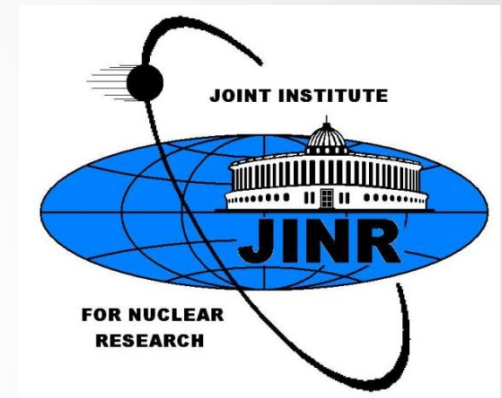
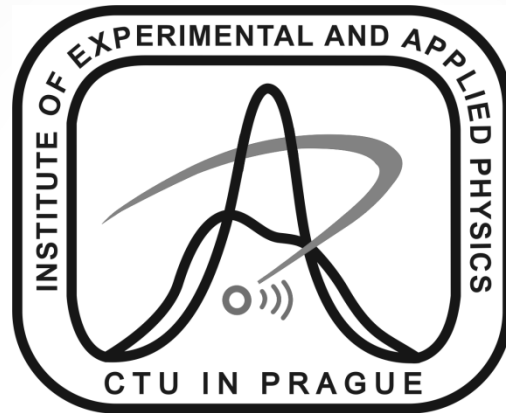


Aktivity v teoretické fyzice neutrin



Adam Smetana

ÚTEF Praha
&

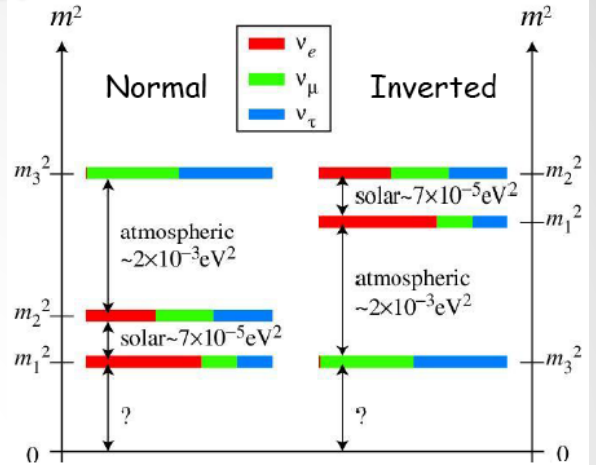
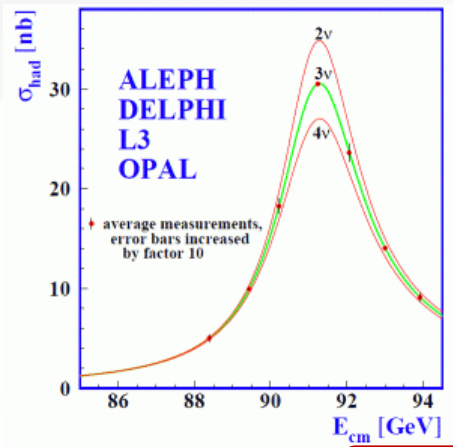
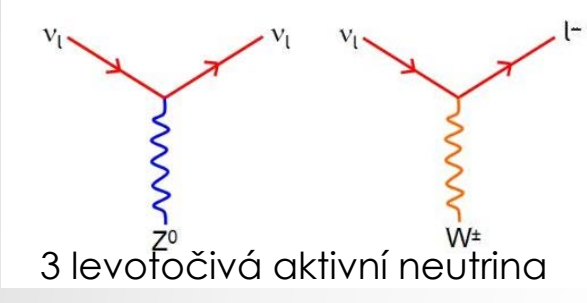
Fedor Šimkovic

ÚTEF Praha , JINR Dubna, UK Bratislava

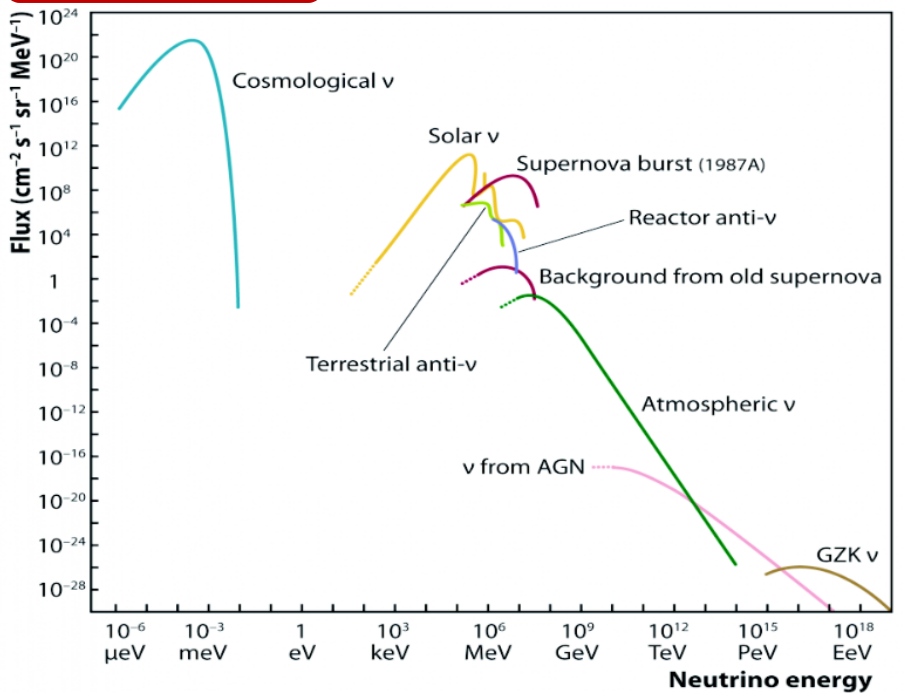
Co víme a co nevíme o neutrinech?

oscilace neutrin

Standardní Model

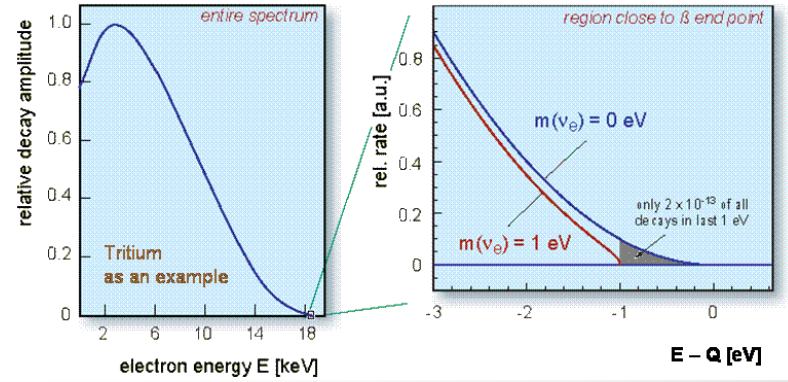


výskyt neutrin



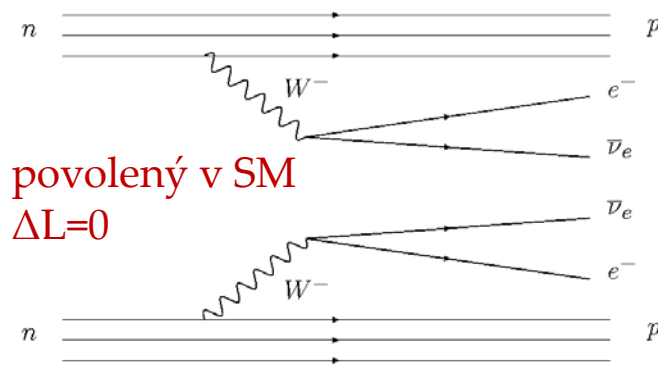
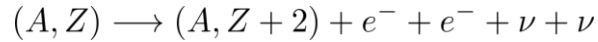
beta rozpad

$n \rightarrow p + e + \nu$, KATRIN 0.2 eV



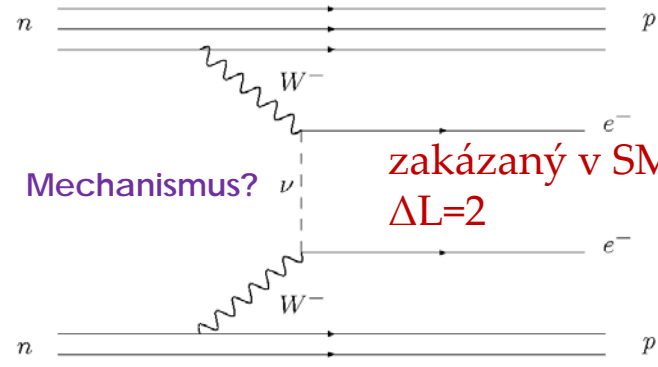
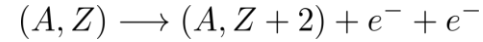
- ? absolutní škála neutrinových hmotností
- ? normální vs invertovaná hierarchie
- ? majoranovský či diracovský charakter
- ? seesaw mechanismus
- ? pravotočivá pole, sterilní neutrina
- ? CP narušení v neutrinovém sektoru
- ? ...

Dvoj-neutrinový a bez neutrinový dvojitý beta rozpad



povolený v SM
 $\Delta L=0$

$^{48}\text{Ca}, ^{76}\text{Ge}, ^{82}\text{Se}, ^{96}\text{Zr}, ^{100}\text{Mo}, ^{116}\text{Cd}, ^{128}\text{Te},$
 $^{130}\text{Te}, ^{150}\text{Nd}, ^{238}\text{U}$ ($T_{1/2}^{2\nu} \approx 10^{18} - 10^{24}$ let)

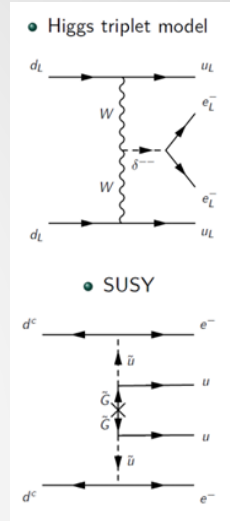


Mechanismus?

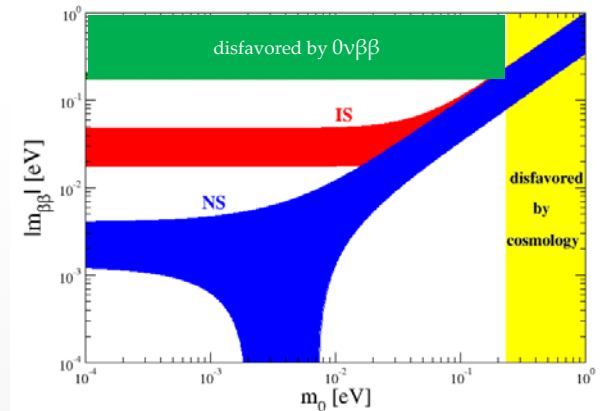
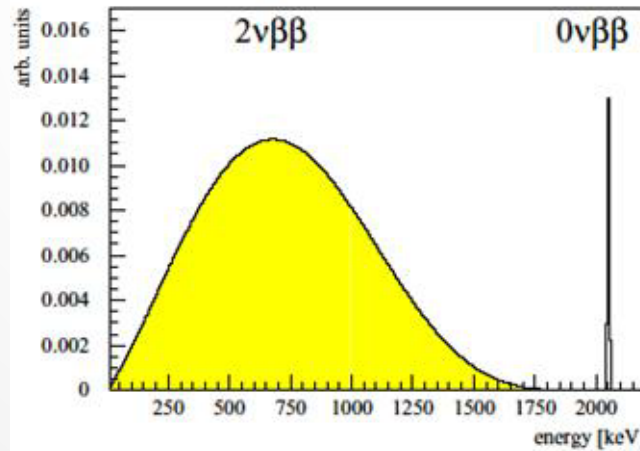
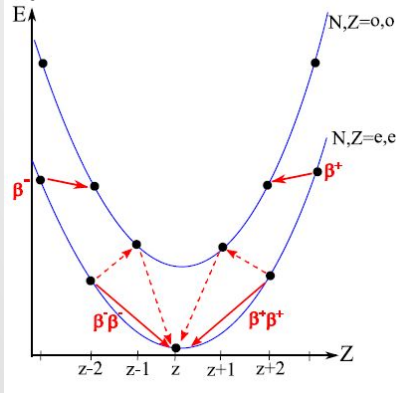
zakázaný v SM
 $\Delta L=2$

je možné určit efektivní hmotnost

$$|m_{\beta\beta}| = |c_{12}^2 c_{13}^2 e^{i\alpha_1} m_1 + s_{12}^2 c_{13}^2 e^{i\alpha_2} m_2 + s_{13}^2 m_3|$$



kinematically allowed
only for some isotopes



!!! můžeme určit absolutní škálu hmotností neutrin a jejich majoranovský charakter !!!

Alternativní procesy

Bez neutrinový dvoj-elektronový záchyt



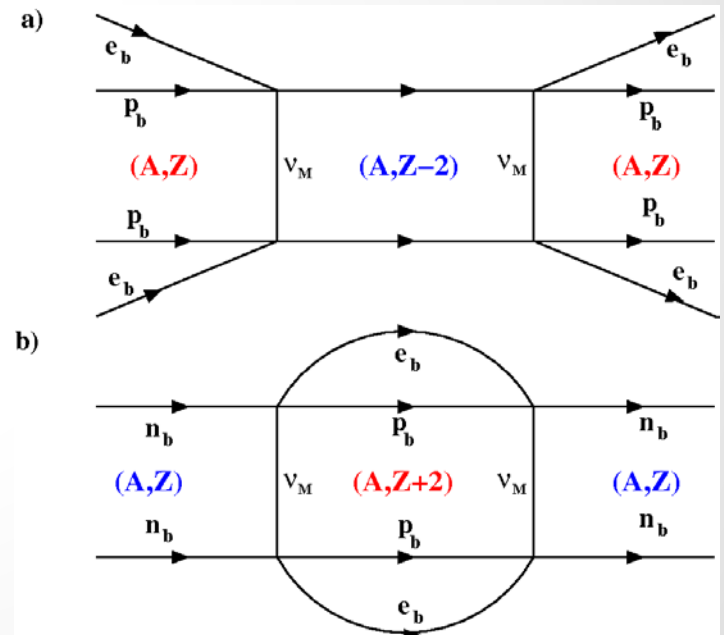
Rezonanční zesílení

$$\Gamma^{0\nu ECEC}(J^\pi) = \frac{|V_{\alpha\beta}(J^\pi)|^2}{(M_i - M_f)^2 + \Gamma_{\alpha\beta}^2/4} \Gamma_{\alpha\beta}$$

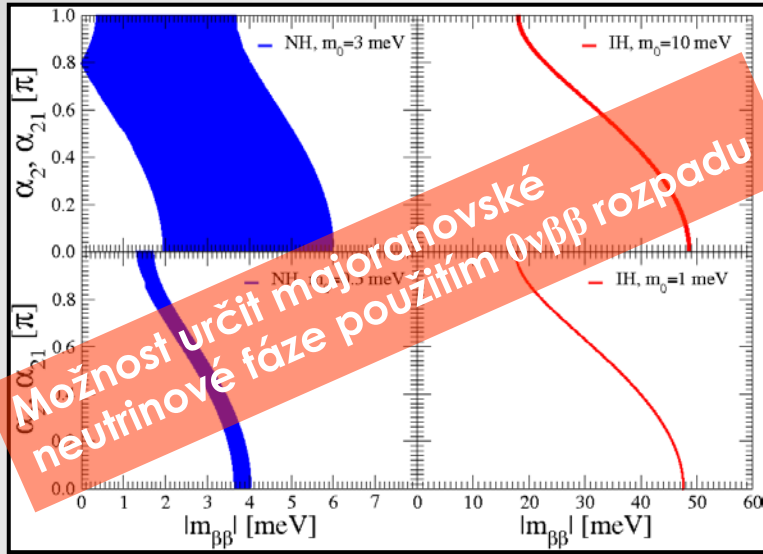
kvůli rezonanci je potřebné malé Q :

- 2νECEC je silně potlačený
- 0νECEC až 10⁶x zvýšený
- je potřeba spočítat JME
- Q měřitelné s přesností na 100 eV
- možný jaderný kandidát ¹⁵²Gd
- možný atomový kandidát ¹⁰⁶Cd

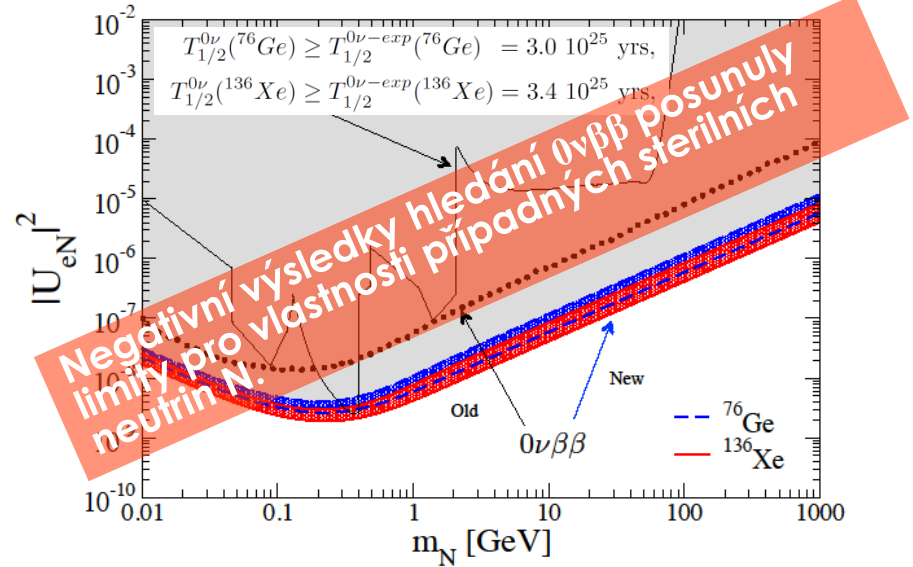
Atomové oscilace



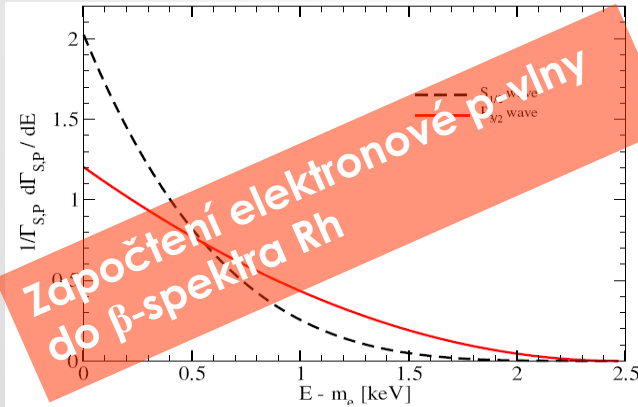
Vybraná nedávná činnost Fedora Šimkovic



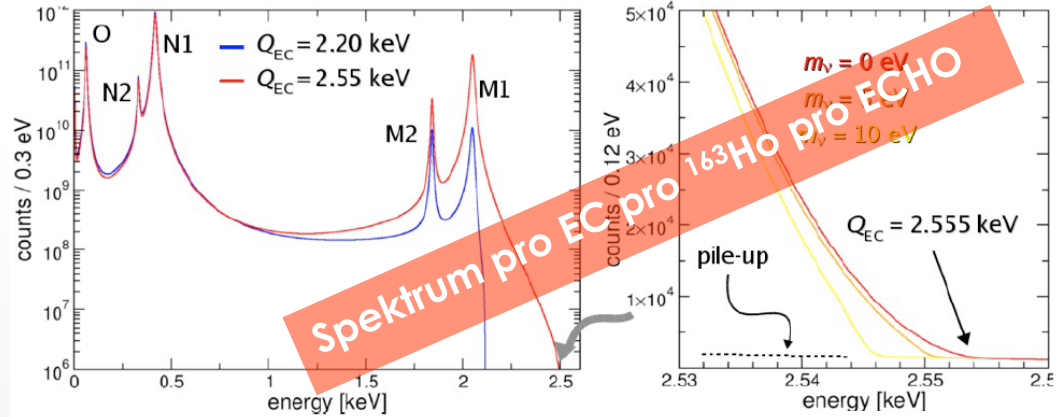
Šimkovic, Bileny, Faessler, Gutsche, Phys. Rev. D 87, 073002 (2013)



Šimkovic, Faessler, Gonzales, Kovalenko, Phys. Rev. D 90 (2014) 096010



Dvornický, F. Š., Muto, Faessler, PNP (2009)



F.Šimkovic, A. Faessler, PRC 91(2008) 045505

Relativistic approach to ^3H β -decay nuclear recoil (3.4 eV) taken into account

F.Š., R. Dvornický, A. Faessler, PRC 77 (2008) 055502

Aktuální spolupráce AS a FŠ

Výpočty Jaderných Maticových Elementů (JME)

10th MEDEX'15
Prague, June 9-12

Potřebujeme umět dostatečně důvěryhodně spočítat maticové elementy pro bezneutrinové $\Delta Z=2$ jaderné přechody.

$$\begin{aligned} (T_{1/2}^{0\nu})^{-1} &= G^{0\nu} |M^{0\nu}|^2 \langle m_{\beta\beta} \rangle^2 \\ (T_{1/2}^{2\nu})^{-1} &= G^{2\nu} |M^{2\nu}|^2 \end{aligned}$$

Nelze je určit z jiných experimentů.

- vyjasňujeme, v jakém jsou JME vztahu s jinými měřitelnými veličinami,

$$M_{GT}^{0\nu} = \langle f | \sum_{lk} \sigma_l \cdot \sigma_k \tau_l^+ \tau_k^+ H(r_{lk}, \bar{E}) | i \rangle$$

$$M_{GT}^{0\nu} = \int_0^\infty C_{GT}^{0\nu}(r) dr, \quad M_{cl}^{2\nu} = \int_0^\infty C_{cl}^{2\nu}(r) dr,$$

$$\text{and } C_{GT}^{0\nu}(r) = H(r, \bar{E}) \times C_{cl}^{2\nu}(r),$$

Šimkovic, Hodák, Faessler, Vogel
Phys.Rev. C83 (2011) 015502

- snažíme se fixovat parametry jaderných modelů pomocí jiných experimentů:
např. použitím sumačního pravidla:

$$S_{F,GT} = \sum (E_n - (E_f + E_i)/2) \langle f | \mathcal{O}_{F,GT} | n \rangle \langle n | \mathcal{O}_{F,GT} | i \rangle = \langle f | \left[\mathcal{O}_{F,GT}, [H, \mathcal{O}_{F,GT}] \right] | i \rangle$$

$$M_{F,GT}^{2\nu} = \sum_n \frac{\langle f | \mathcal{O}_{F,GT} | n \rangle \langle n | \mathcal{O}_{F,GT} | i \rangle}{E_n - (E_f + E_i)/2}$$

Výpočty Jaderných maticových elementů (JME)

Potřebujeme umět dostatečně důvěryhodně spočítat maticové elementy pro bezneutrinové $\Delta Z=2$ jaderné přechody.

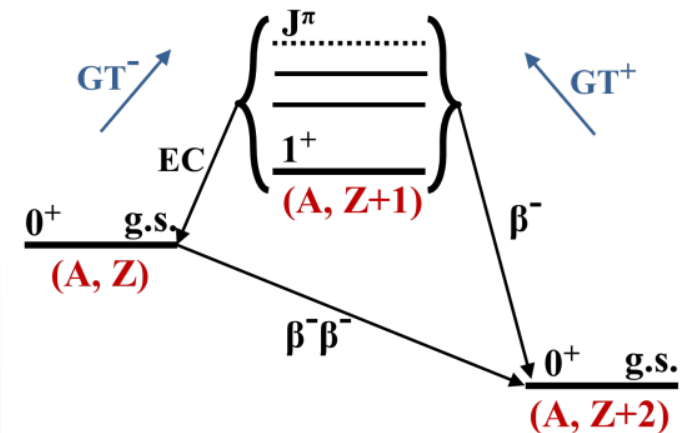
Úspěšnost výpočtů JME závisí na kvalitě modelů jaderné struktury a na kvalitě použitých aproximací. (SM, **QRPA**, IBM,...)

fononový operátor

$$Q_{JM}^{m\dagger} = \sum_{pn} \left(X_{pn,J}^m A_{JM}^\dagger(pn) + Y_{pn,J}^m \tilde{A}_{JM}(pn) \right), \quad \begin{aligned} Q_{JM}^{m\dagger} |0\rangle &= |m\rangle \\ Q_{JM}^m |0\rangle &= 0 \end{aligned}$$

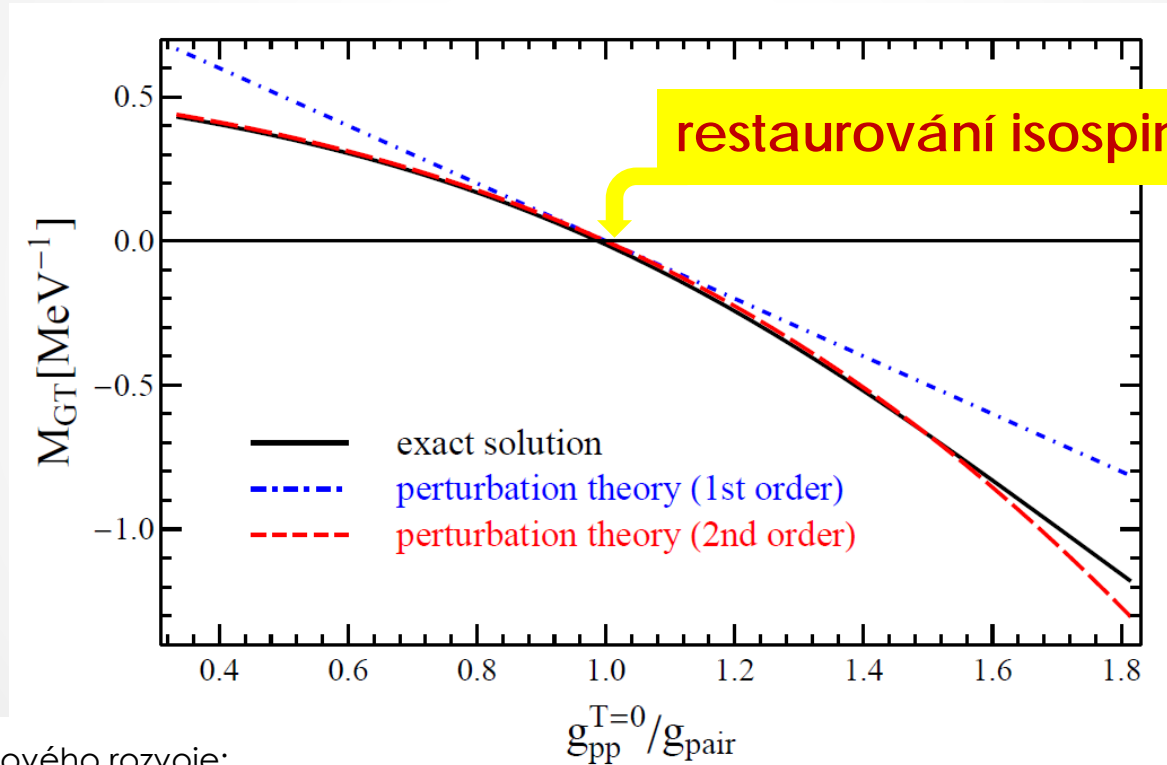
$$\begin{pmatrix} A & B \\ B & A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X^m \\ Y^m \end{pmatrix} = \Omega^m \begin{pmatrix} C & 0 \\ 0 & -C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X^m \\ Y^m \end{pmatrix}$$

- ! Problém hledání vlastních čísel a vektorů
- ! Potřeba řešit numericky a iteračně, protože $A, B, C \sim X, Y$
- ! Vylepšení pomocí nelineárního fononového operátoru



SO(8) schematický model – porozumět $2\nu\beta\beta$ rozpadu

$$\begin{aligned}
 H = & \underbrace{e_n N_n + e_p N_p - g_{pair} \left(\sum_{M_T} A_{0,1}^\dagger(0, M_T) A_{0,1}(0, M_T) + \sum_{M_S} A_{1,0}^\dagger(M_S, 0) A_{1,0}(M_S, 0) \right) + g_{ph} \sum_{a,b} E_{ab}^\dagger E_{ab}}_{H_0} \\
 & + \underbrace{(g_{pair} - g_{pp}^{T=0}) \sum_{M_S} A_{1,0}^\dagger(M_S, 0) A_{1,0}(M_S, 0) + (g_{pair} - g_{pp}^{T=1}) A_{0,1}^\dagger(0, 0) A_{0,1}(0, 0)}_V \\
 & \quad \quad \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{(SU(4)-)} \quad \quad \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{(SU(2)-)}
 \end{aligned}$$



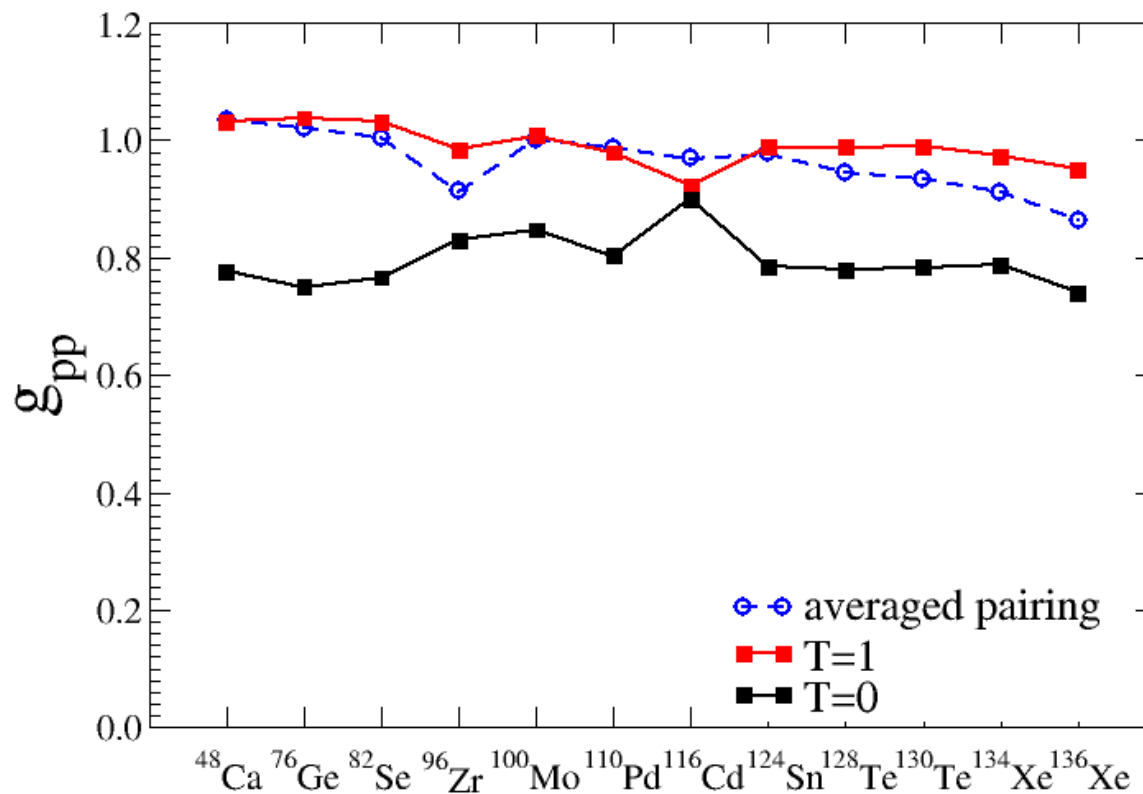
V 1. řádu poruchového rozvoje:

$$M_F^{2\nu} \simeq -\frac{48\sqrt{\frac{33}{5}}(g_{pair} - g_{pp}^{T=1})}{(5g_{pair} + 3g_{ph})(10g_{pair} + 6g_{ph})}$$

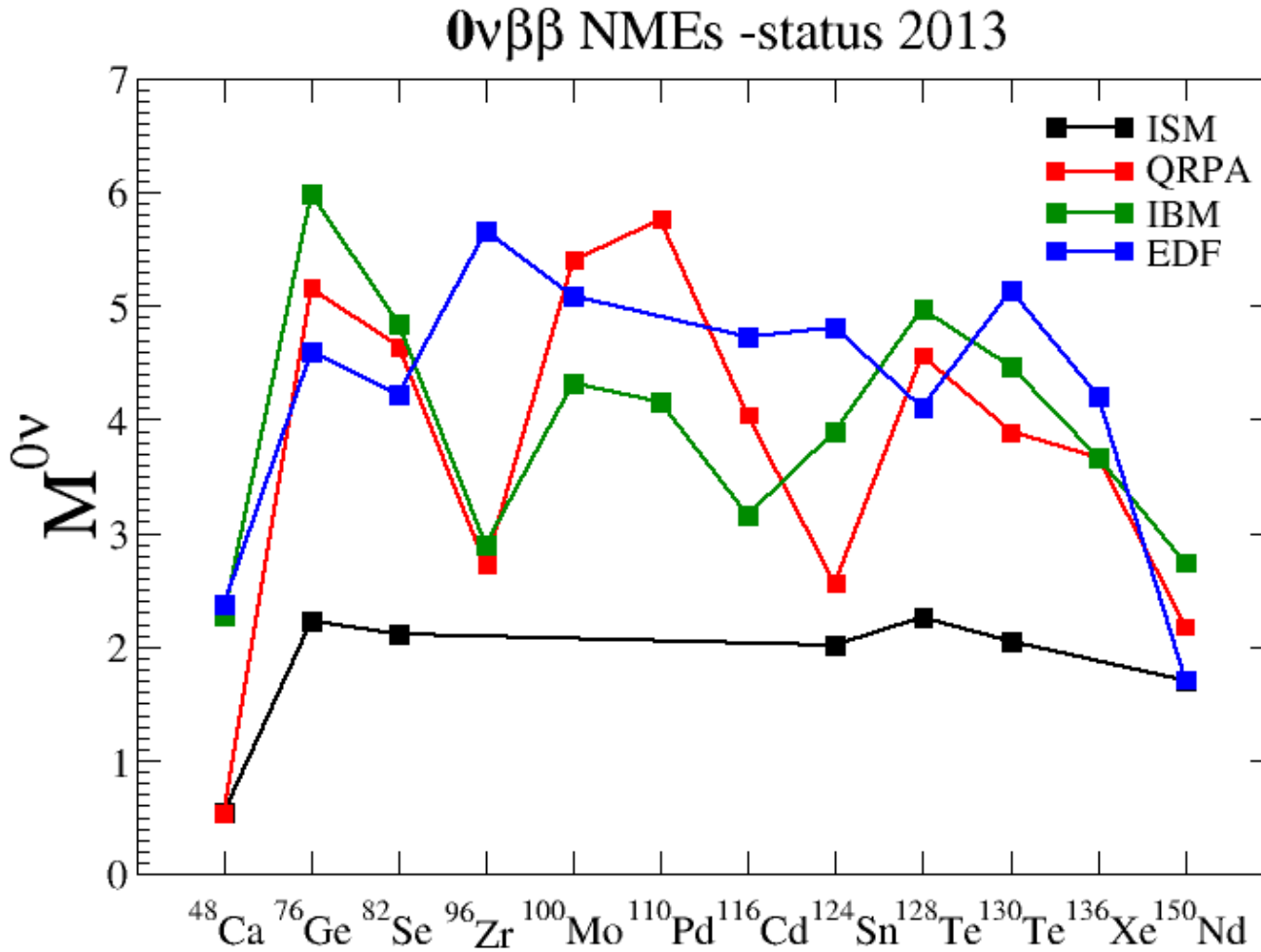
$$M_{GT}^{2\nu} = \frac{144\sqrt{\frac{33}{5}}}{5g_{pair} + 3g_{ph}} \left\{ \frac{(g_{pair} - g_{pp}^{T=0})}{(10g_{pair} + 20g_{ph})} + \frac{2g_{ph}(g_{pair} - g_{pp}^{T=1})}{(10g_{pair} + 20g_{ph})(10g_{pair} + 6g_{ph})} \right\}$$

Restaurování isospinové symetrie

– realistické použití na fixování parametrů jaderného modelu



Šimkovic, Rodin, Faessler, Vogel, PRC 87, 045501 (2013)



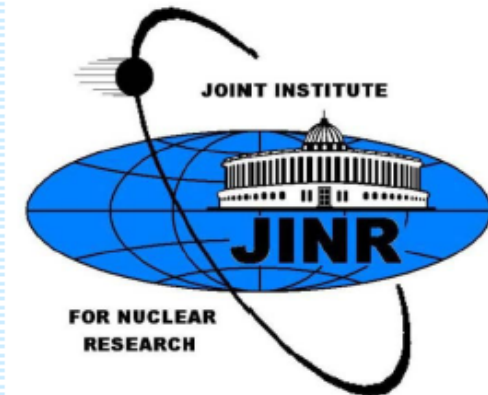
nikdo není dokonalý

VI International Pontecorvo Neutrino Physics School

*Arrival: Thursday, August 27, 2015
Departure: Friday, September 4, 2015*

Organizers:

Comenius University, Bratislava
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna
Czech Technical University, Prague
Charles University, Prague



Grand Hotel Bellevue, Nový Smokovec



*VI International Pontecorvo
Neutrino Physics School*

*Arrival: Thursday, August 27
Departure: Friday, September 4*

Pontecorvo School 2015 – Agenda

Date	Lecture 1	Lecture 2	Lecture 3	Lecture 4
	9:00 - 10:30	11:00 - 12:30	16:00 - 17:30	18:00 - 19:30
Th 27.8.	Arrival; 18:30 - Welcome party; 19:00 – Dinner			
Fr 28.8.	Serguey Petcov <i>Phenomenology of ν-mixing and oscillations</i>	Gary Feldman Long baseline ν -oscillation experiments	Ruppert Leitner Reactor ν experiments	Yoichiro Suzuki <i>Atmospheric neutrinos</i>
Sa 29.8.	Oleg Smirnov Solar- and geo-neutrinos	Carlo Giunti Vyacheslav Egorov <i>Sterile neutrinos</i>	Werner Rodejohann <i>Theory of ν-masses</i>	Sacha Davidson <i>Baryogenesis from Leptogenesis</i>
Su 30.8.	Christian Weinheimer Direct ν -mass search	Martin Hirsch <i>Theory of $0\nu\beta\beta$-decay</i>	Francesco Iachello <i>Double Beta Decay Matrix Elements</i>	Andreas Piepke* <i>$0\nu\beta\beta$-decay : EXO and Kamlandzen</i>
Mo 31.8.	Stefan Schoenert* <i>$0\nu\beta\beta$-decay : GERDA</i>	Steen Hannestad <i>Neutrinos in cosmology and astronomy</i>	Elisa Resconi <i>Physics at IceCube</i>	Jan Dzikibaev <i>Baikal experiment</i>
Tu 1.9.	Excursion and free time			
We 2.9.	Petr Vogel <i>Supernova and relic neutrinos</i>	Walter Potzel <i>Dark Matter</i>	Sergio Bertolucci News from CERN	Ettore Fiorini* <i>Progressive detection techniques I</i>

Program

Lecturers

Th 3.9.	Ivan Štekl <i>Progressive detection techniques II</i>	Louis Lyons Statistics for Nuclear and Particle Physics I	Louis Lyons Statistics for Nuclear and Particle Physics II	Students presentations and Final panel discussion session
Fr 4.9.	Departure			

Daily timetable

8:00-9:00 Breakfast	12:30-13:30 Lunch	16:00-19:30 Afternoon session
9:00-12:30 Morning session	13:30-16:00 Free time	17:30-18:00 Coffee break
10:30-11:00 Coffee break		19:30-20:30 Dinner

***VI International Pontecorvo
Neutrino Physics School***
(8 nights, 6 working days, 1 excursion day)

Arrival: Thursday, August 27, 2015
Departure: Friday, September 4, 2015

room occupied by 1 person: 834 EUR
Room occupied by 2 persons: 675 EUR

We are looking to see you in High Tatra Mountains

