

# ნეიტრინული ასტრონომია

გიორგი ქისტაური  
თსუ 2020

# შინაარსი

- შესავალი
- ისტორია
- ნეიტრინოს წყაროები
- კოსმოსური წყაროები
- ნეიტრინოს დეტექტირება
- დეტექტორები
- ნეიტრინული ტელესკოპები

# შესავალი

ნაწილაკების კლასიფიკაცია  
სტანდარტული მოდელის  
მიხედვით

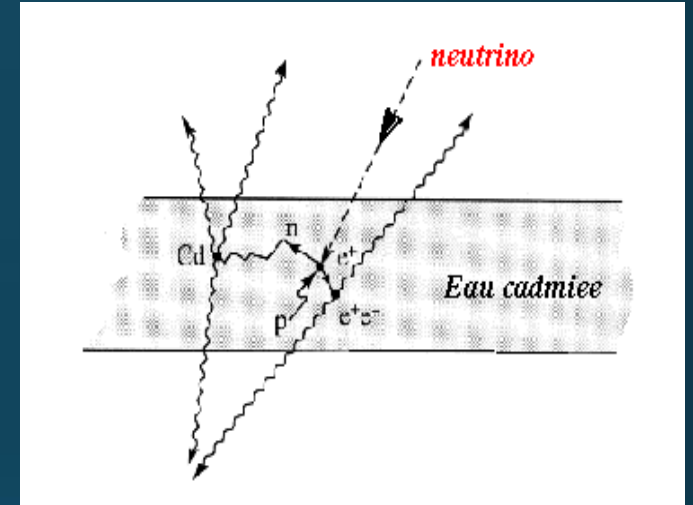
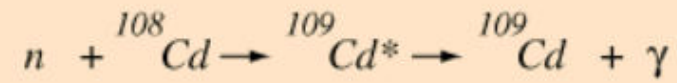
ურთიერთქმედების სიმძლიერე:  
გრავიტაცია - 1  
სუსტი -  $10^{25}$   
ძლიერი -  $10^{38}$   
ელექტრომაგნიტური -  $10^{36}$

QUARKS	mass → charge → spin →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>u</b> up	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>c</b> charm	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>t</b> top	0 0 1 <b>g</b> gluon	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 0 <b>H</b> Higgs boson
		$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ <b>d</b> down	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ <b>s</b> strange	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ <b>b</b> bottom	0 0 1 <b>γ</b> photon	
		$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ <b>e</b> electron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ <b>μ</b> muon	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $1/2$ <b>τ</b> tau	0 1 <b>Z</b> Z boson	
		$< 2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $1/2$ <b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ <b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ <b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	$80.4 \text{ GeV}/c^2$ $\pm 1$ 1 <b>W</b> W boson	
LEPTONS					GAUGE BOSONS	

# ისტორია

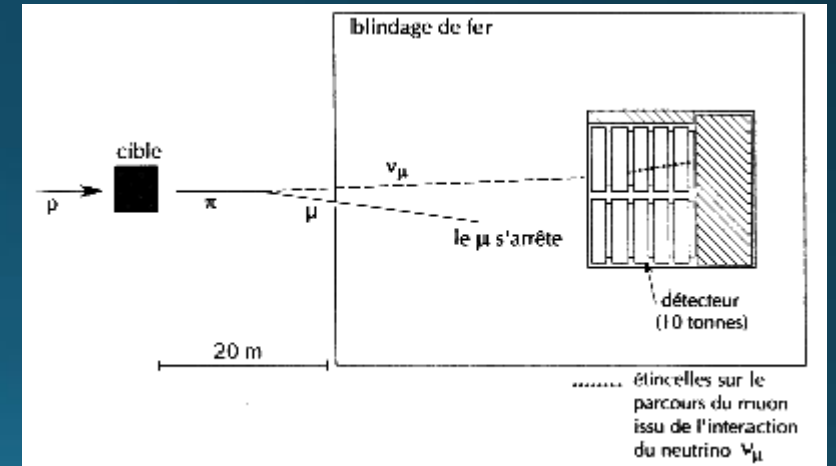
1. Cowan – Reines (1956)  
(სცინტილატორები):

$$\bar{\nu}_e + p^+ \rightarrow n^0 + e^+$$

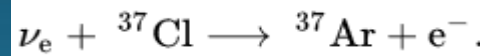


2. Lederman, Schwartz,  
Steinberger (1962)

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + (\nu/\bar{\nu})$$



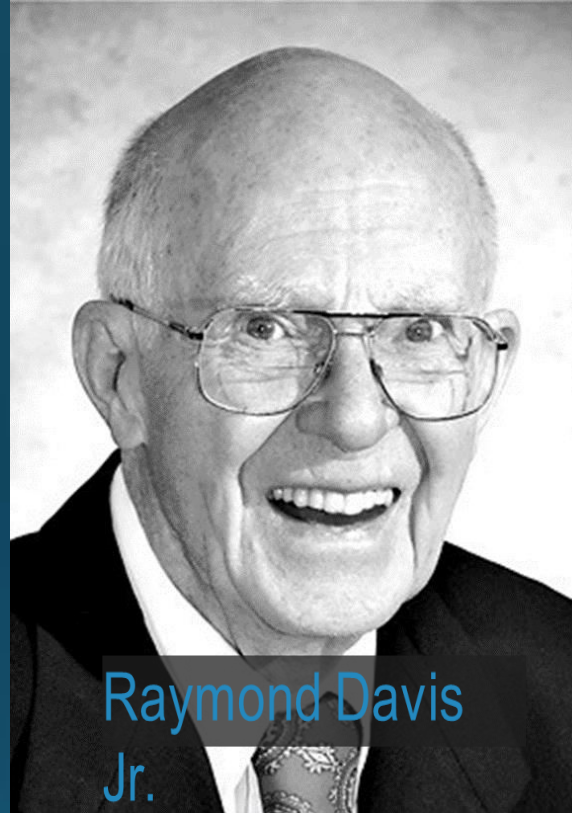
3. Raymond Davis (1968)





Ricardo Giacconi

“for pioneering contributions to astrophysics, which have led to the discovery of cosmic X-ray sources”



Raymond Davis  
Jr.

“for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the **detection of cosmic neutrinos**”

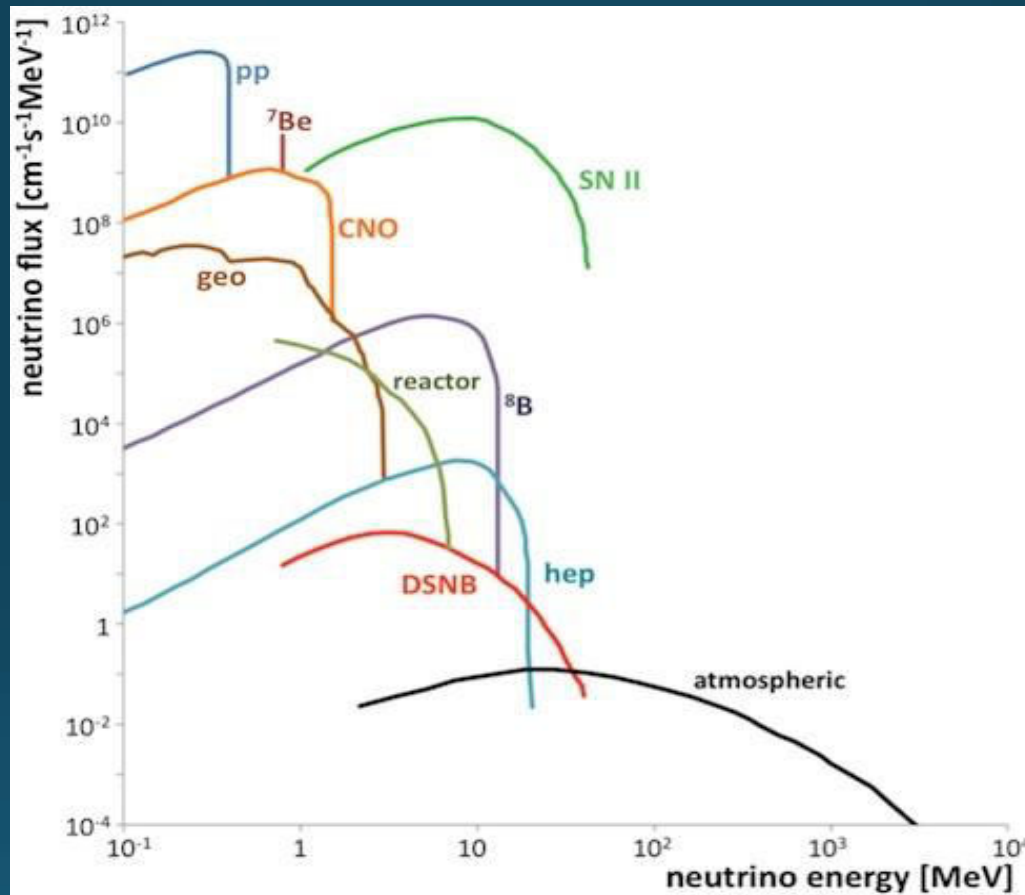


Masatoshi Koshiba

# ნეიტრონოს წყაროები

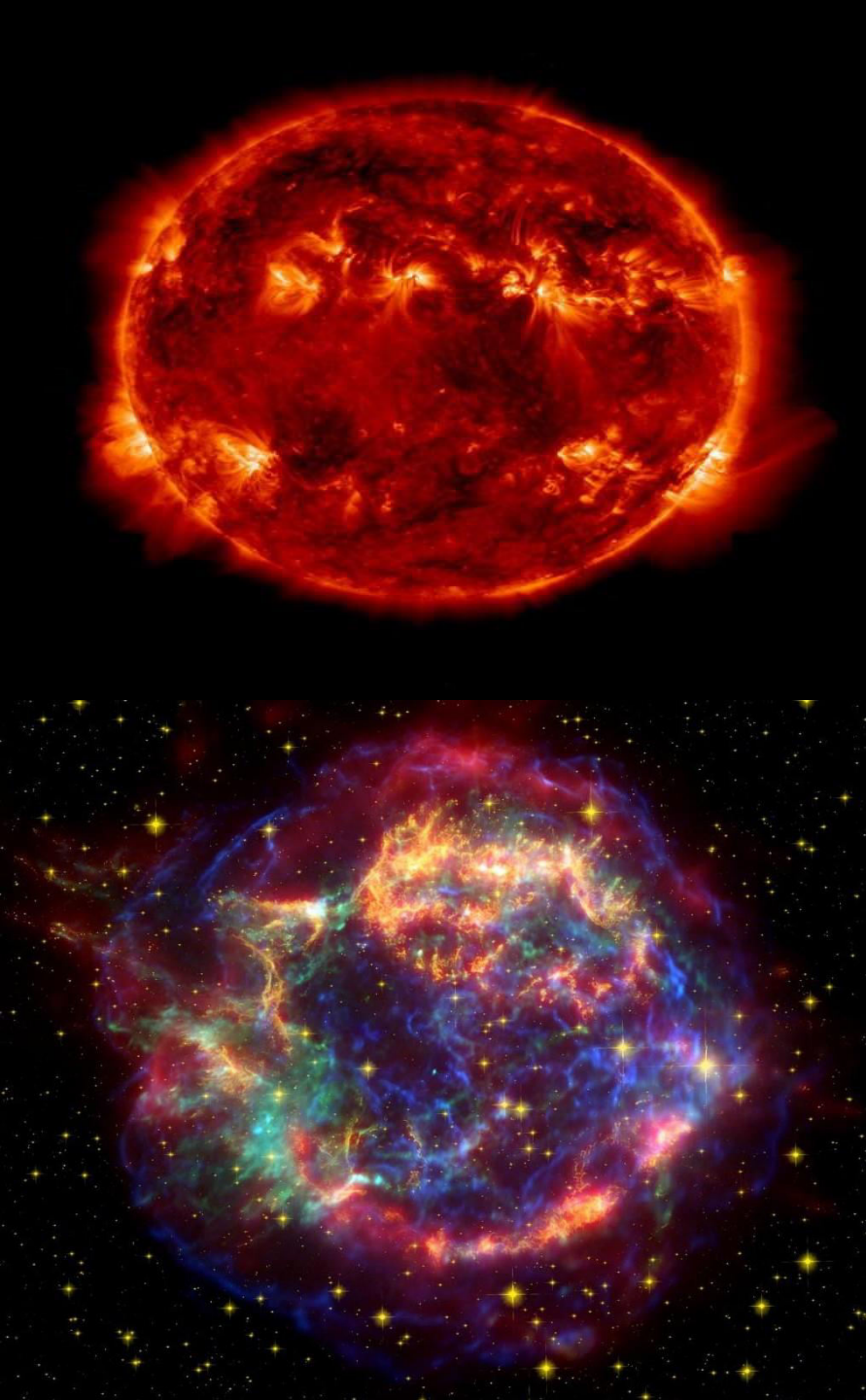
- ბირთვების ან ადრონების ბეტა-დაშლა
- ამაჩქარებლები, ბირთვული რეაქტორები
- კოსმოსური სხივების ურთერთქედება ატომებთან
- ბირთვული რეაქციები ვარსკვლავების ბირთვებში
- ზეახალის აფეთქება

# ნეიტრინოს წყაროები



0.1 – 10<sup>4</sup> MeV ენერგიის  
ნეიტრინოების სპექტრი.



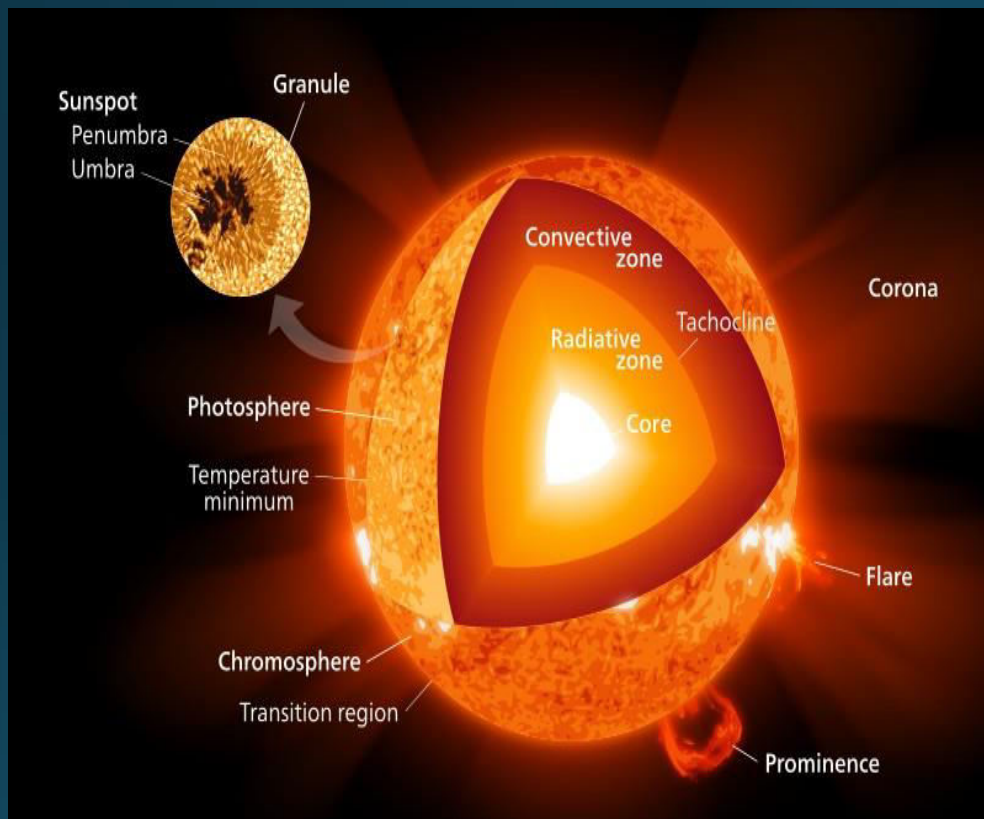


# კოსმოსური ნეიტრინოს წყაროები

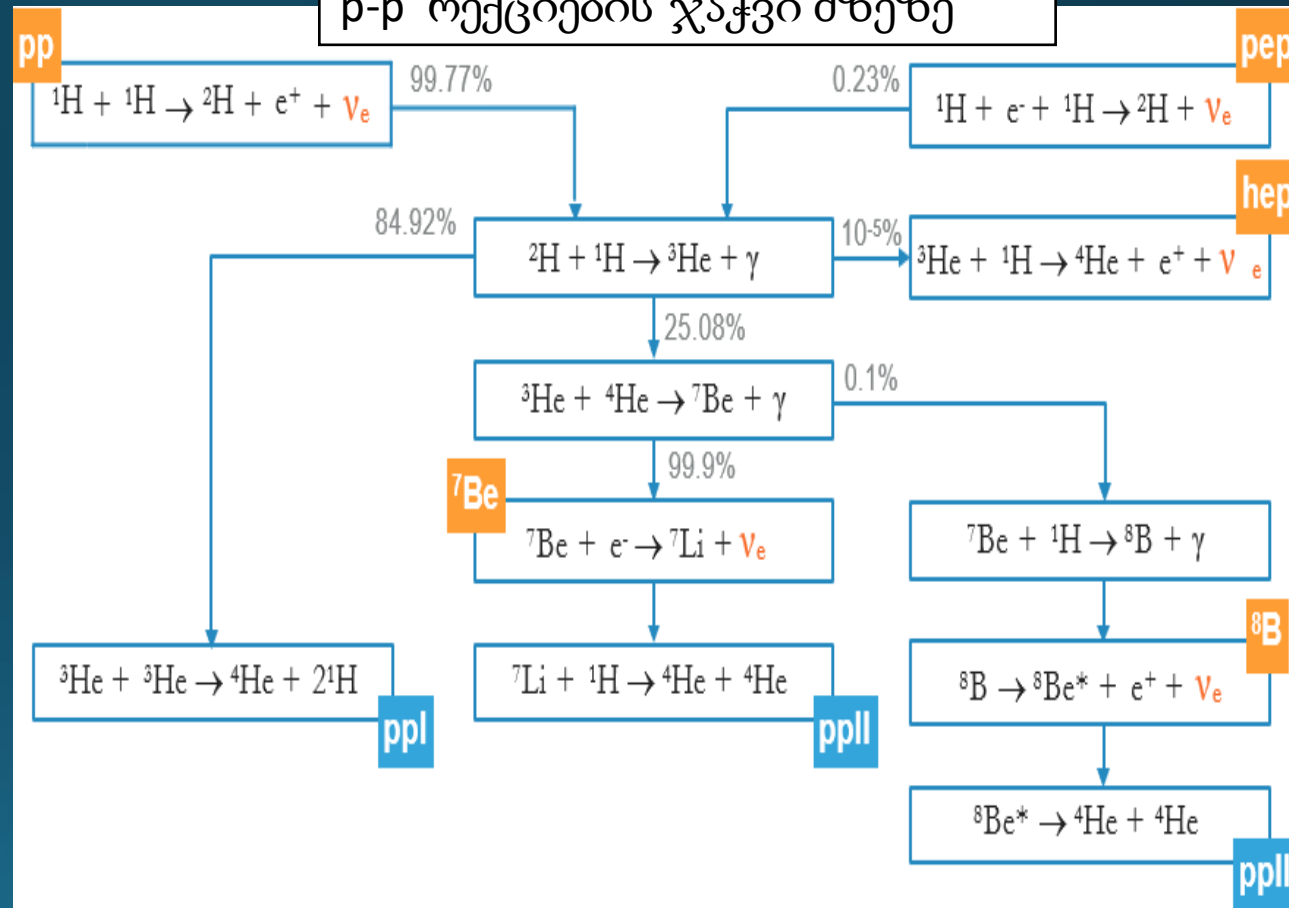
- მზე
- ზეახალის აფეთქება



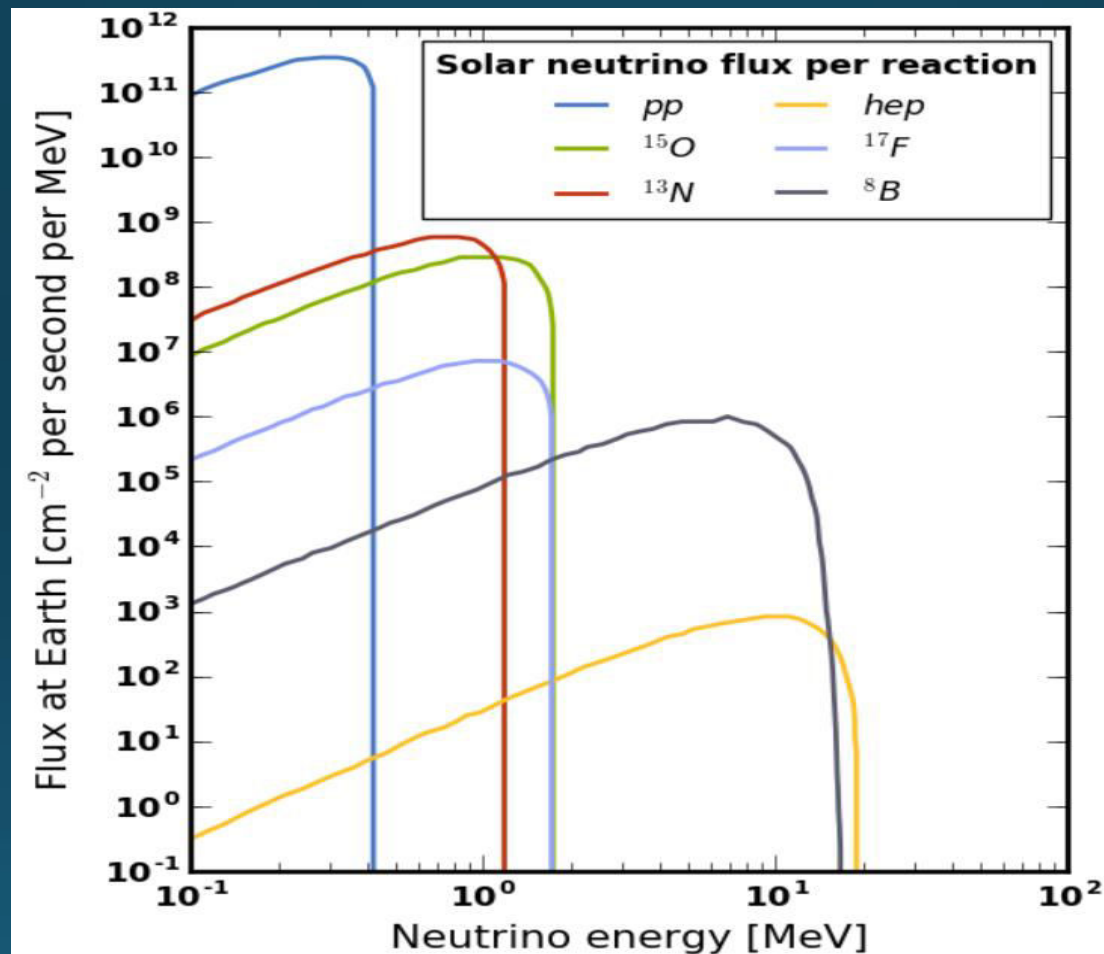
# მზე



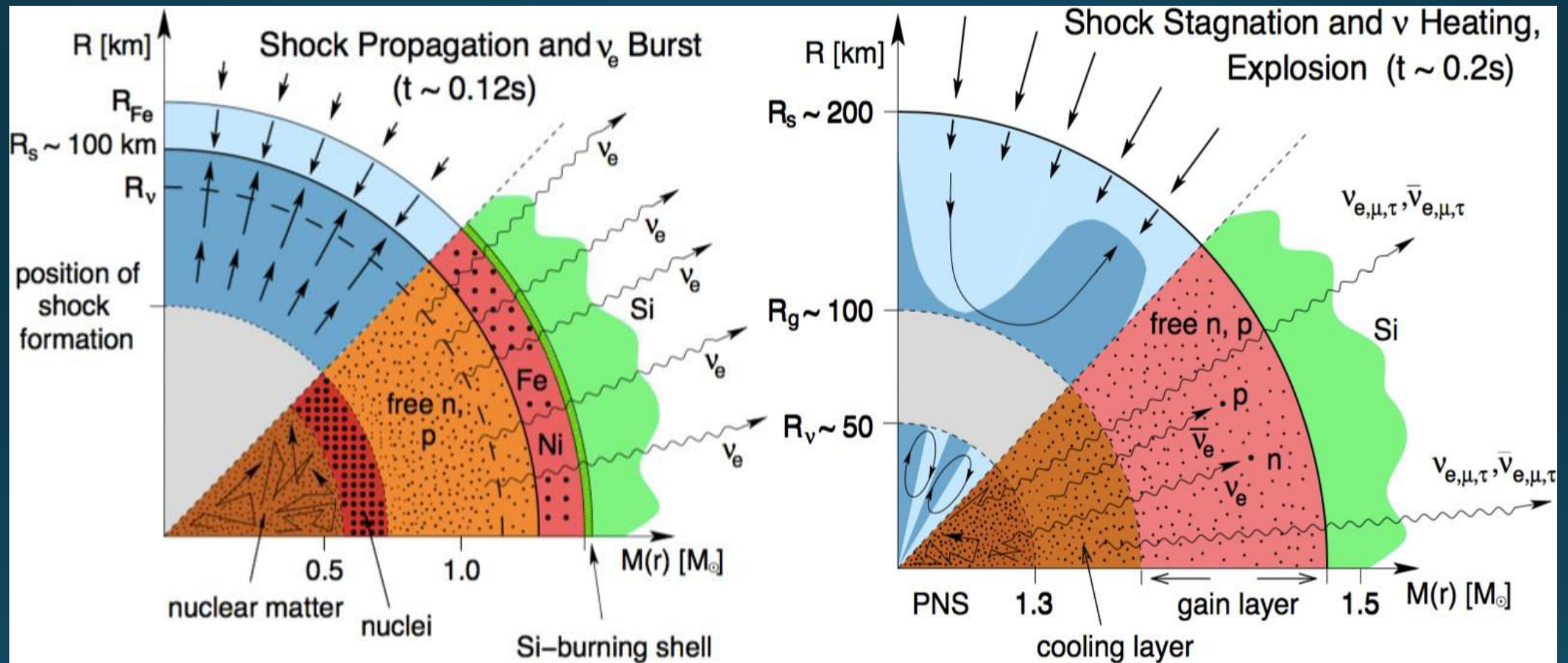
## p-p რექციების ჯაჭვი მზეზე



# მზე



მზიდან წამოსული ნეიტრინოების ნაკადი დედამიწაზე

$$p^+ + \gamma \rightarrow \Delta^+ \rightarrow (n) + \pi^+ \rightarrow \nu_\mu + \mu^+ \rightarrow \nu_\mu + e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$


# ნეიტრინოს დეტექტირება

თეორია:

აღმოჩენის მეთოდი - სუსტი ურთერთქმედება

- **ნეიტრალური დენი ( $NC - Z$  ბოზონი)** - მაგ. დეიტერიუმის დაშლა. ნეიტრინოს თაობის დადგენა შეუძლებელია.
- **დამუხტული დენი ( $CC - W$  ბოზონი)** - გადასვლა შესაბამის დამუხტულ ლეპტონში, ნეიტრინოს თაობის დადგენა შესაძლებელია.
- **დრეკადი გაბნევა** - მაგ. ელექტრონზე - რასაც ახლავს ჩერენკოვის გამოსხივება

# ნეიტრონოს დეტექტირება

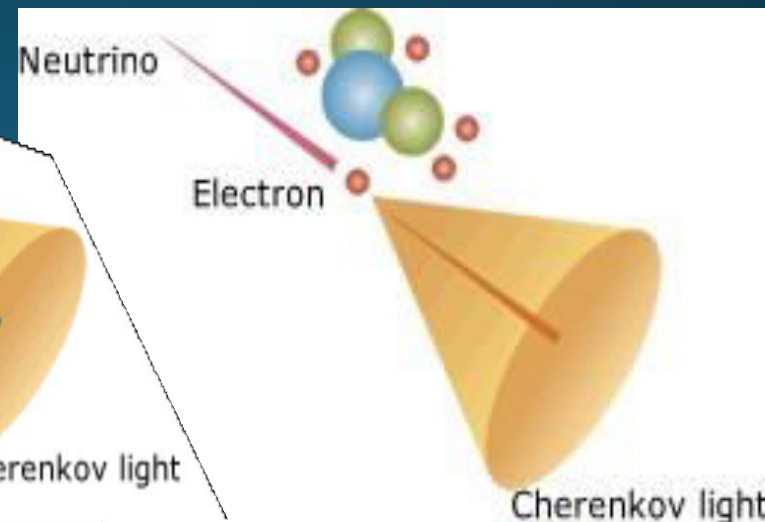
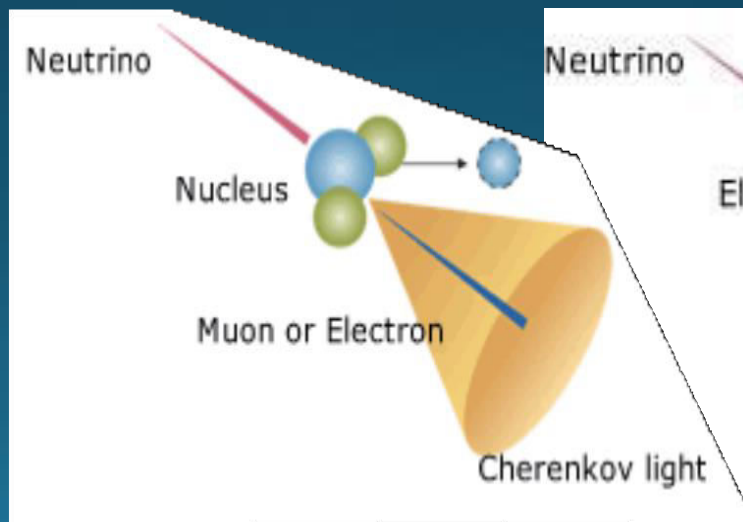
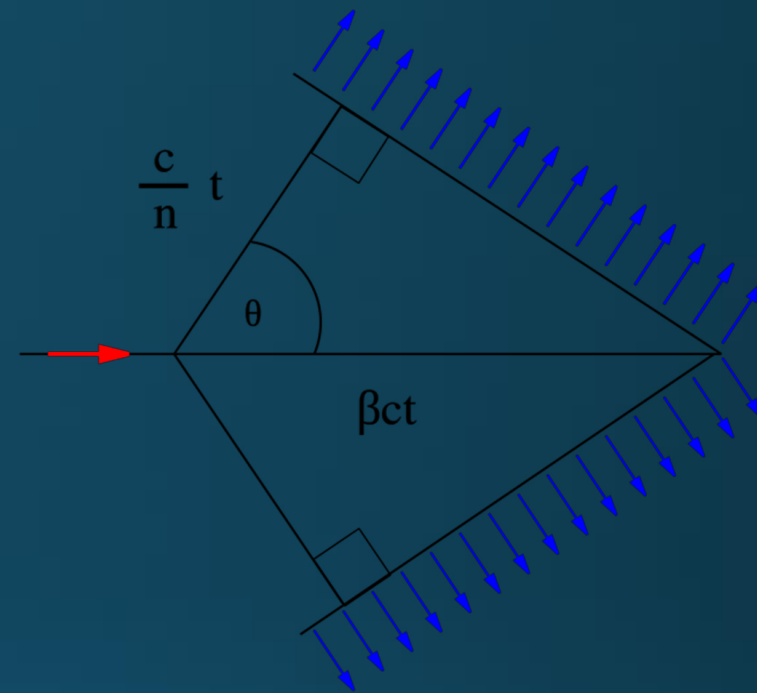
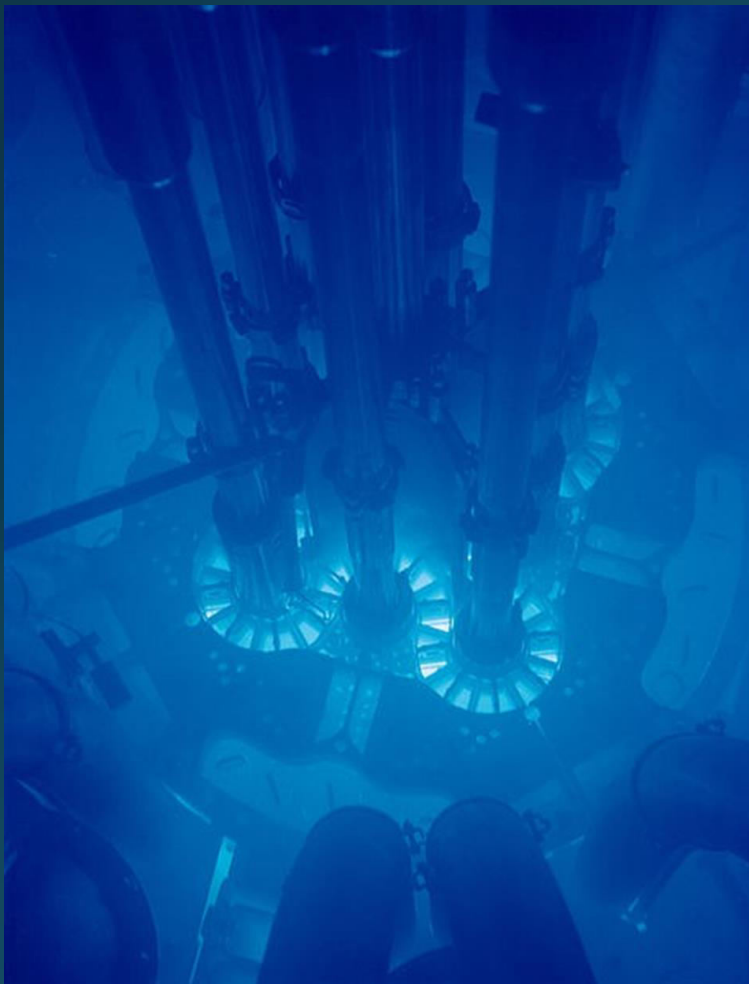
მეთოდები:

- სცინტილატორები (Cowan–Reines, Borexino, NOvA(FermiLab))
- რადიოქიმიური მეთოდი (Davis, Gallex)
- ჩერენკოვის მთვლელები (SuperKamiokande, Antares, IceCube, SNO)

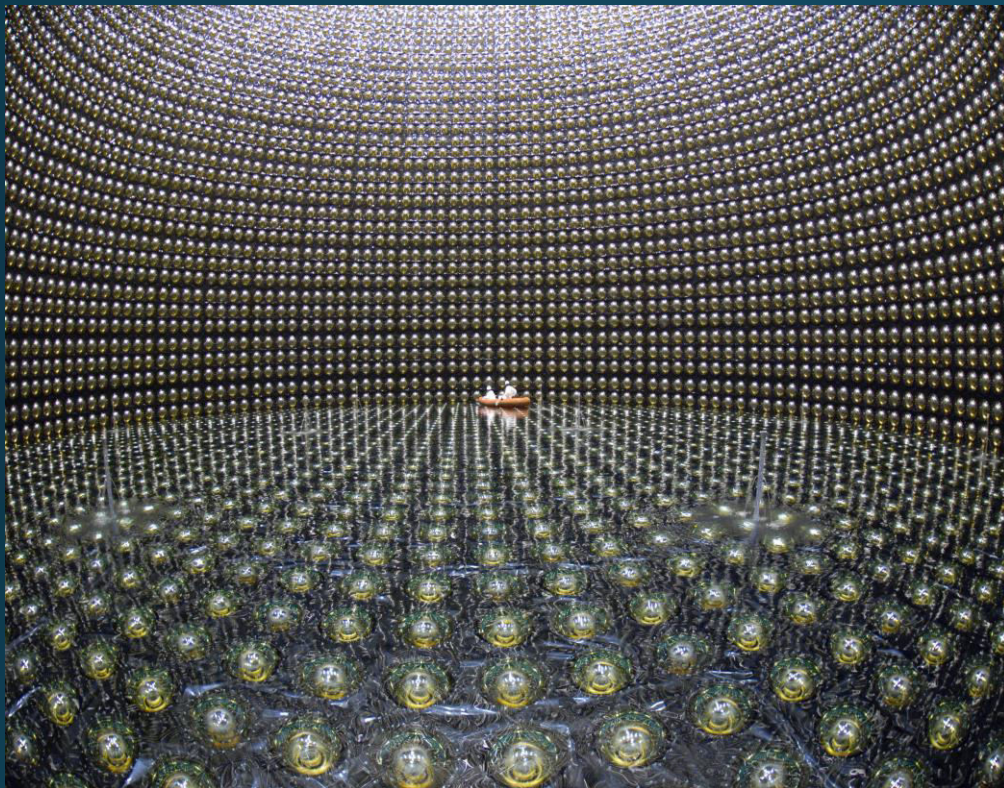


# Super-Kamiokande

ჩერენკოვის გამოსხივება





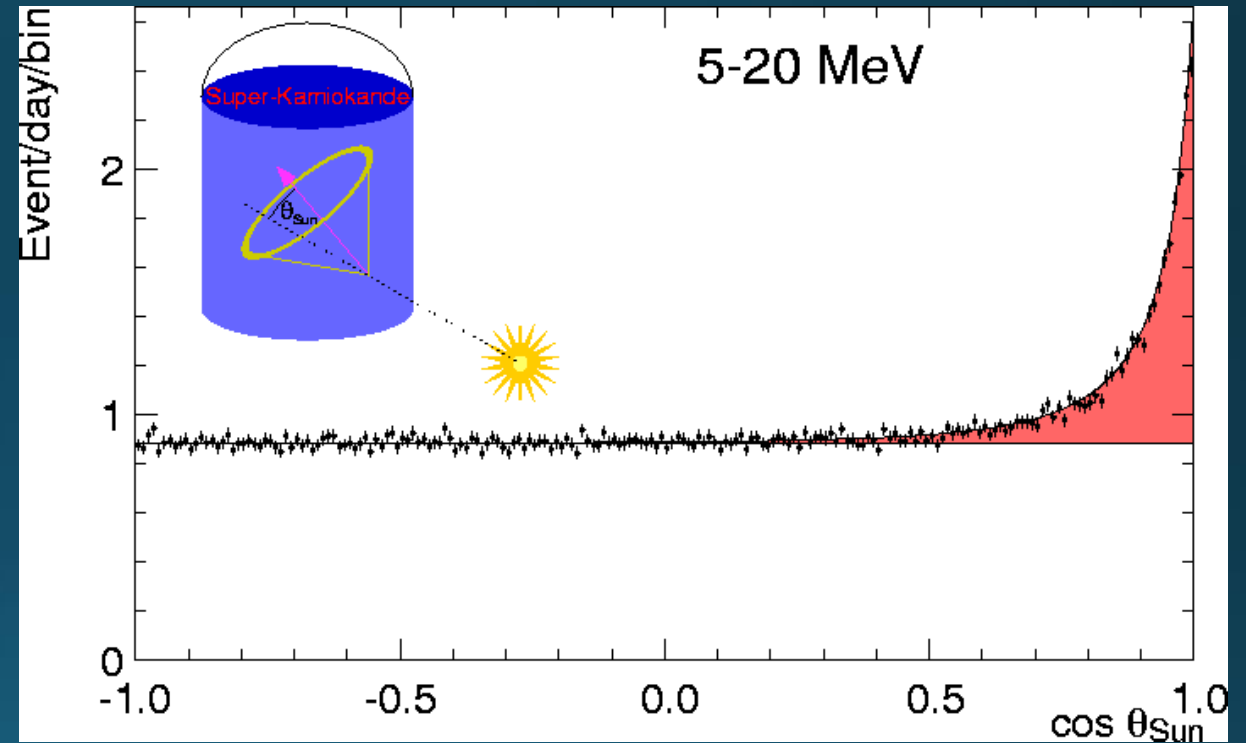
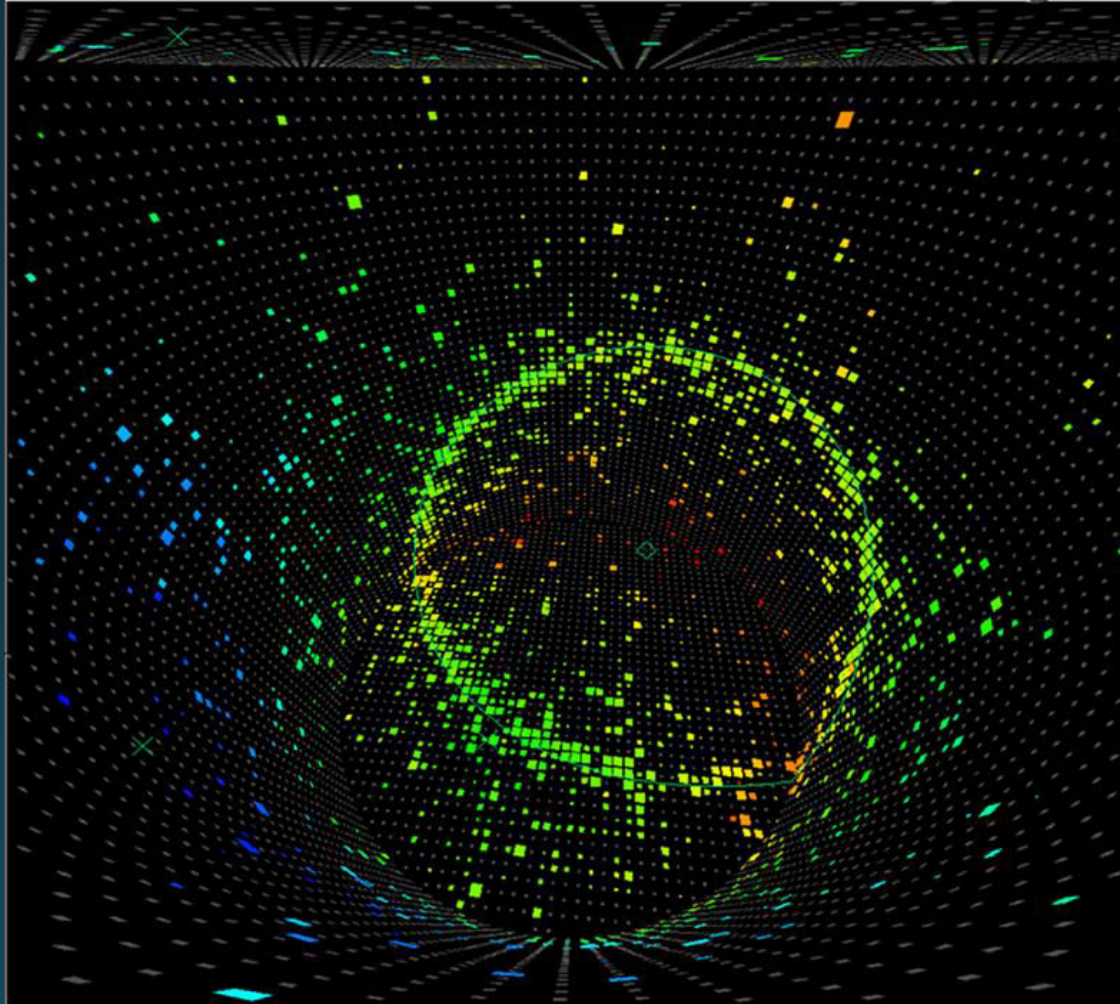


დეტექტორი:  
სიმაღლე 42 მ  
დიამეტრი 39 მ  
50 კტ. H<sub>2</sub>O



13 000  
ფოტო-დეტექტ. .

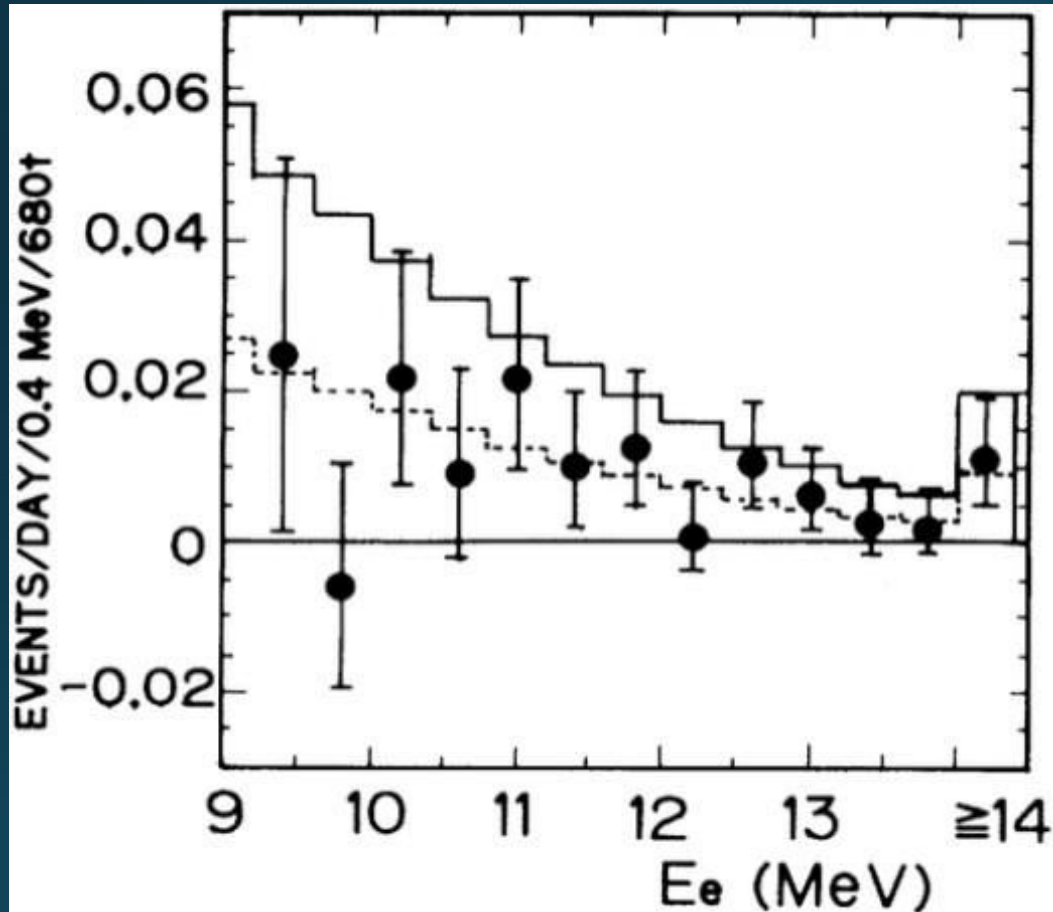
# Super-Kamiokande



აღდგენილი ნეიტრინული შემთხვევების  
მიმართულების გადახრა მზის მდებარეობიდან.  
( $22\,400 \pm 200$  ნეიტრინული შემთხვევა 1496 დღეში)



# Super-Kamiokande



$$\frac{\text{KAM-II data}}{\text{SSM}} = 0.46 \pm 0.13(\text{stat.}) \pm 0.08(\text{syst.})$$

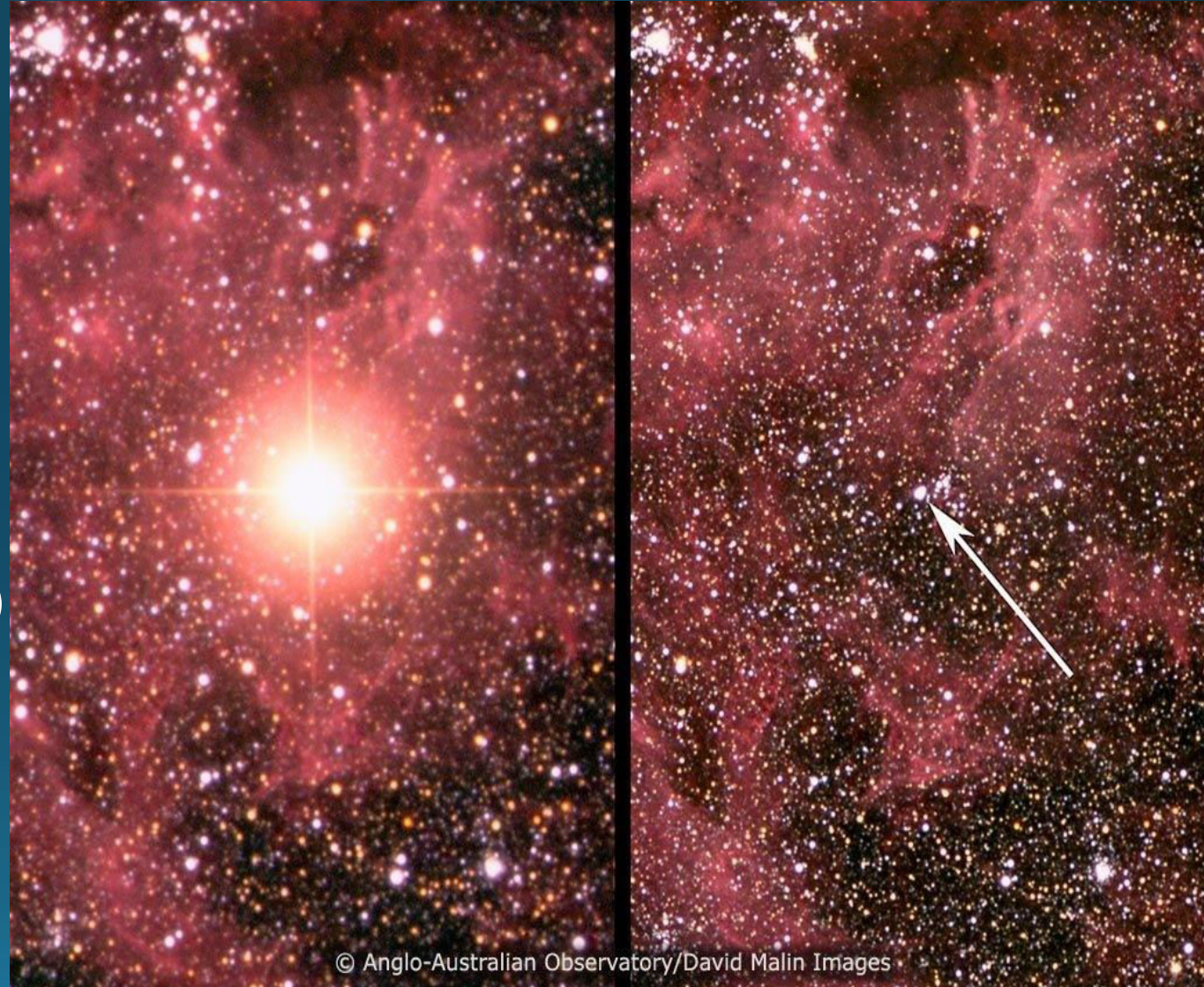
მზიდან მიღებული ნეიტრინოები და  
ჰისტოგრამა სტანდარტული მოდელის  
გათვალისწინებით.

დევისის ექსპერიმენტის მსგავსად აქაც ჩანს  
ნეიტრინოების დეფიციტი.

# Super-Kamiokande

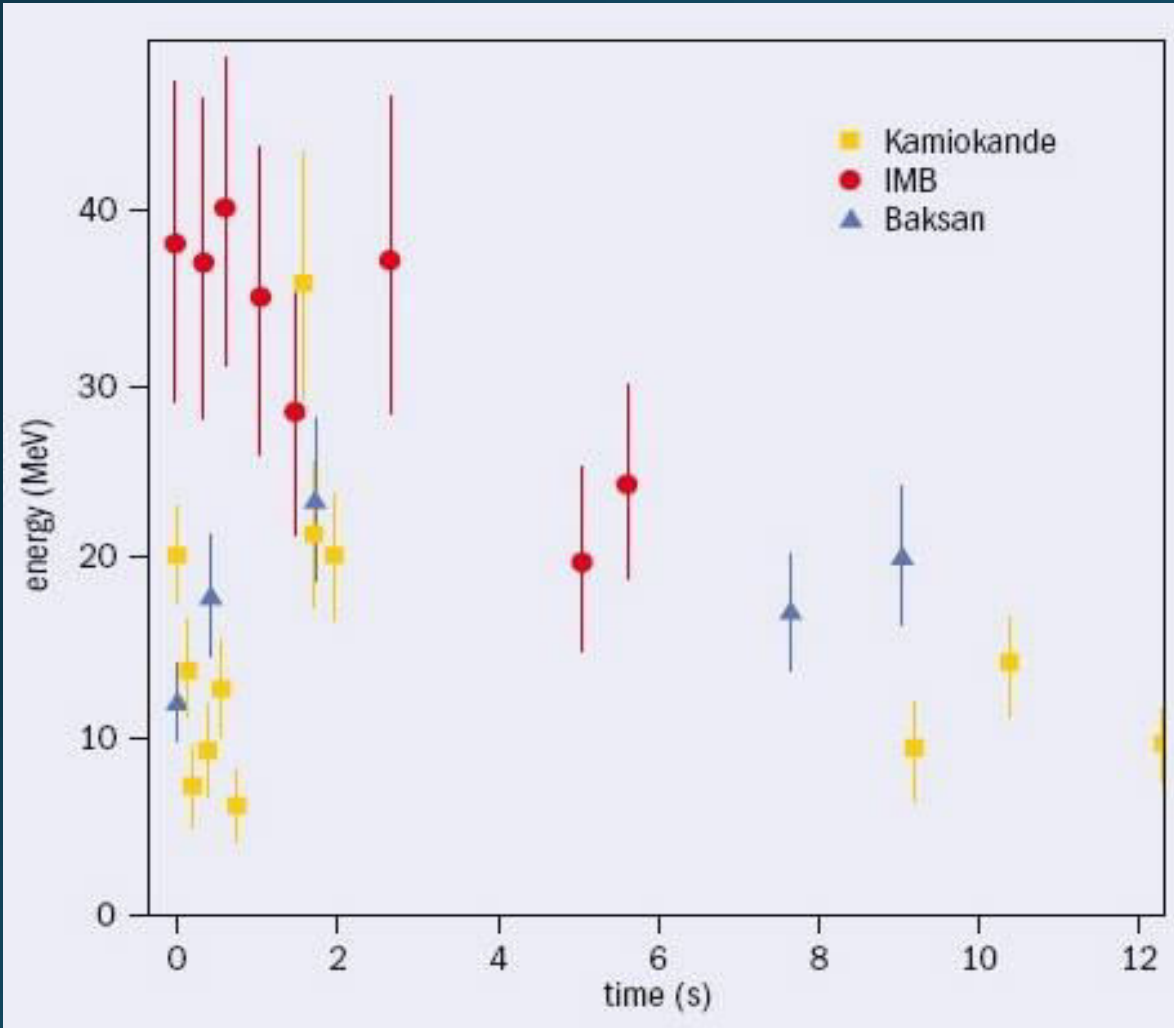
## ზეახალი SN1987A

- ▶ **Type** Type II (peculiar)
- ▶ **Host galaxy** Large Magellanic Cloud
- ▶ **Distance** 167,885 light-years
- ▶ **Discovery** 24 Feb. 1987 (23:00 UTC)



23 თებერვალი 1987  
07:35 (UT)

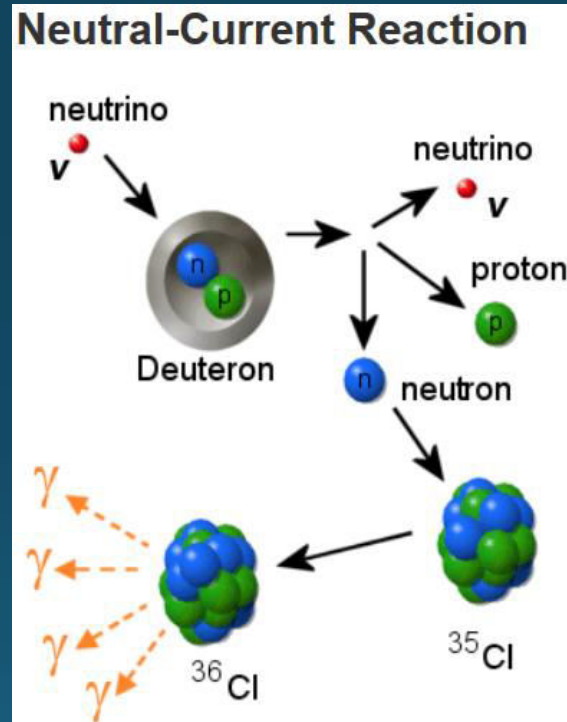
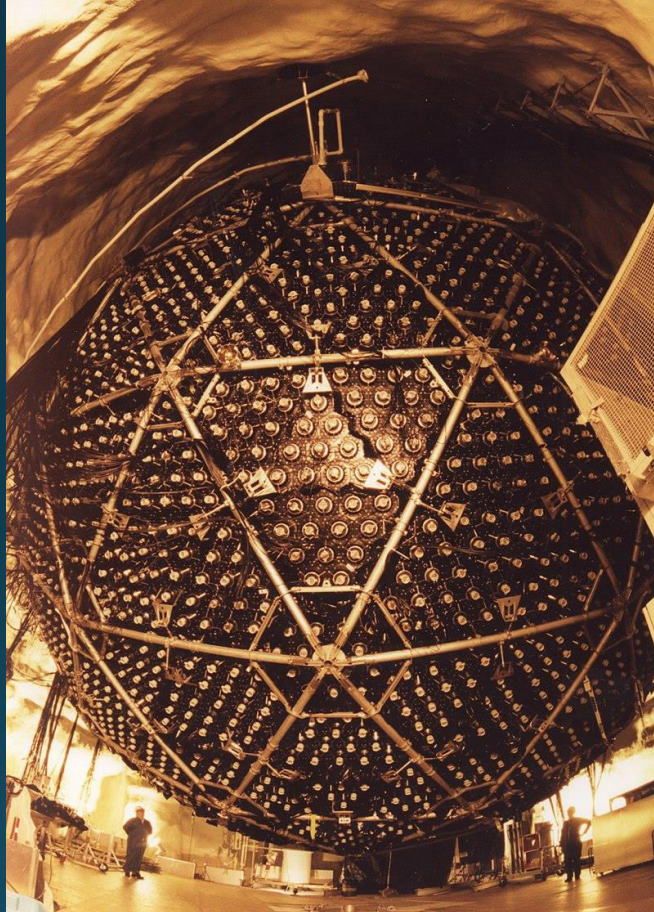
12 წამის ხანგრძლივობის  
ნეიტრინული ამოფრქვევა  
ზეახალი ვარსკვლავიდან  
(SN1987A)



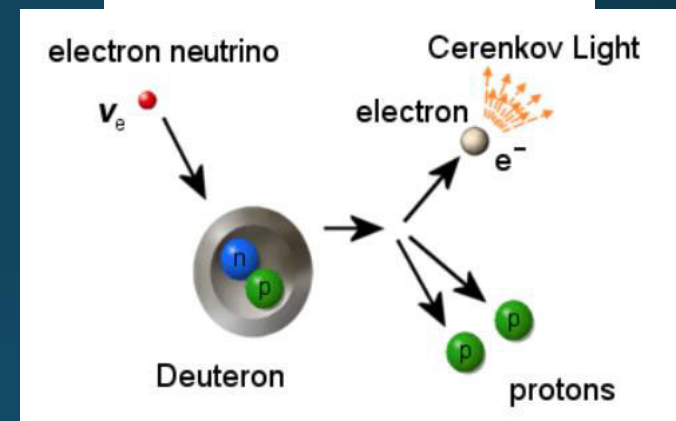
ზეახალი ვარსკვლავის (SN1987A) ამოფრქვევის შედეგად წარმოქმნილი ნეიტრინულ ნაკადის 24 ნეიტრინო, რომლებიც 3 დეტექტორში დაფიქსირდა 12 წამის განმავლობაში: 11 შემთხვევა Kamiokande, 8 შემთხვევა IMB დეტექტორში და 5 შემთხვევა ბაქსანის ნეიტრინულ ტელესკოპში.



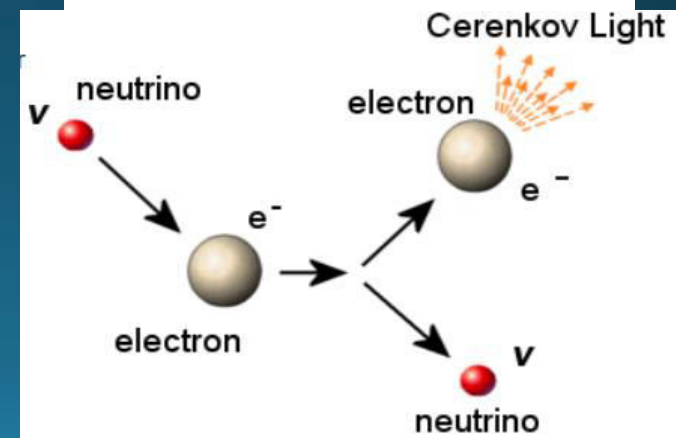
# Sudbury Neutrino Observatory (SNO)



## Charged-Current Reaction

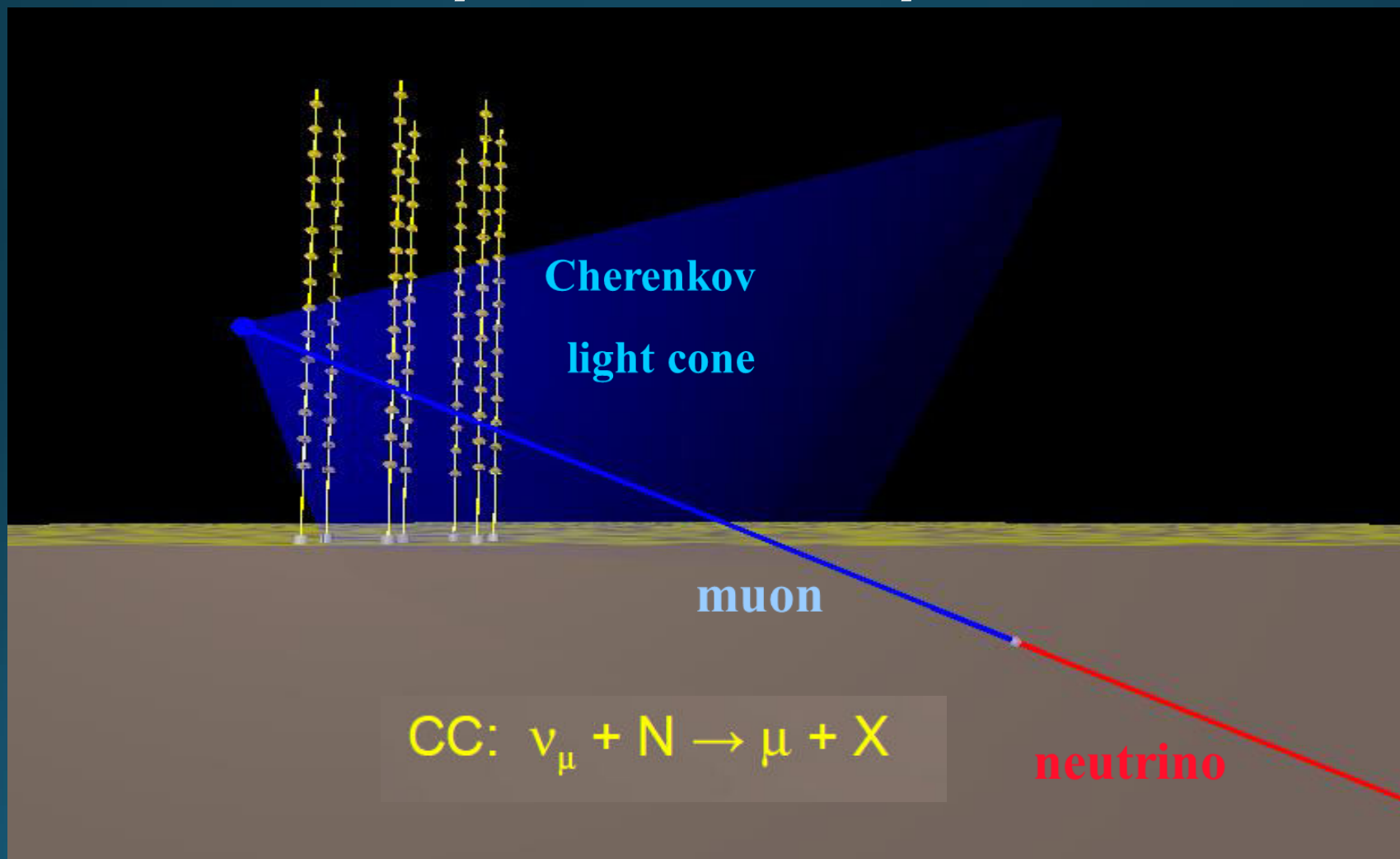


## Electron Scattering Reaction

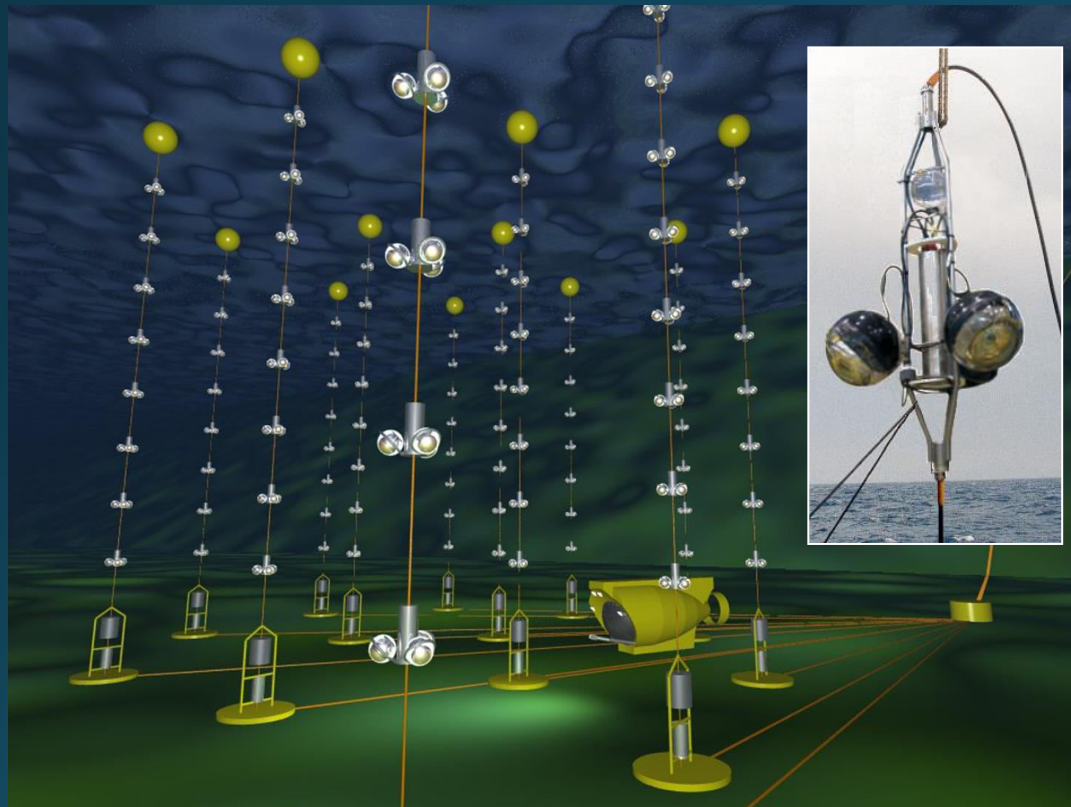




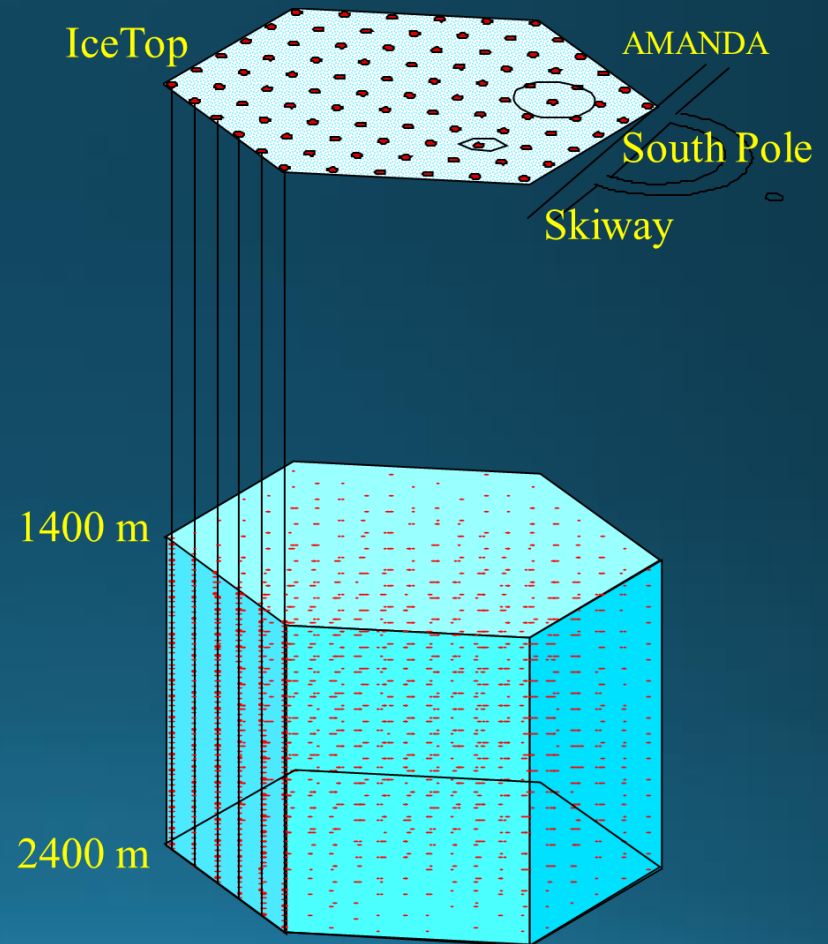
# ნეიტრინული ტელესკოპები - Antares, Amanda , IceCube



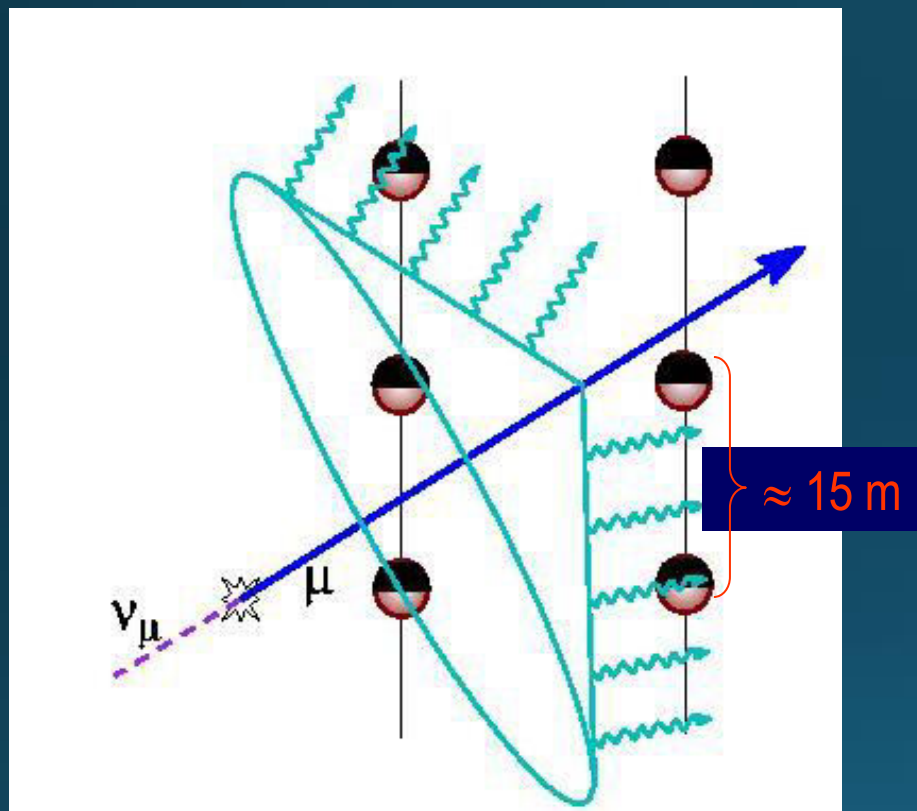
# Antares



# IceCube

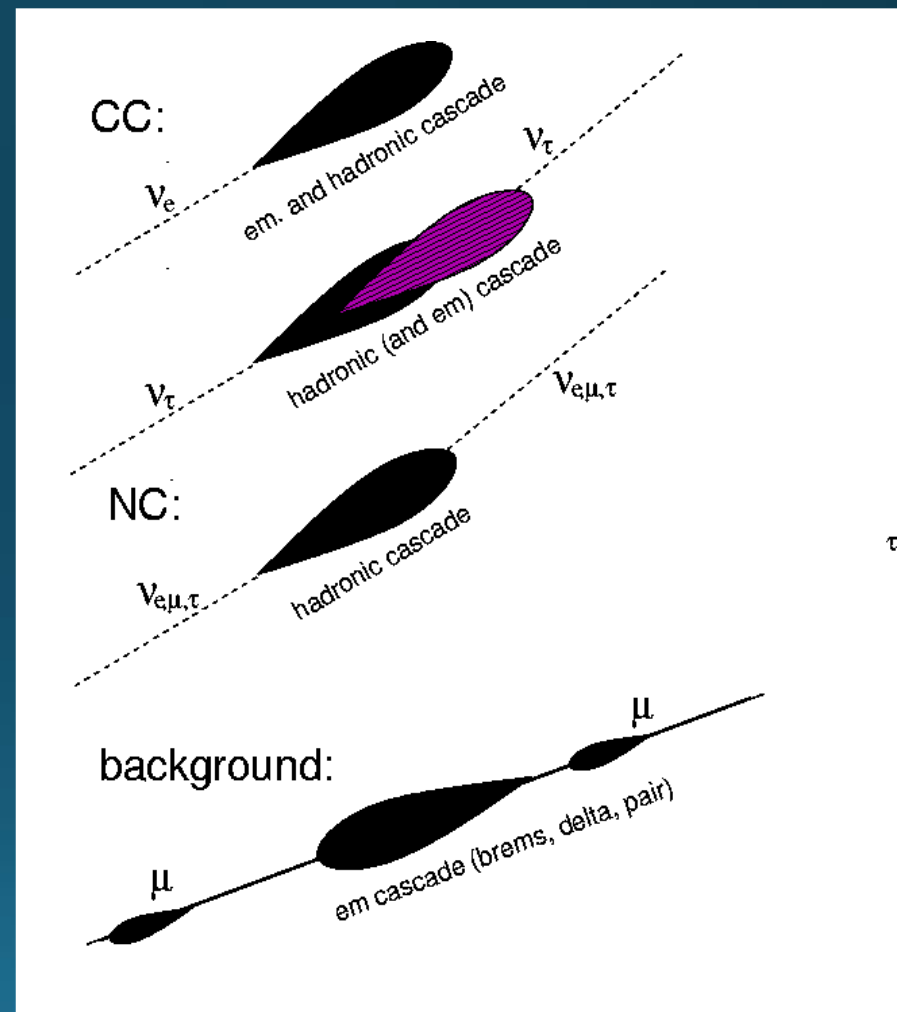


## გრძელი მიუონური ტრეკები



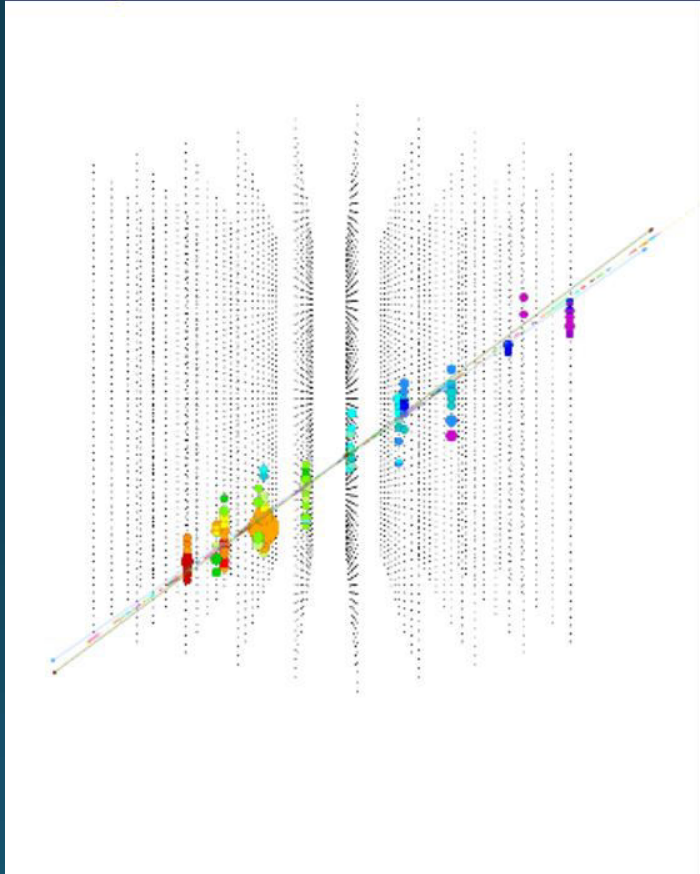
მიმართულების გარკვევა  
ჩერენკოვის სინთაღის  
საშუალებით

## ე.მ. და ადრონული კასკადები

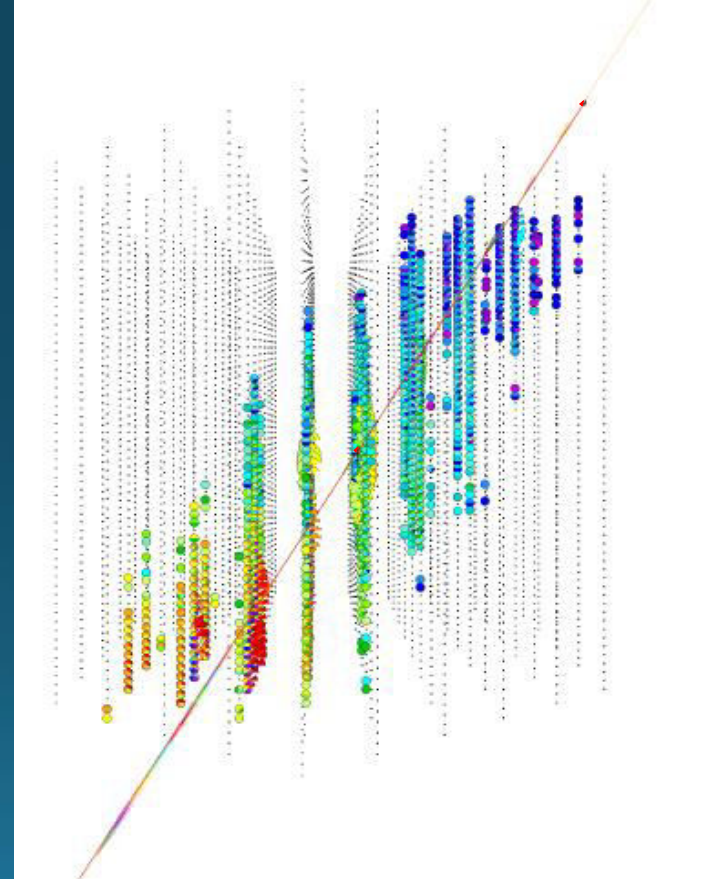


# IceCube

$E_\mu = 10 \text{ TeV} \approx 90 \text{ hits}$

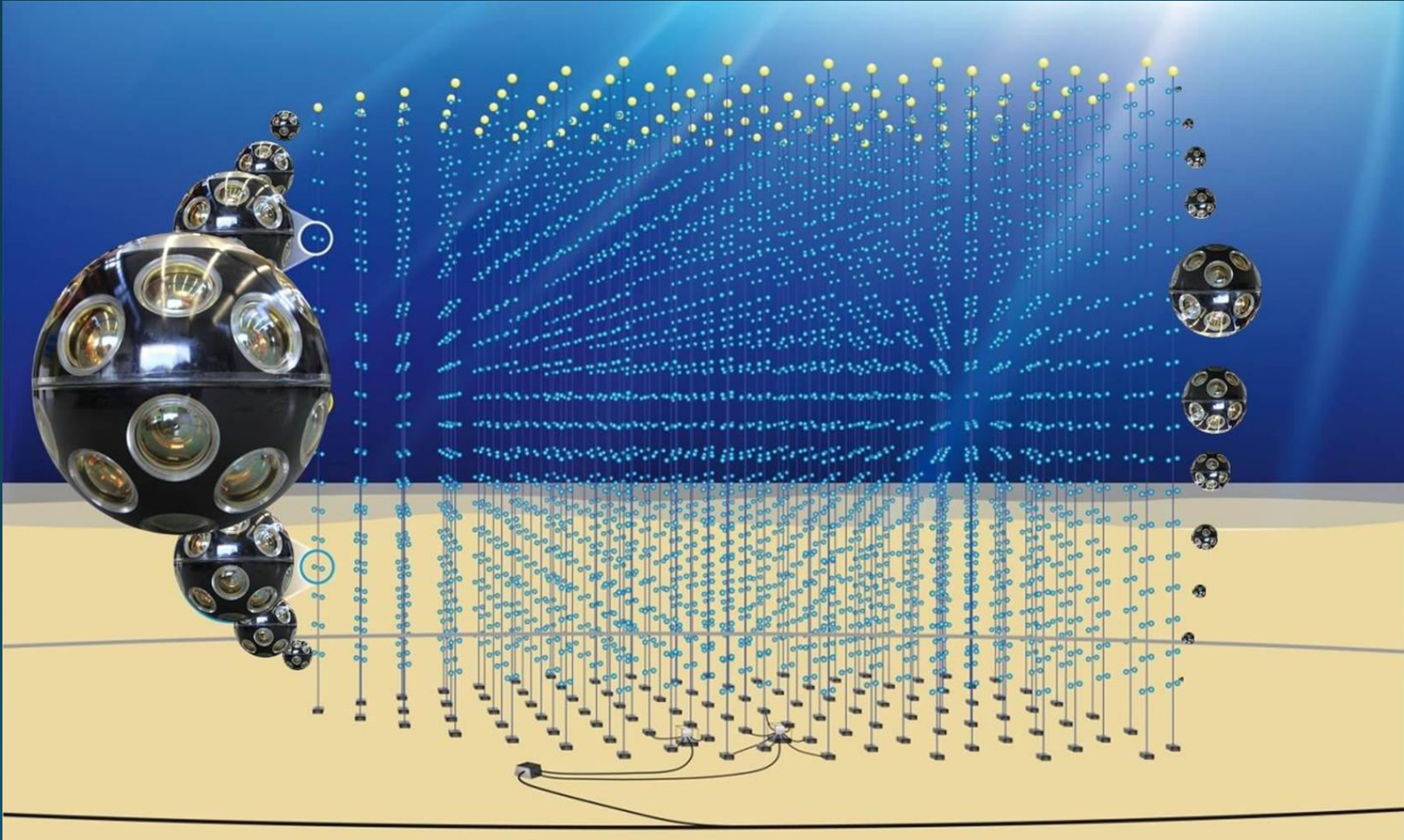


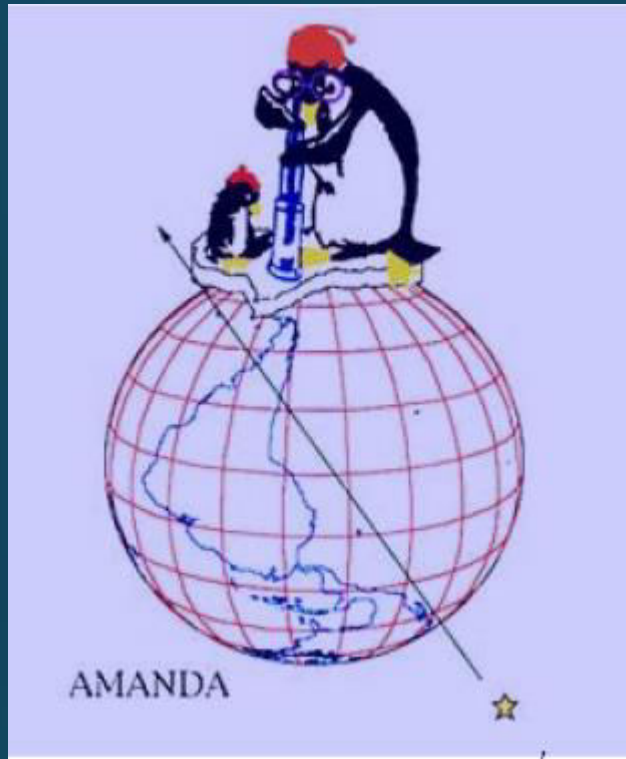
$E_\mu = 6 \text{ PeV} \approx 1000 \text{ hits}$





# მომავალი - KM3NET





გმადლობთ  
ყურადღებისთვის!