

კოსმოლოგიური ასპექტები
(შემოსაზღვრულობა) ნეიტრინოს მასის
განსაზღვრაში

V. თოდრია

ბენლი მატერიის კანდიდატები

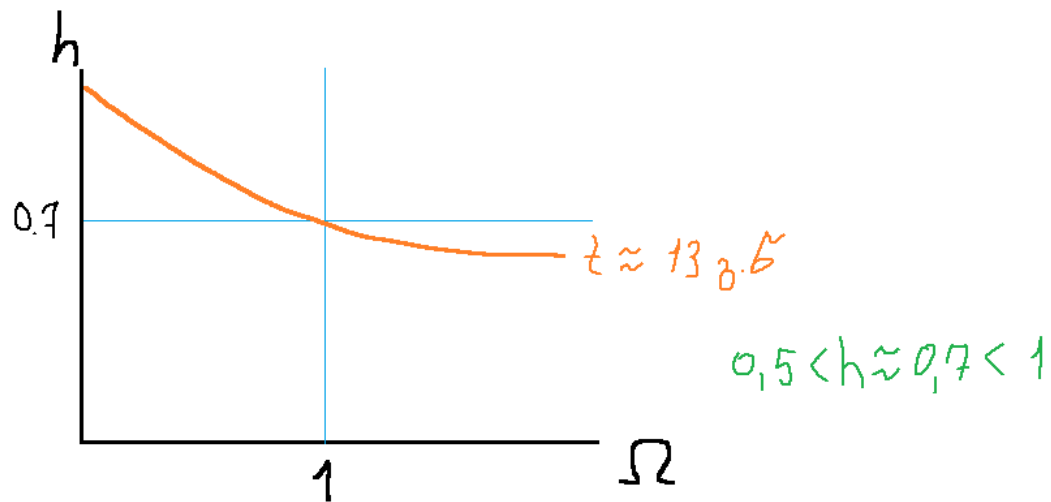
1. ნეიტრინო ($m < \sim 20 \text{ MeV}$)
2. WIMP
3. Axion
4. სხვები...

არსებობენ თუ არა? შეუძლიათ თუ არა შეჯგუფება, ურთიერთქმედება? ერთისაზის არინ?

სამყაროს სიმკვრივე

$$\boxed{\rho_0} \equiv \Omega \rho_c = \Omega \cdot \frac{3H^2}{8\pi G} = \Omega h^2 \cdot C$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h = H \cdot \frac{100 \text{ km}}{\text{sec Mpc}} \\ \Omega > 1 \quad C \\ \Omega < 1 \quad O \\ \Omega = 1 \quad F \end{array} \right\}$$



$$\rho_0 \lesssim 5 \frac{\text{keV}}{\text{cm}^3}$$

გერლშტეინ-ზელდოვიჩის ზღვარი

- ▶ ადრეულ პერიოდში $T > 1 \text{ MeV}$ გვქონდა თერმული წონასწორობა ელ-პოზიტრონ და ფოტონებში
 $\Gamma > H \quad n_\nu = (3/8)n_\gamma \quad n_\nu = n_\nu$
- ▶ $T \approx 2 \text{ MeV}$ -სთვის $\nu(e)$ გამოეყო ელექტრონ-პოზიტრონულ წვილს. $[\nu(\mu, \tau) \rightarrow T \approx 3 \text{ MeV}]$
- ▶ კინეტიკური წონასწორობა (ურთუიერთქმედება) შენარჩუნდა $T_{\nu e} = 1.3 \text{ MeV}; T_{\nu \nu, \nu \tau} = 1.5 \text{ MeV}$ -მდე
- ▶ საბოლოოდ გაციებისას და დეკაპლინგის შემდეგ $n_\nu + n_{\nu^-} = (3/11)n_\gamma = 110 \leftrightarrow 112/\text{cm}^3$
 $(\text{CMBR}), n_\gamma = 410.5 \pm 0.5/\text{cm}^3$.
- ▶ საბოლოოდ ტემპერატურები ფოტონების მიმართ $T_\nu = 0.714 T_\gamma = 1.945 K_0 = 1.68 \cdot 10^{-4} \text{ eV}$
- ▶ გათვალისწინებით $\rho c = 3H^2 m^2 P / 8\pi \quad \Omega_m \leq 0.25$ and $h = 0.7 \rightarrow m(\nu) < 3.9 \text{ eV}$
 (შემდგომში სხვადასხვა სტრუქტურების გათვალისწინებით ეს შემოსაძღვრა კდიევ უფრო შემრირდა)

ექსპერიმენტები და დაკვირვებები

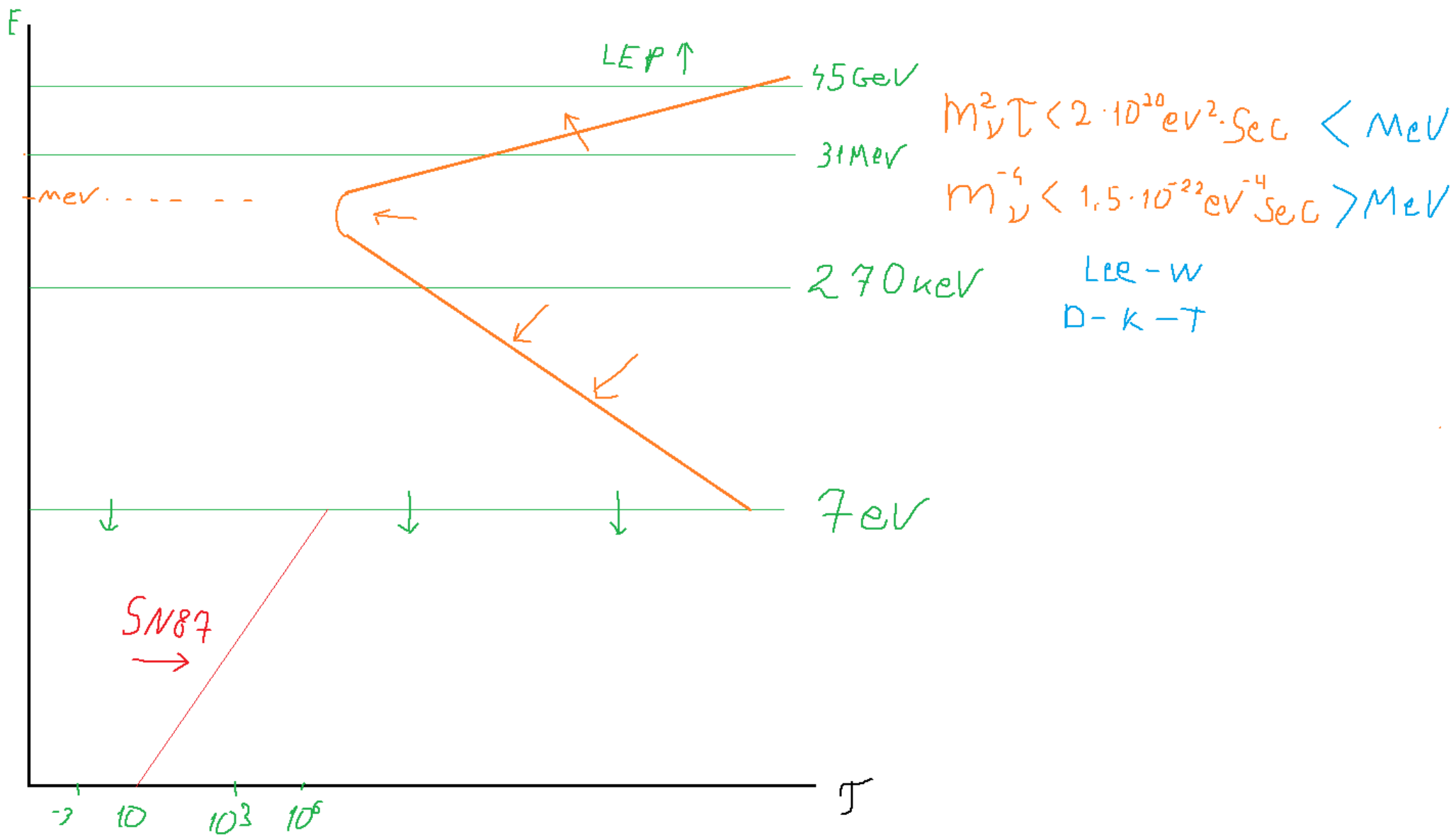
P.M

- $m(\nu_\tau) < 31 \text{ MeV}$
- $m(\nu_\mu) < 270 \text{ keV}?$
- $m(\nu_e) < 7-8 \text{ eV}$

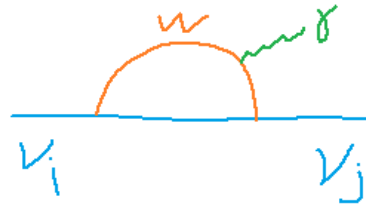
SN 87 $m \lesssim 10 \text{ eV}$ $\text{Prim } \tau(\nu_\tau)$

LEP $m(\nu_\tau) > 45 \text{ GeV}$

N.S in COS $\text{Light-}\nu < \sim 3,4$

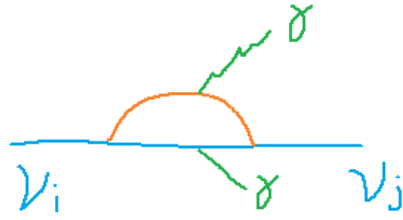


$$\nu_i \rightarrow \nu_j + \gamma$$



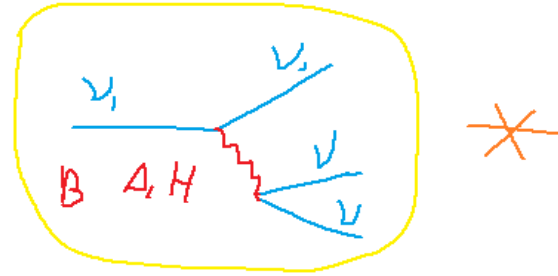
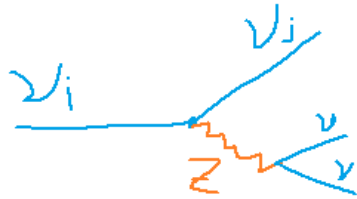
$$\partial \mathcal{L} / \partial \nu_j \partial \nu_i$$

$$\nu_i \rightarrow \nu_j + \gamma + \gamma$$

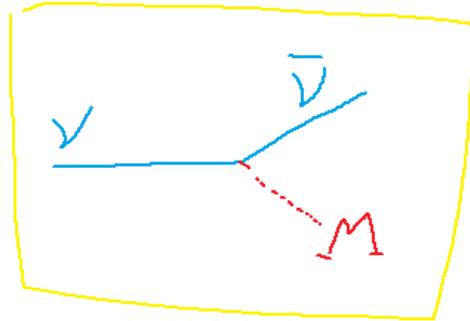


$$\partial^2 \mathcal{L} / \partial \nu_j^2 \partial \nu_i$$

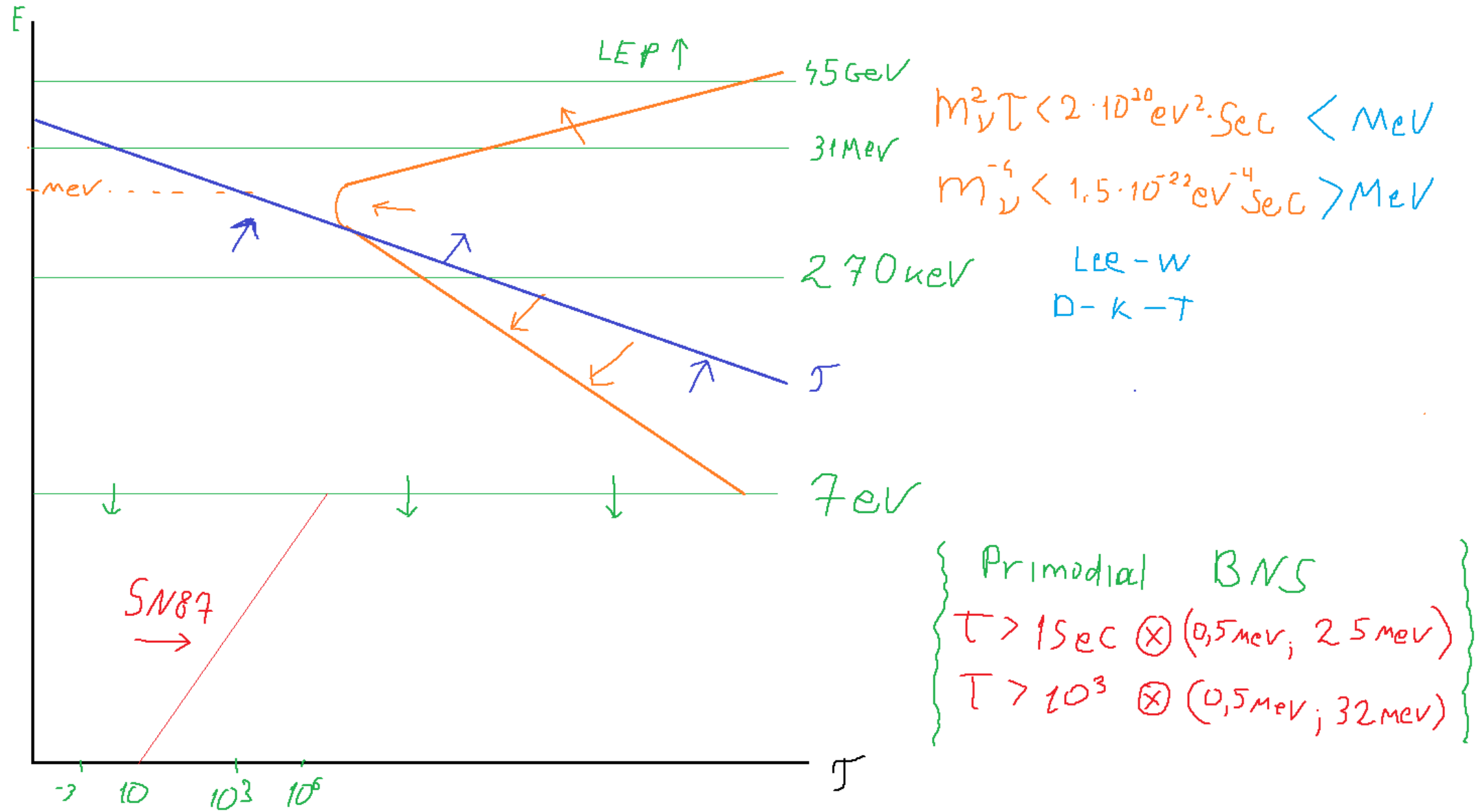
$$\nu_i \rightarrow \nu_j + \nu_k + \nu_l$$



$$\nu_i \rightarrow e^+ + e^- + \nu_j$$



$$\nu_i \rightarrow \nu_j + \text{Majorana} \quad ?$$



V -Mix Δ - δ V_{ud} V_{us} V_{cd} V_{cb} V_{td} V_{tb}

$$(\bar{u} \quad \bar{c} \quad \bar{t}) \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & \cdot \\ V_{cd} & \cdot & \cdot \\ V_{td} & \cdot & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

$$(0.22) \quad V_{us} \sim \sin \theta_{12} \sim 13^\circ$$

$$(0.05) \quad V_{cb} \sim \sin \theta_{23} \sim 2.5^\circ$$

$$V_{cb} \sim 0.2^\circ$$

$$\sin \theta_{12} \sim \sqrt{\frac{m_d}{m_s}} \quad ?!$$

$$(\bar{\nu}_1 \quad \bar{\nu}_2 \quad \bar{\nu}_3) \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e \\ \mu \\ \tau \end{pmatrix}$$

$$\theta_{12}^l \sim \sqrt{\frac{m_e}{m_\mu}} \quad ? ? !$$

NUCLEAR OSCILLATION

10

3rd harmonic 2 - dimensional

$$\nu_e(t) = \cos \theta \nu_1 e^{-iE_1 t} + \sin \theta \nu_2 e^{-iE_2 t}$$

$$\nu_\mu(t) = -\sin \theta \nu_1 e^{-iE_1 t} + \cos \theta \nu_2 e^{-iE_2 t}$$

$$-i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \nu_e(t) \\ \nu_\mu(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\Delta E \cos 2\theta & \Delta E \sin 2\theta \\ \Delta E \sin 2\theta & \Delta E \cos 2\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_e(t) \\ \nu_\mu(t) \end{pmatrix}$$

$$\Delta E = \frac{\Delta m^2}{2p}$$

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left(1.27 \frac{L}{E} \cdot \Delta m^2 \right)$$

1998 წელს Super-Kamiokande-ის ჯგუფმა ატმოსფერული ნეიტრინოების შესწავლისას.

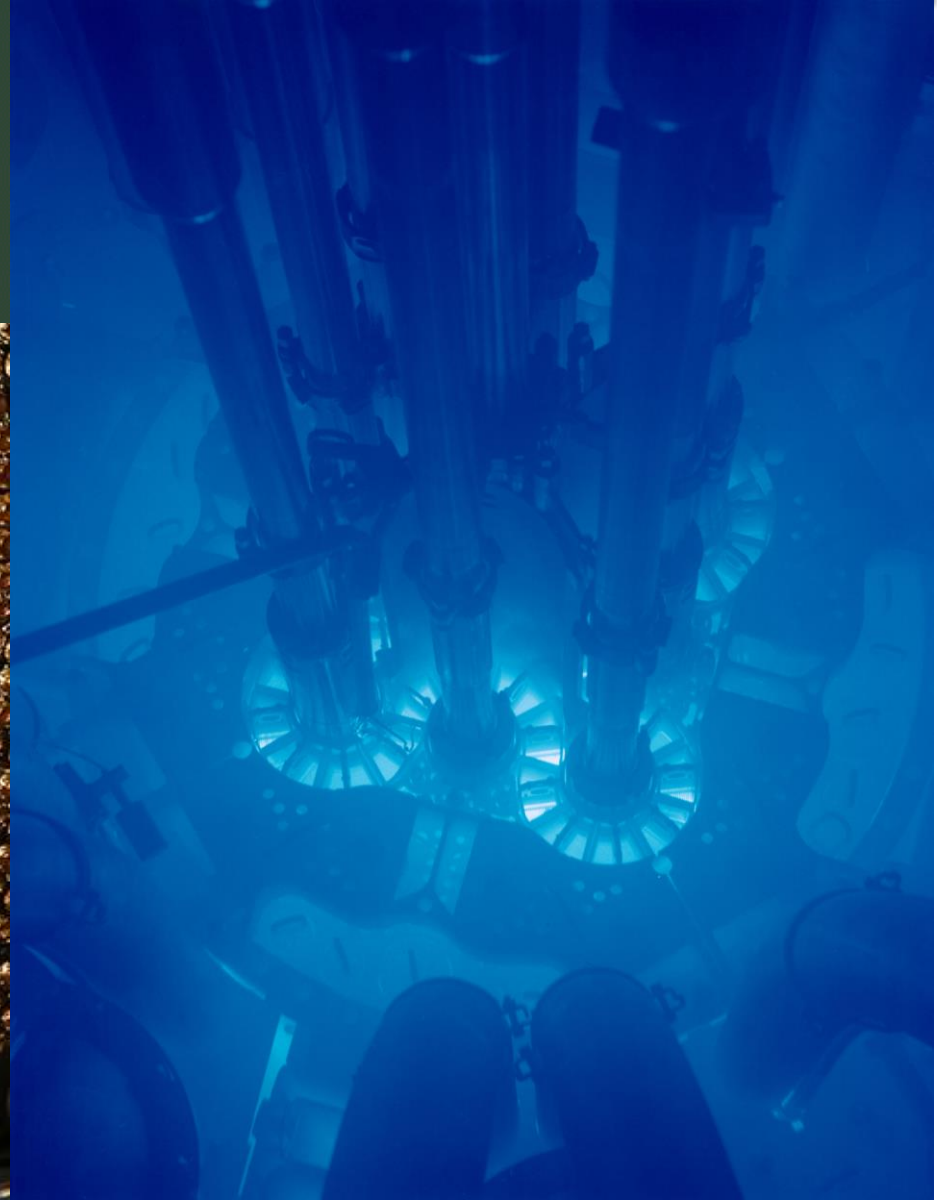
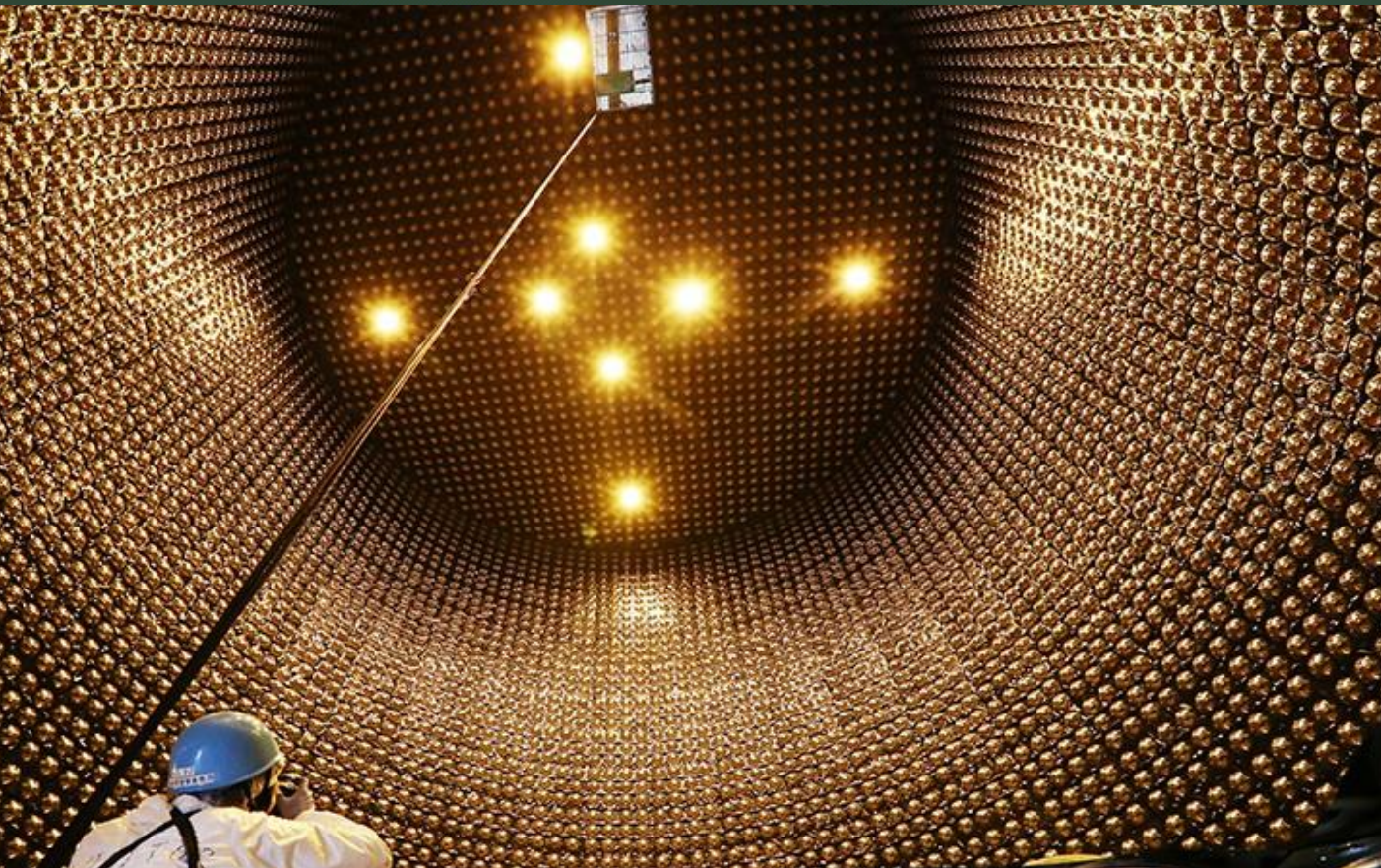
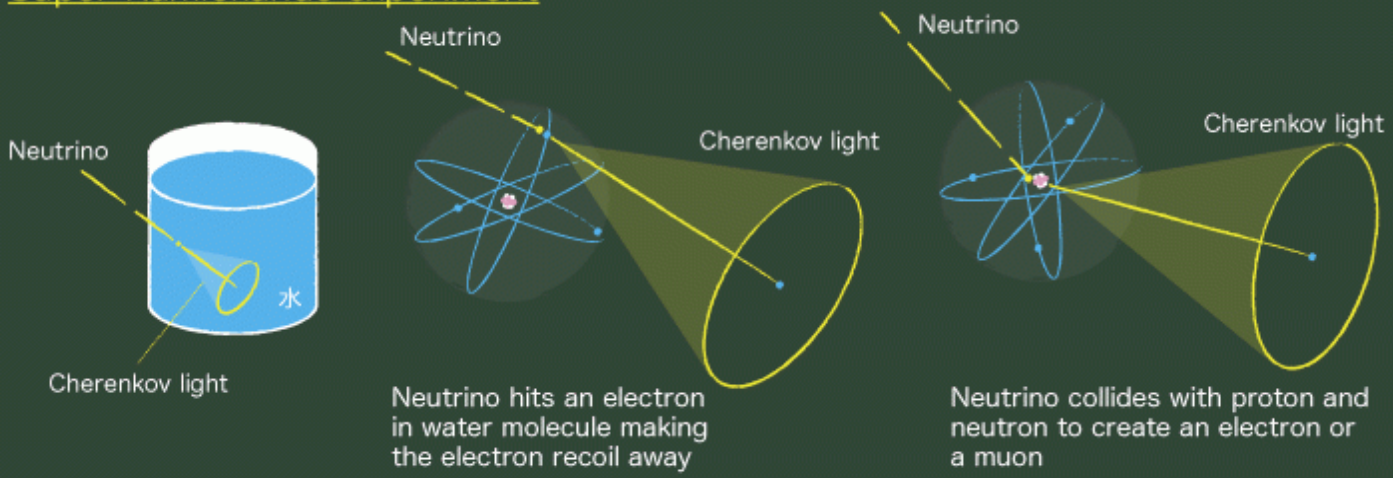
კოსმოსური სხივებიდან წამოსული პროტონების ნაკადი ატმოსფეროში შემოჭრისას ურთიერთქმედებენ ატომებთან და წარმოქმნიან პი-მეზონებს, რომლებიც თავის მხრივ იშლებიან მიუონებად (ანტიმიუონებად) და მიუონურ ანტინეიტრინოებად (ნეიტრინოებად). უნდა დაფიქსირებულიყო მიუონური ნეიტრინოების 2-ჯერ მეტი რაოდენობა ელექტრონულ მიუონებთან შედარებით. ექსპერიმენტზე მიღებული შედეგით ფადრობა = 1.3

$$\pi \rightarrow \mu + \nu_\mu$$

$$\mu \rightarrow \nu_\mu + e + \nu_e$$

$$\frac{\nu_\mu}{\nu_e} = 2$$

Super-Kamiokande experiment



$$\nu_3 + \nu_2 + \nu_1 = \nu_e$$

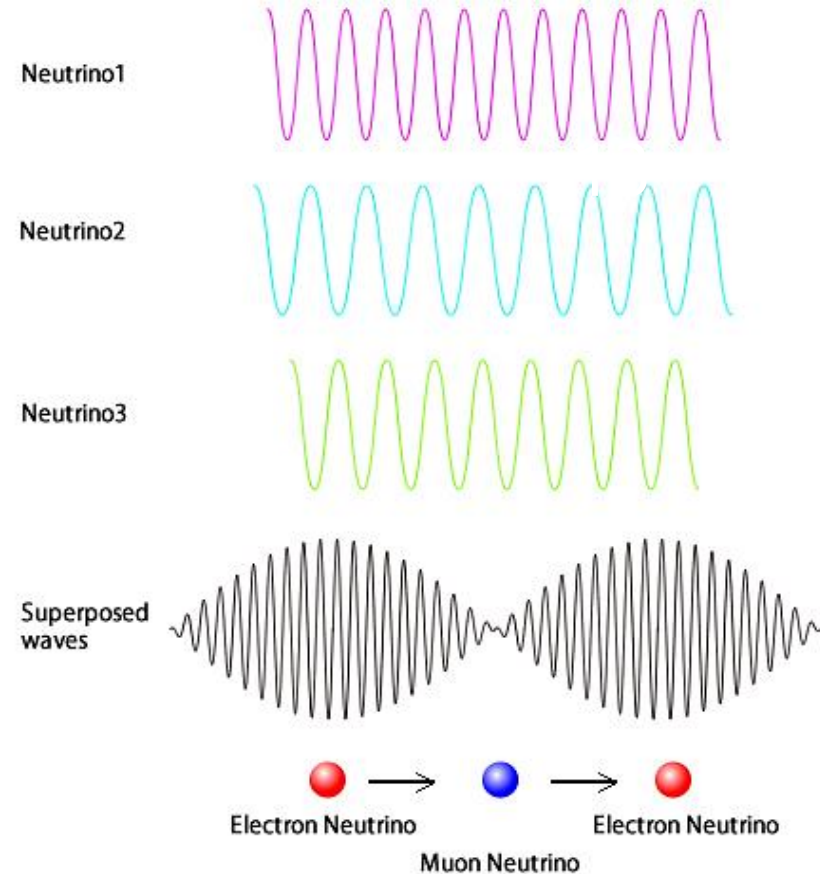
$$\nu_3 + \nu_2 + \nu_1 = \nu_\mu$$

$$\nu_3 + \nu_2 + \nu_1 = \nu_\tau$$

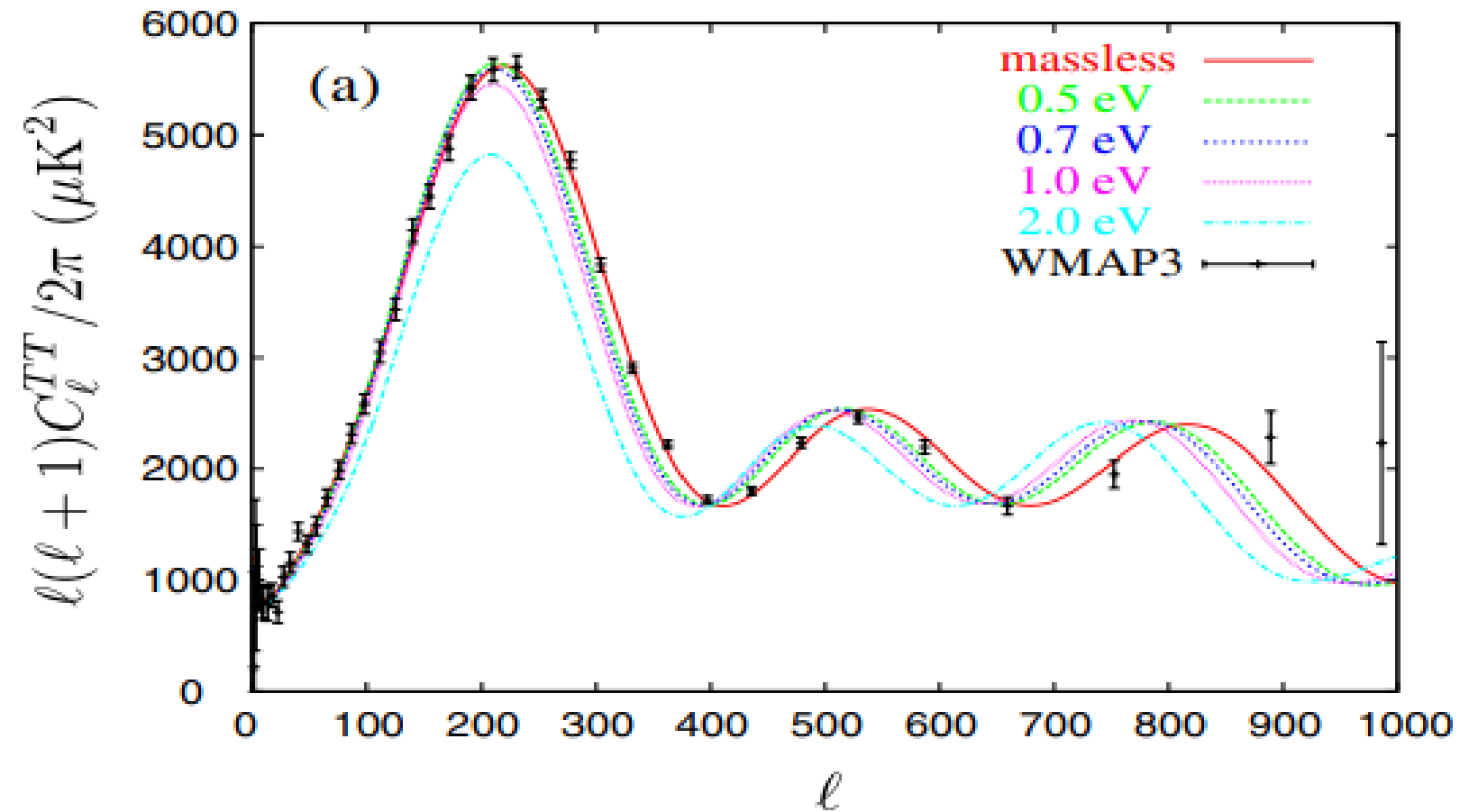
$$\text{Electron Neutrino} = \text{Neutrino1} + \text{Neutrino2} + \text{Neutrino3}$$

$$\text{Muon Neutrino} = \text{Neutrino1} + \text{Neutrino2} + \text{Neutrino3}$$

$$\text{Tau Neutrino} = \text{Neutrino1} + \text{Neutrino2} + \text{Neutrino3}$$



Neutrino mass and CMBR



γμαδλΩβθ ყურადღებოსთვის

V. თოდრია