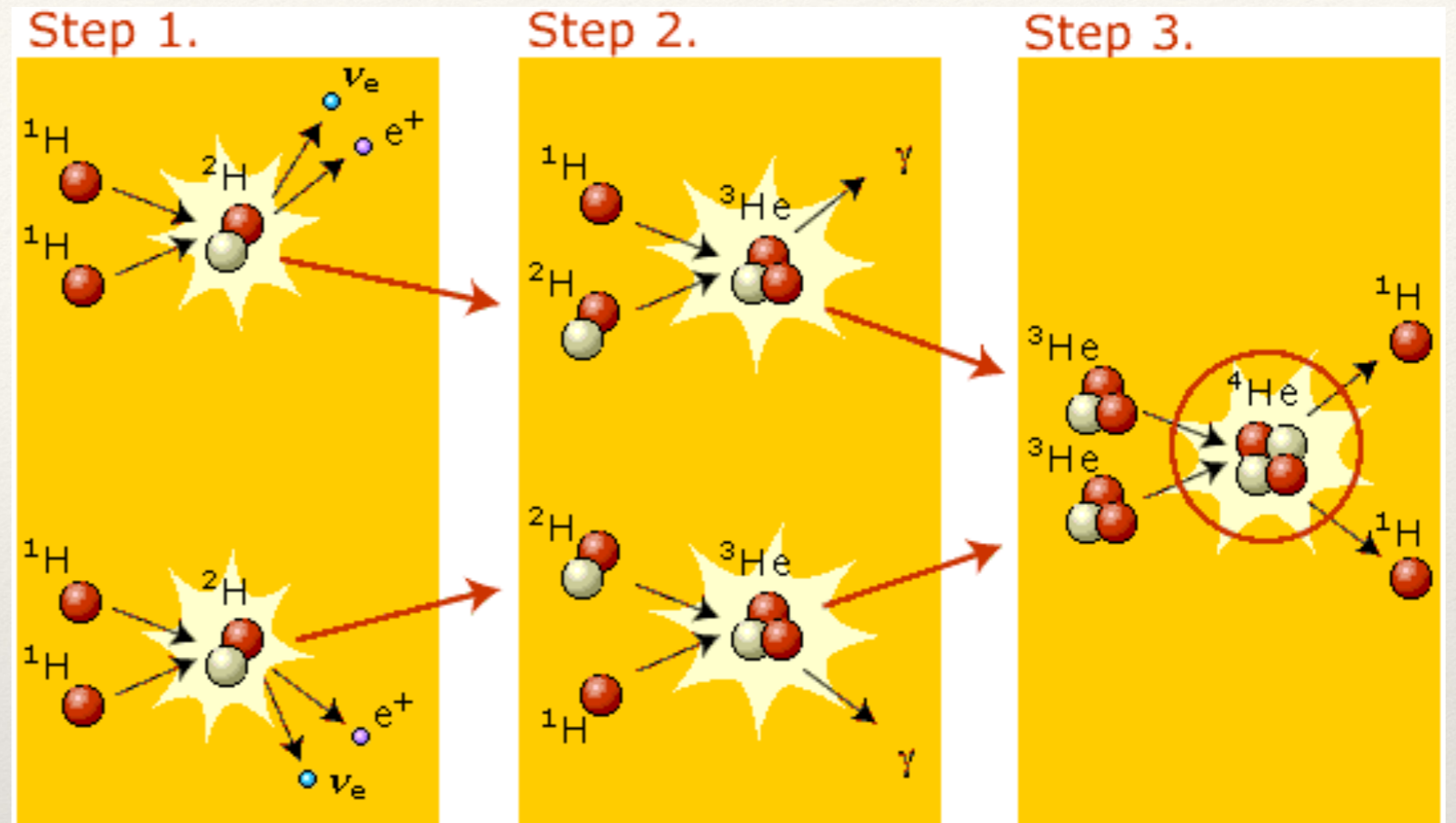
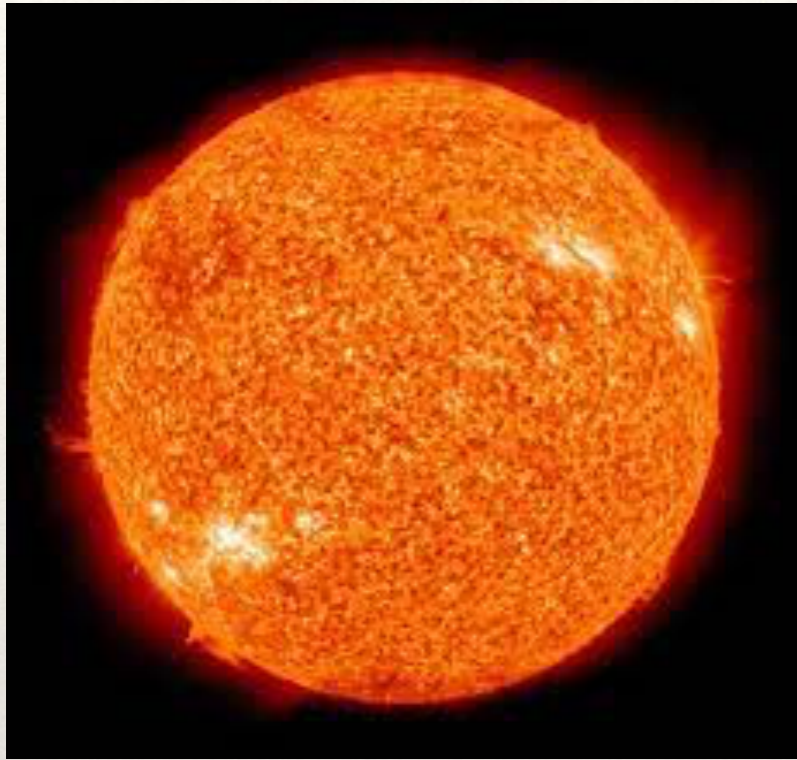
De eerste aanwijzing

Het mysterie van de verdwenen energie



*I have done a terrible thing,
I have postulated a particle that cannot be detected.*

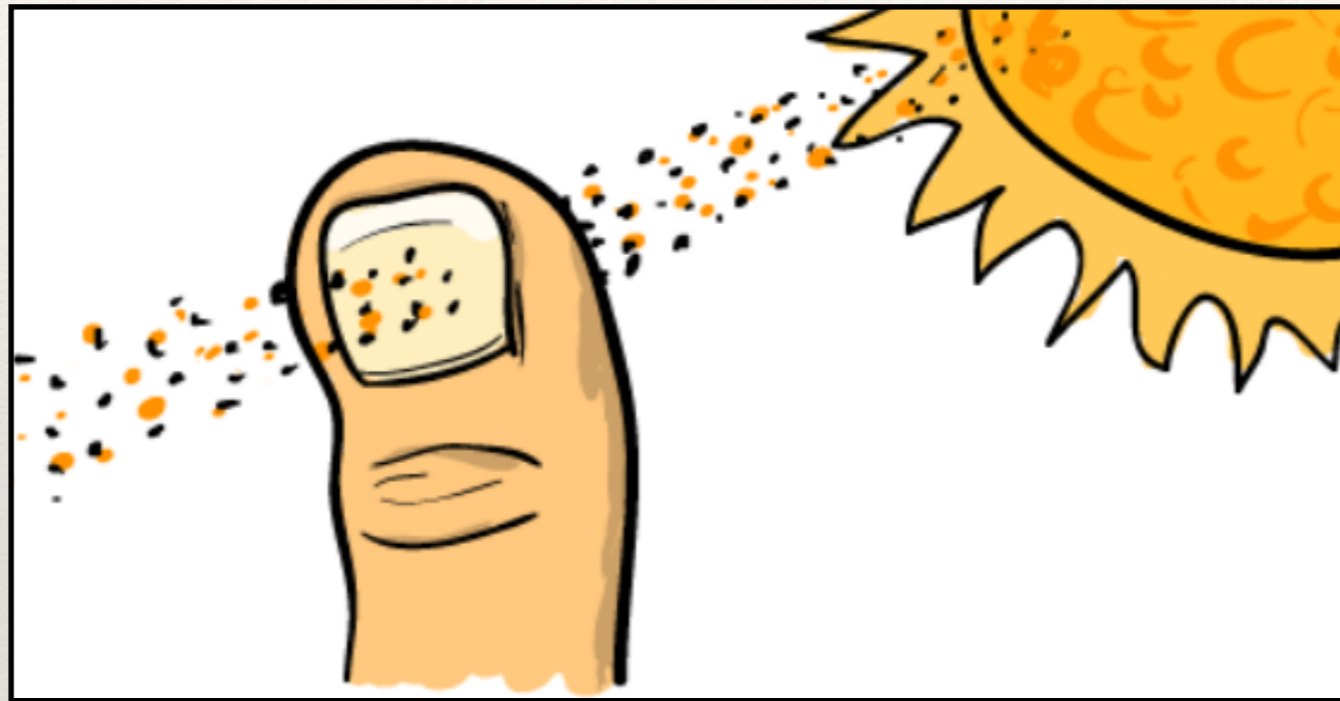
Neutrinos zijn overal !



De zon spuugt ongeveer 10^{38} neutrino's per second uit

Een kosmisch bombardement

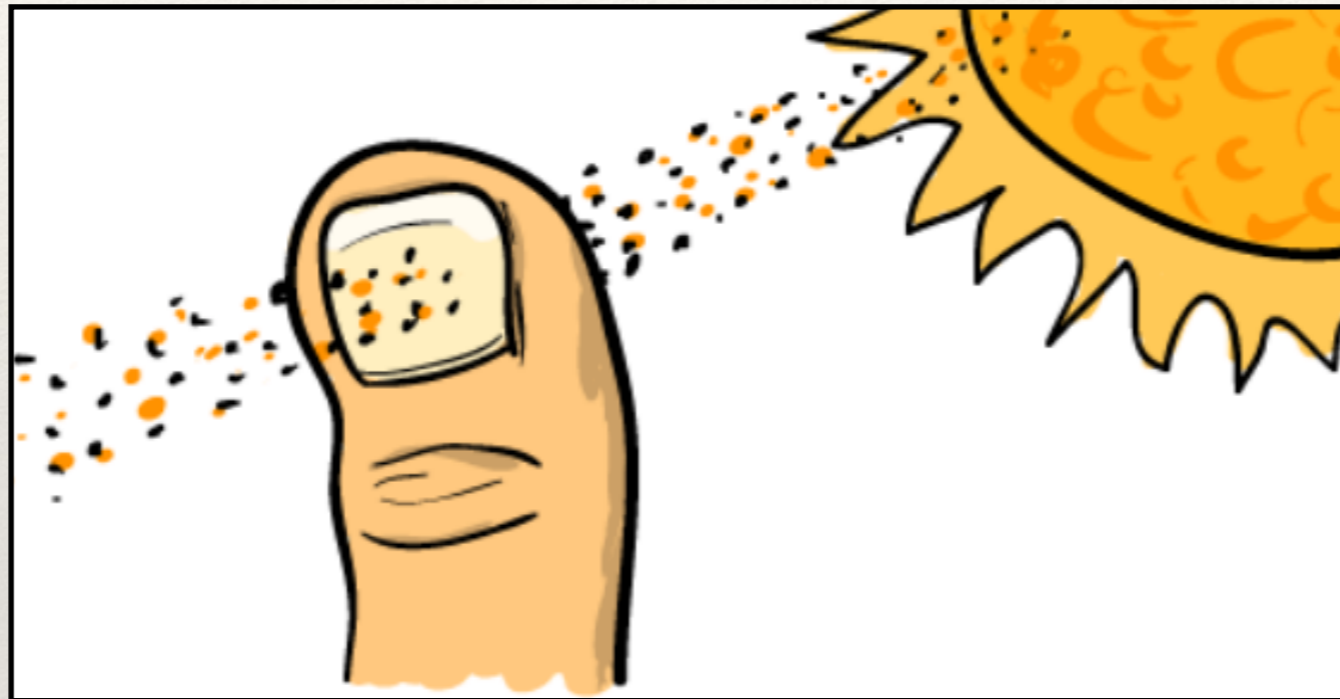
Een korte berekening geeft dat ongeveer **100 miljard neutrinos** per seconde door de nagel van je duim vliegen !



Waarom merken we daar niks van ?

Een kosmisch bombardement

Een korte berekening geeft dat ongeveer **100 miljard neutrinos** per seconde door de nagel van je duim vliegen !



Waarom merken we daar niks van ?

Neutrinos hebben geen elektrische lading !

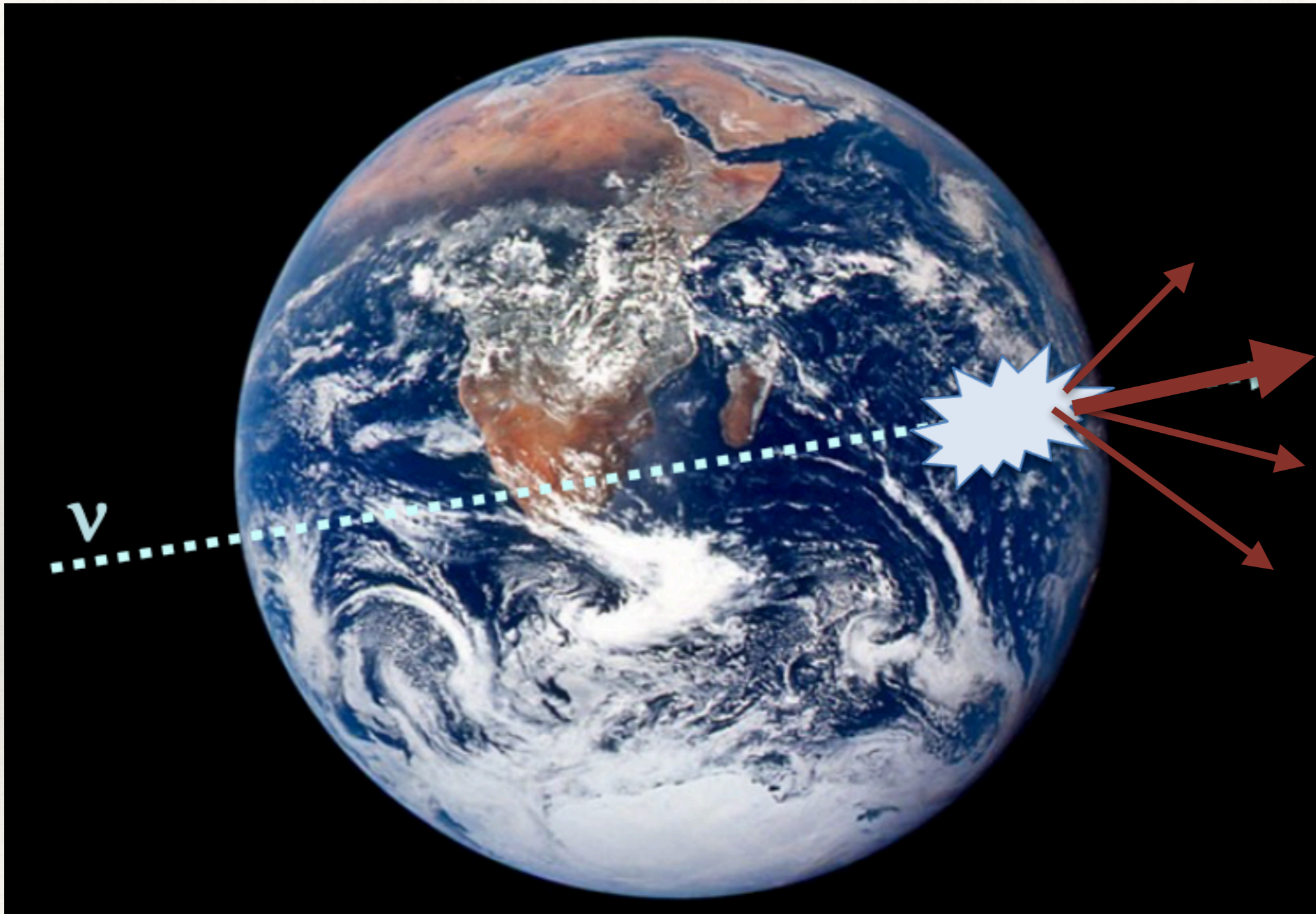
De zwakke wisselwerking

Toch een kracht: de 'zwakke' wisselwerking



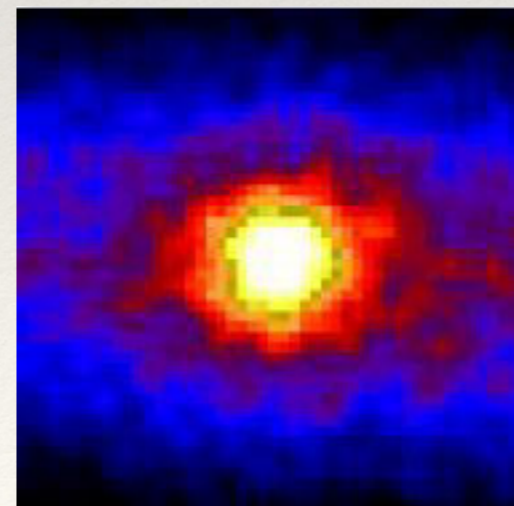
Er is een kleine kans dat neutrino's uit de zon 'botsen' op ons (of de aarde)

Maar heeeeeeel soms botsen ze

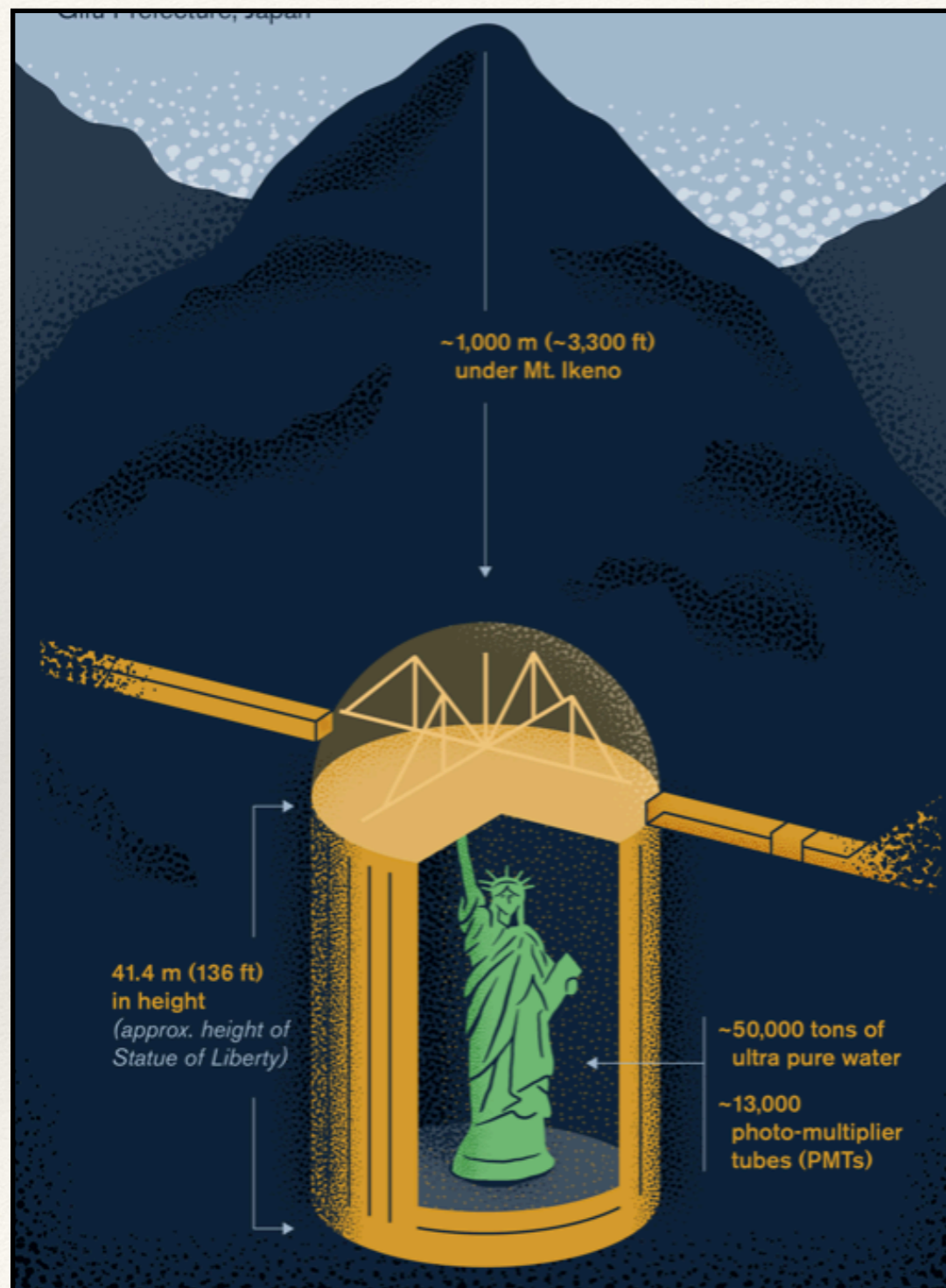


Hoe kunnen we neutrinos 'zien'?

Superkamiokande experiment in Japan



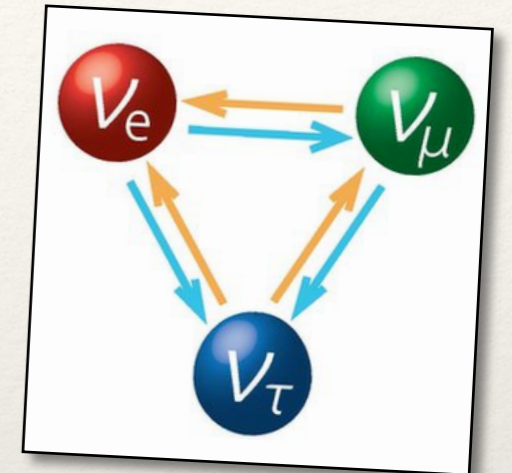
De zon gezien
door de Aarde
heen



Waar ben ik in geïnteresseerd ?

Neutrinos komen in 3 'soorten': electron-, muon-, tau-neutrinos

Neutrino's kunnen van soort veranderen

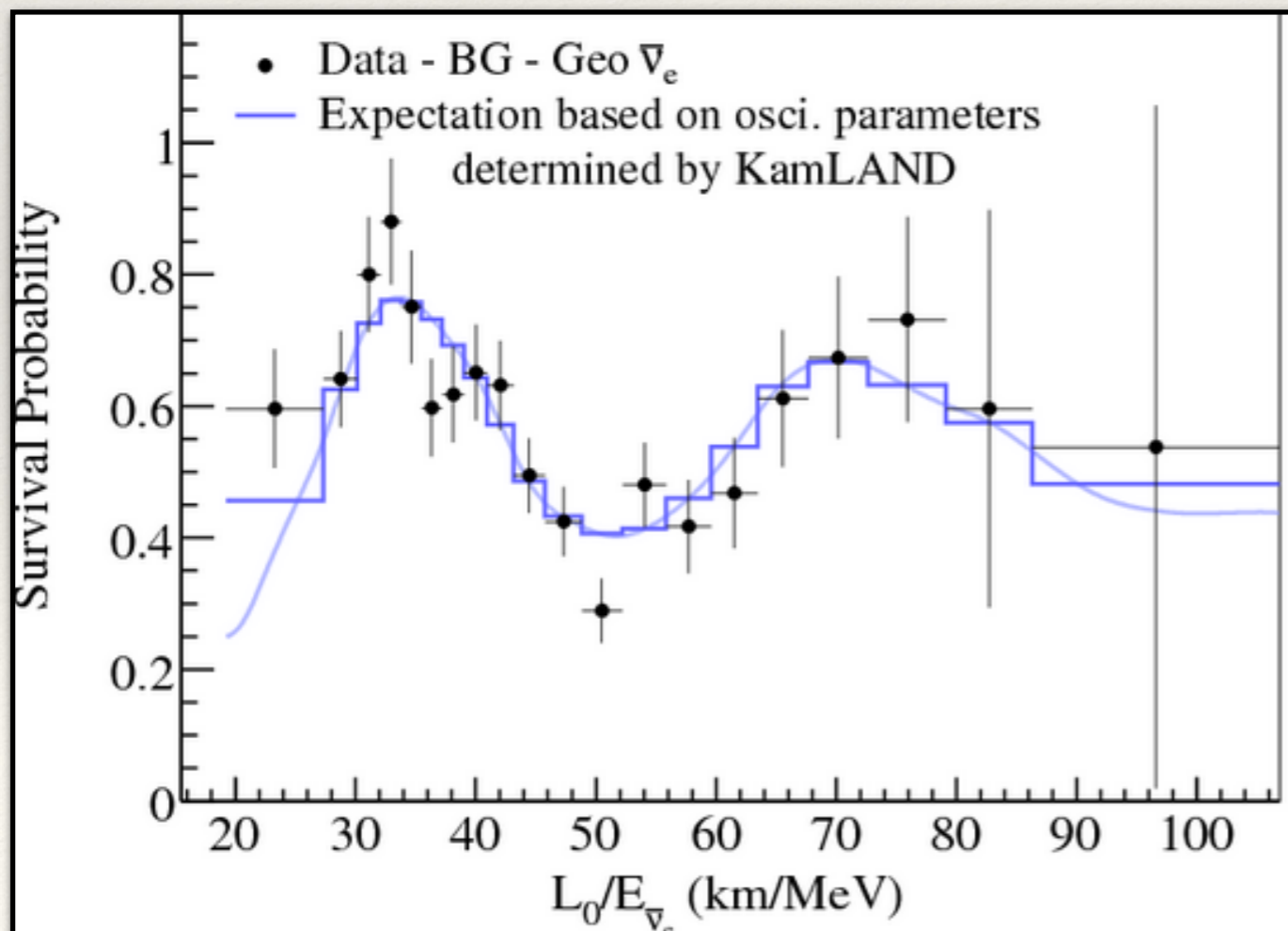
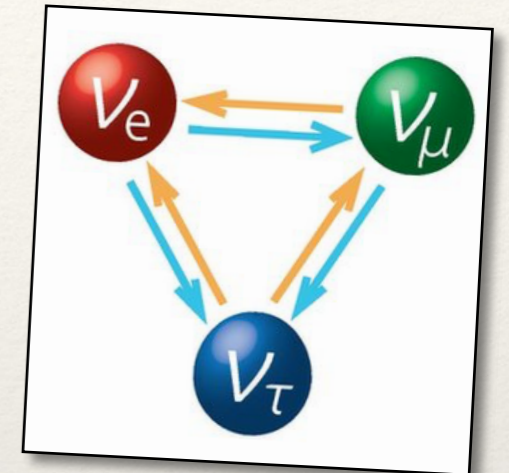


Waar ben ik in geïnteresseerd?

Neutrinos komen in 3 'soorten': electron-, muon-, tau-neutrinos

Neutrino's kunnen van soort veranderen

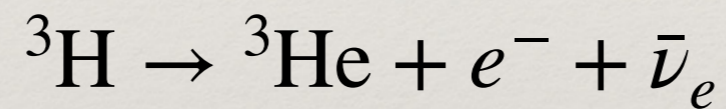
$$P(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) \sim \sin^2 \frac{\Delta m^2 L}{4E}$$



Neutrino's hebben een massa!

Maar we weten nog niet hoe groot precies of hoe die massa's werken

Een model voor neutrino massa's



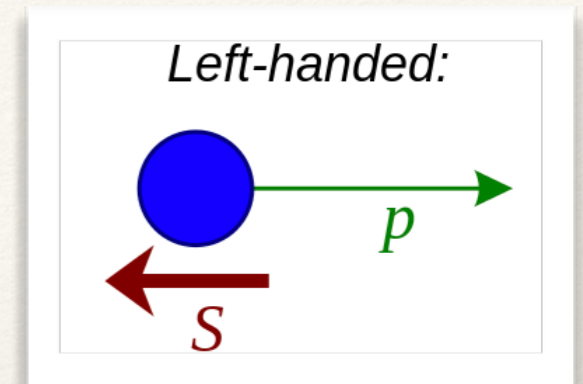
Laatste metingen: neutrino massa kleiner dan miljoenste elektron massa

Hoe werkt dit? Waarom zo klein ?

Het raadsel van neutrino massa's

Alle neutrino's die wij meten zijn 'links-handig' ν_L

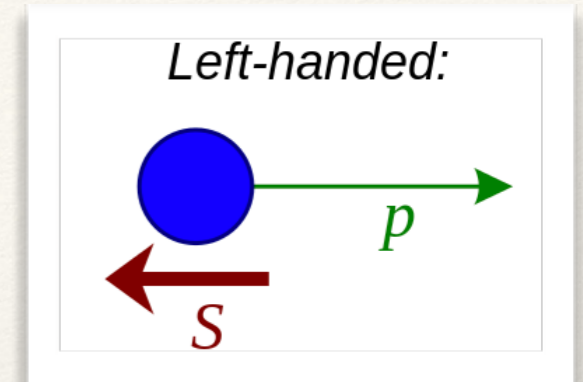
In het 'Standaard-Model' zijn alle neutrinos linkshandig



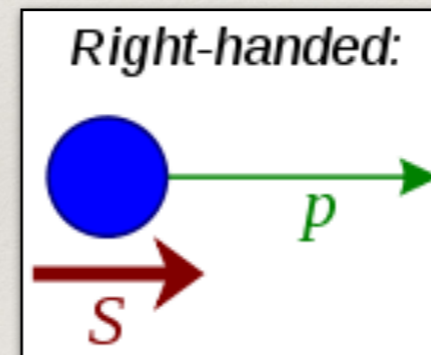
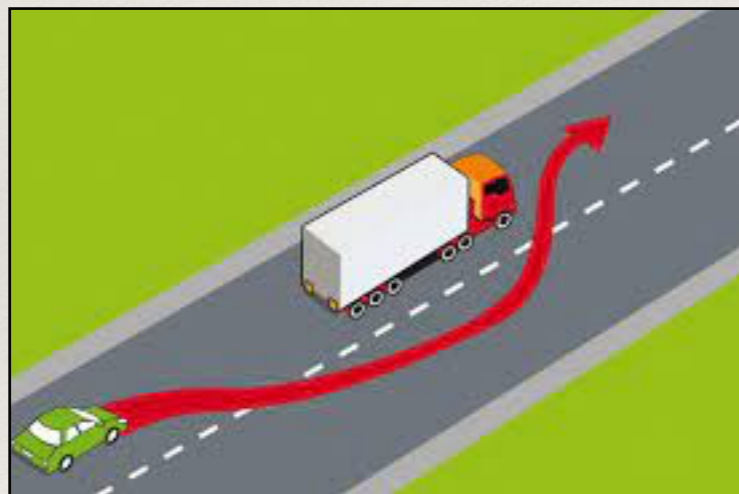
Het raadsel van neutrino massa's

Alle neutrino's die wij meten zijn 'links-handig' ν_L

In het 'Standaard-Model' zijn alle neutrinos linkshandig



Maar als een neutrino massa heeft kunnen we het inhalen (in principe) !



ν_R

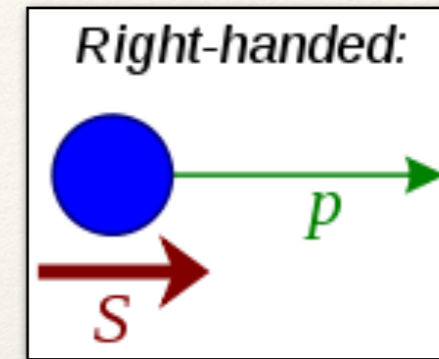
Wij zouden dan een rechtshandig neutrino zien ! Die moet dus wel bestaan !

Steriele neutrino's

Rechtshandige neutrino's voelen **niet eens** de zwakke kracht !

Ze worden daarom '**steriel**' genoemd

Bijzondere deeltjes: geen enkele lading (elektrisch, zwak, of sterk)



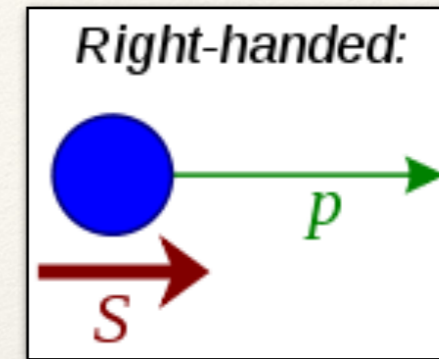
ν_R

Steriele neutrino's

Rechtshandige neutrino's voelen **niet eens** de zwakke kracht !

Ze worden daarom 'steriel' genoemd

Bijzondere deeltjes: geen enkele lading (elektrisch, zwak, of sterk)



ν_R



Neutrinos kunnen hierdoor hun eigen anti-deeltje zijn !

neutrino = anti-neutrino = ' Majorana deeltje '



Ettore Majorana

Een recept voor neutrino massa's

- ❖ Neem 3 linkshandige neutrinos met zwakke interacties
- ❖ Neem 3 rechtshandige steriele neutrinos
- ❖ Voeg een beetje Higgs-veld toe



Een recept voor neutrino massa's

- ❖ Neem 3 linkshandige neutrinos met zwakke interacties
- ❖ Neem 3 rechtshandige steriele neutrinos
- ❖ Voeg een beetje Higgs-veld toe



- ❖ 6 massieve Majorana neutrinos
- ❖ 3 zijn er licht: **die kennen we !**
- ❖ 3 zijn er zwaar: **die kennen we (nog) niet !**

$$m \sim \frac{1}{M} \quad \text{'see-saw' mechanisme}$$



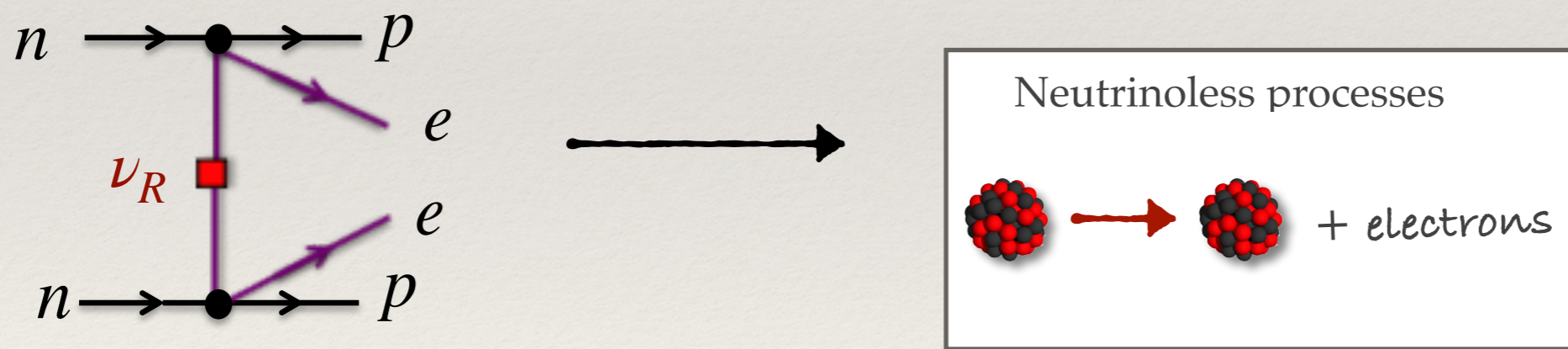
Maar dit is allemaal theorie... Hoe meten we ze ?

- ❖ We weten helaas niet hoe zwaar die steriele neutrinos (ν_R) zijn...
- ❖ In het slechtste geval zijn ze heel zwaar $M \sim 10^{15}$ proton massa
- ❖ Kunnen we **niet maken** in een lab (energie bij LHC $\sim 10^4$ proton massa)

Maar dit is allemaal theorie... Hoe meten we ze ?

- ❖ We weten helaas niet hoe zwaar die steriele neutrinos (ν_R) zijn...
- ❖ In het slechtste geval zijn ze heel zwaar $M \sim 10^{15}$ proton massa
- ❖ Kunnen we **niet maken** in een lab (energie bij LHC $\sim 10^4$ proton massa)

Quantummechanica en Majorana to the rescue !

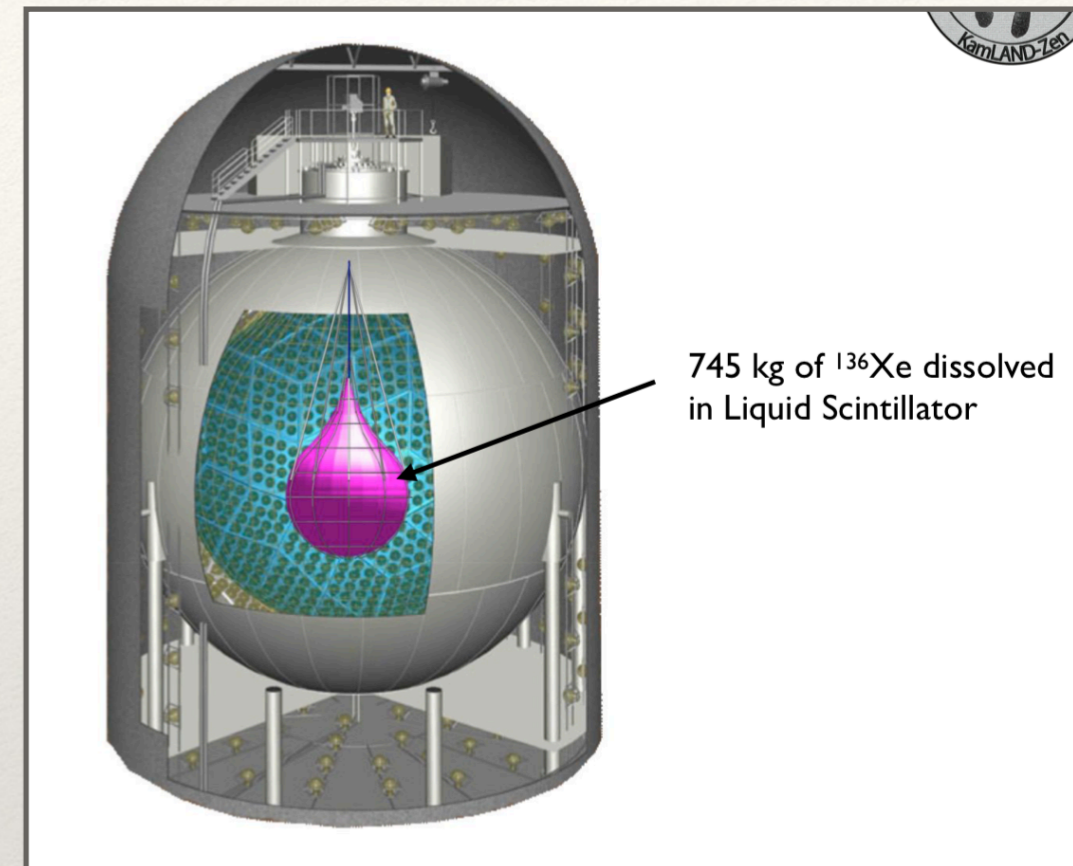
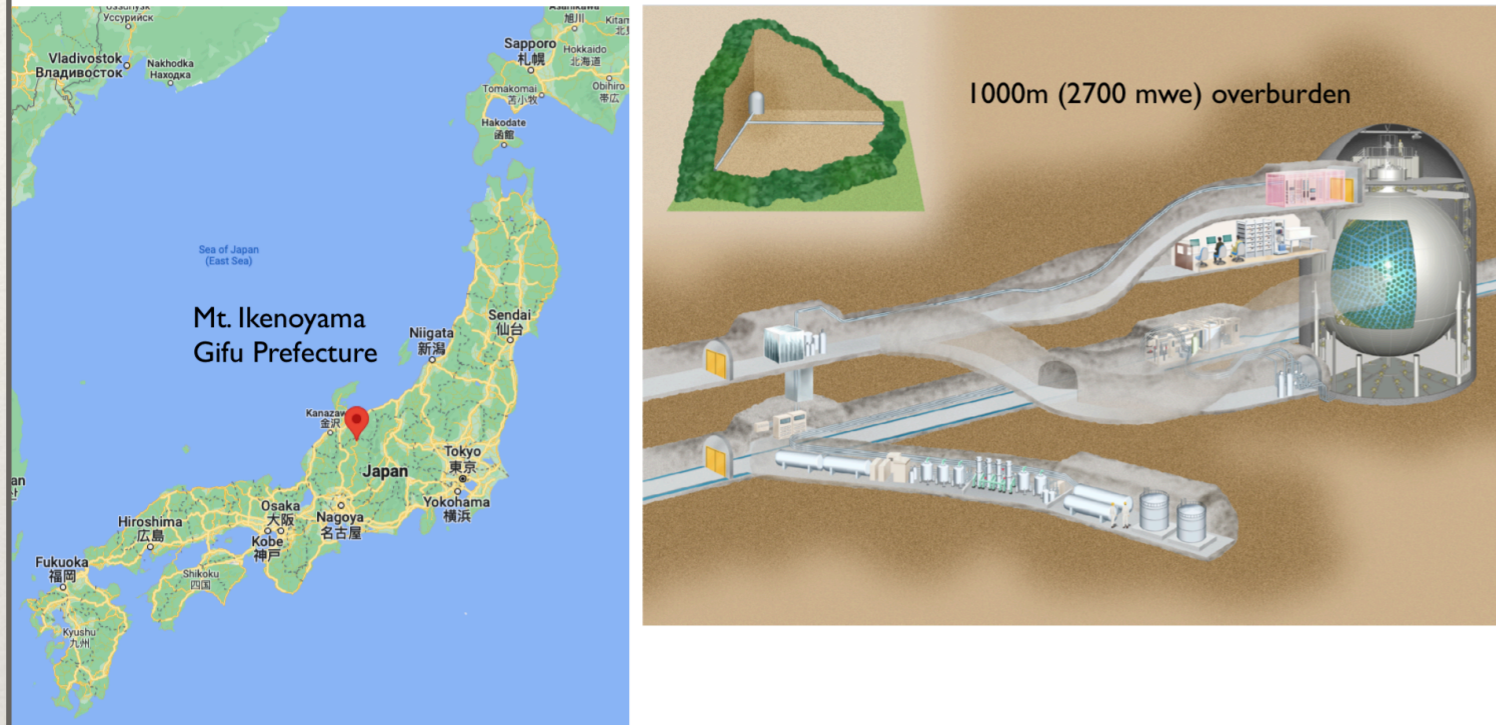


Hoe zwaar ook, ze laten een voetafdruk achter in zeldzame processen

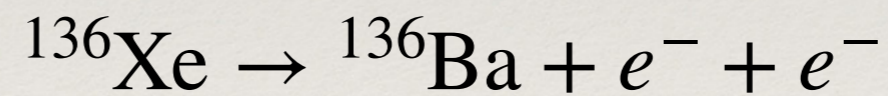
Dit proces heet 'neutrinoless double beta' verval

Neutrinoless double beta

KamLAND-Zen at Kamioka in Japan



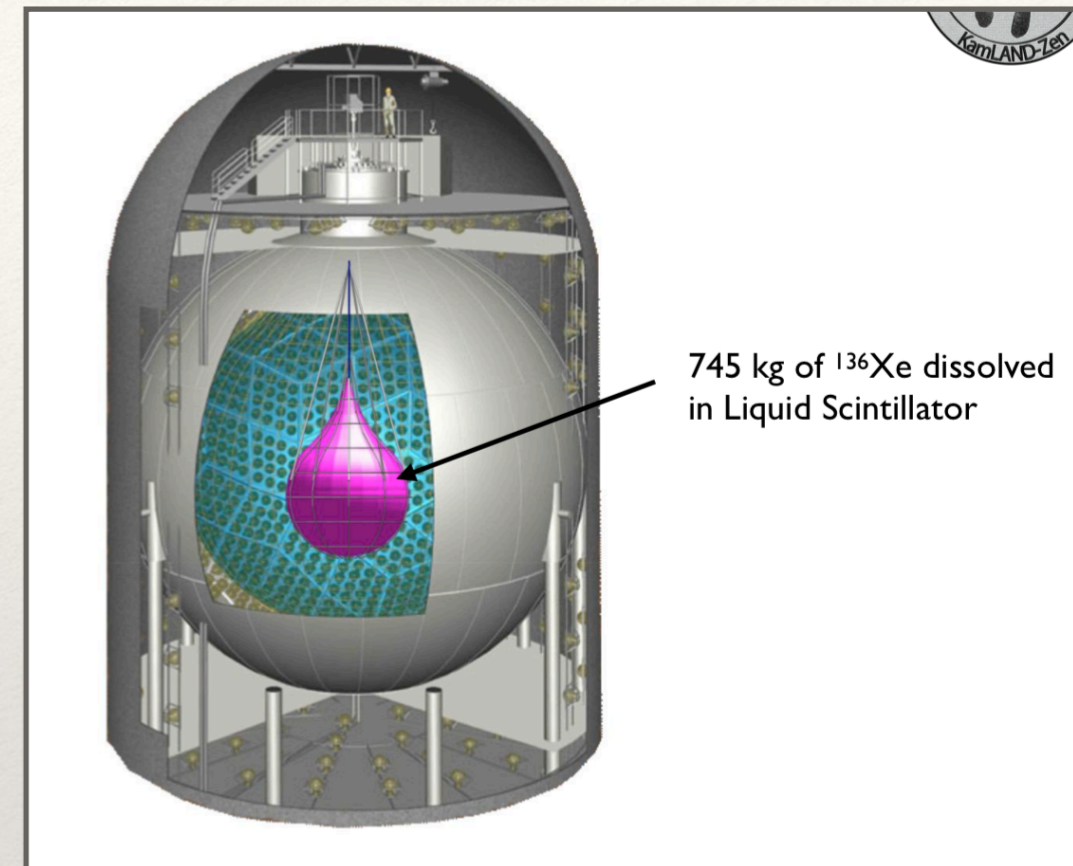
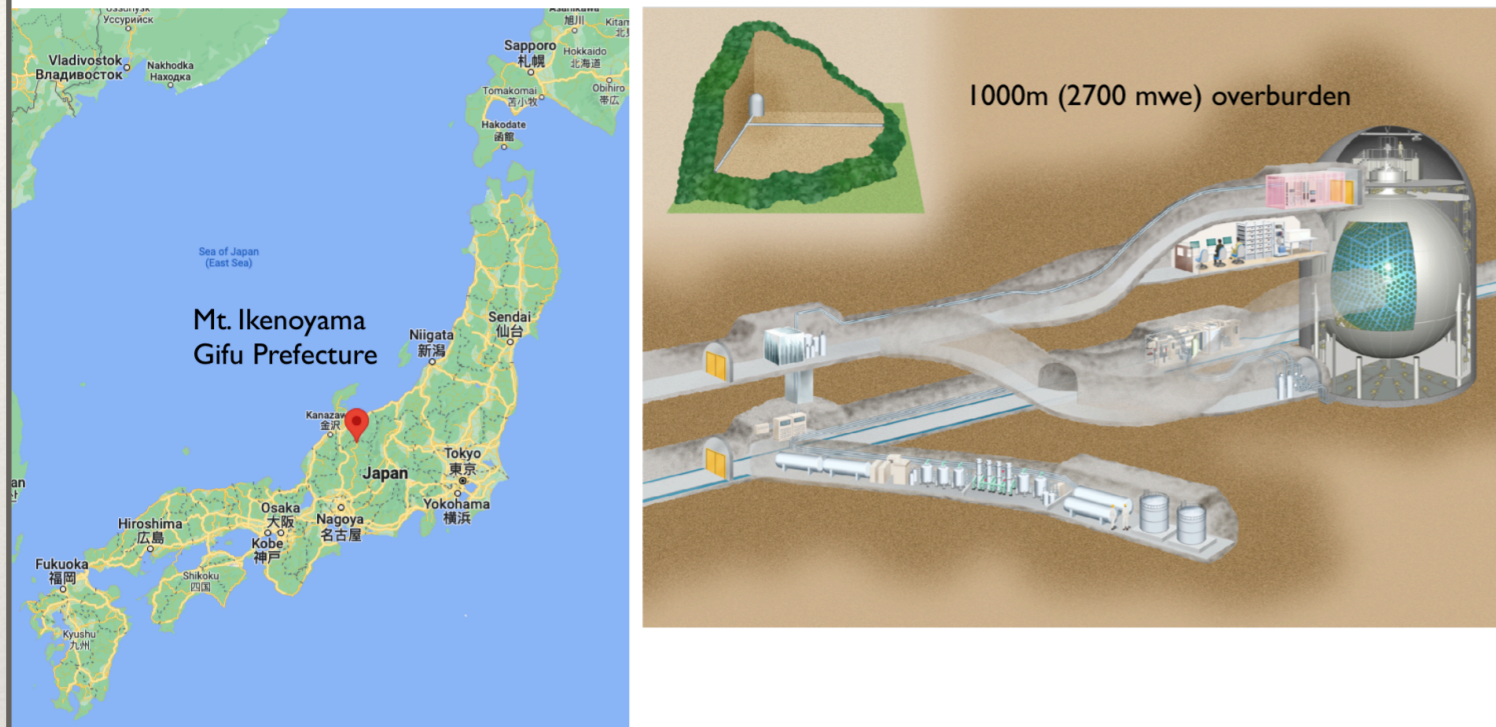
Zoeken naar:



Nog nooit gemeten !! Levensduur van dit proces $> 2.3 \times 10^{26}$ jaar

Neutrinoless double beta

KamLAND-Zen at Kamioka in Japan



Zoeken naar:



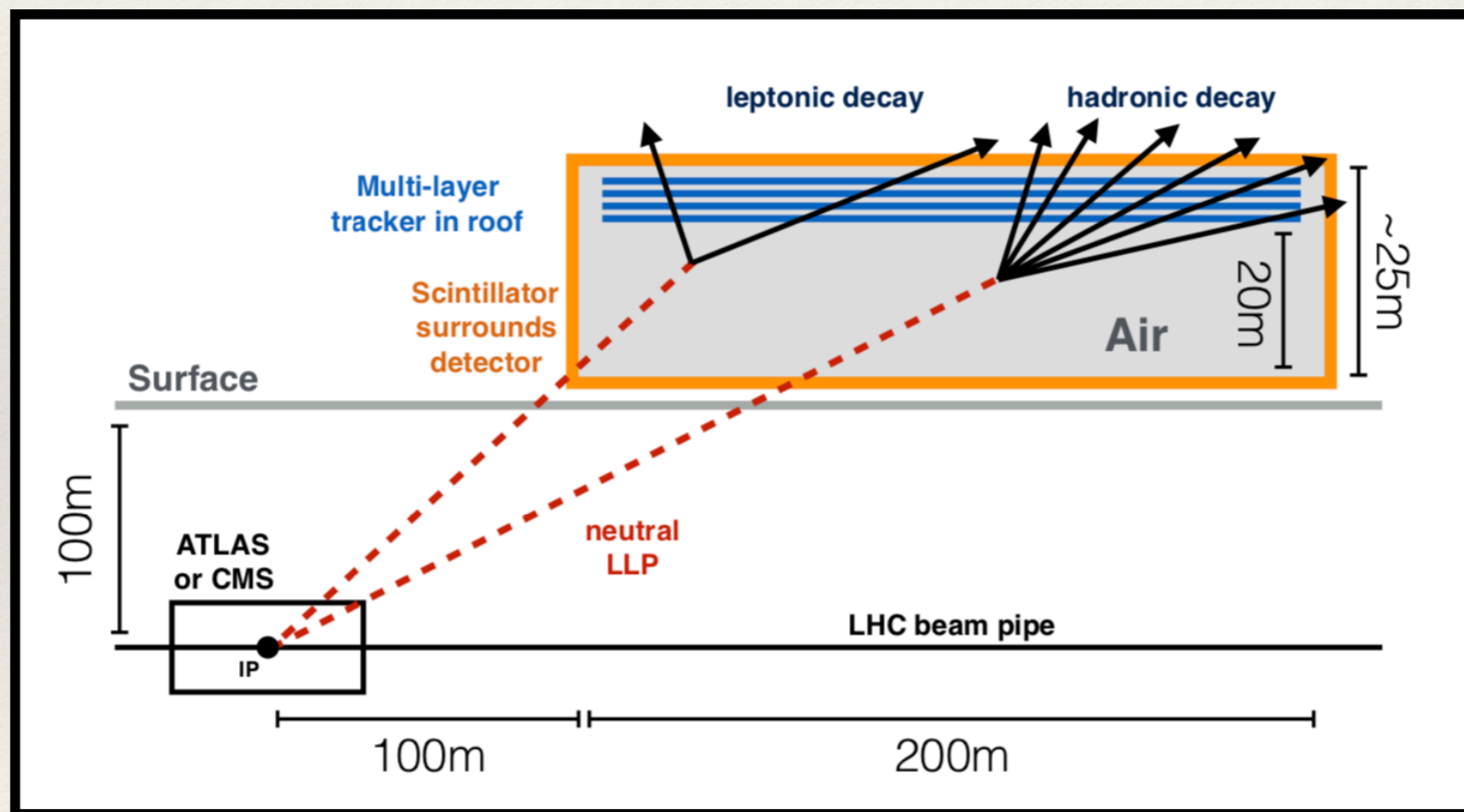
Nog nooit gemeten !! Levensduur van dit proces $> 2.3 \times 10^{26}$ jaar

Testen: Neutrinos Majorana vereist meten tot $\sim 10^{28-30}$ jaar

Verschillende nieuwe experimenten in opbouw!

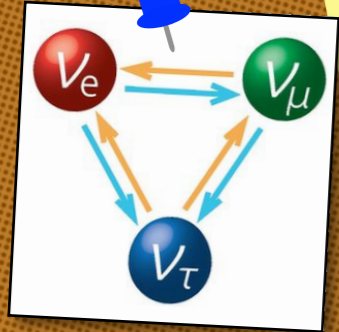
Lichtere steriele neutrino's

- ❖ Als ze lichter zijn kunnen we ze wel maken !
- ❖ Maar ze leven vrij lang en ontsnappen `normale' detectoren



- ❖ Komende jaren enorme focus op nieuwe experimenten !

The evidence board



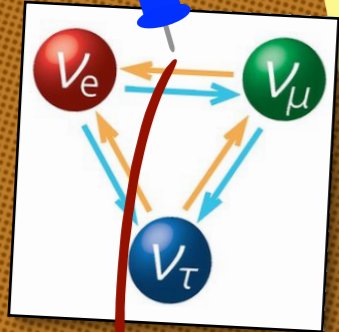
wat geeft
neutrinos mass?

Suspect

ν_R

Het ongreijpbare
steriele neutrino

The evidence board

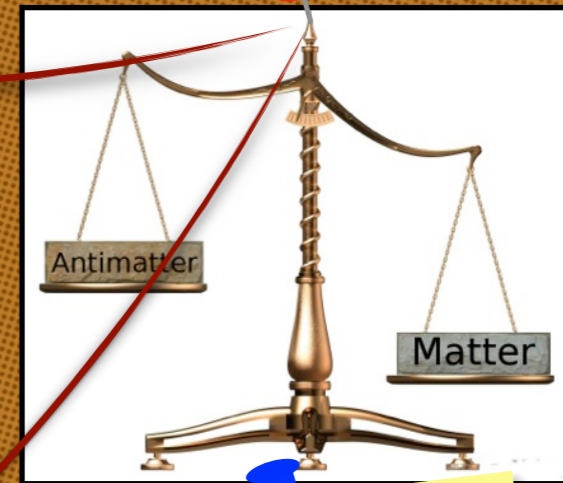


wat geeft
neutrinos mass?

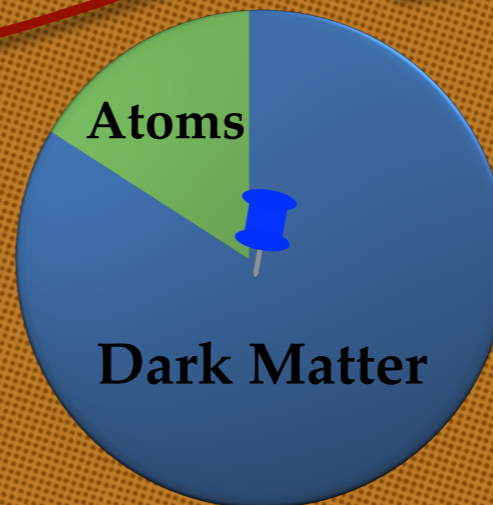
Suspect
 ν_R

Het ongreijpbare
steriele neutrino

wat is donkere
materie



waar is de
anti-materie?



Nikhef Masterclass

- ❖ Internationale masterclass voor bovenbouw leerlingen
- ❖ Zelf botsingen tussen elementaire deeltjes besturen met LHC data
- ❖ Dinsdag 28 maart (13:00-17:00) — Gratis
- ❖ Aanmelden via nikhef.nl (of mail mij)

