

中性子実験による宇宙物理研究と核データの重要性

大阪大学核物理研究センター 嶋 達志

- 長寿命不安定核種の速中性子捕獲反応と s過程元素合成
- 中性子寿命とビッグバン元素合成
- 中性子-希ガス散乱による未知相互作用の探索

J-PARC

Linac

3 GeV

Neutrino

**Materials and Life
Science Facility**

50 GeV

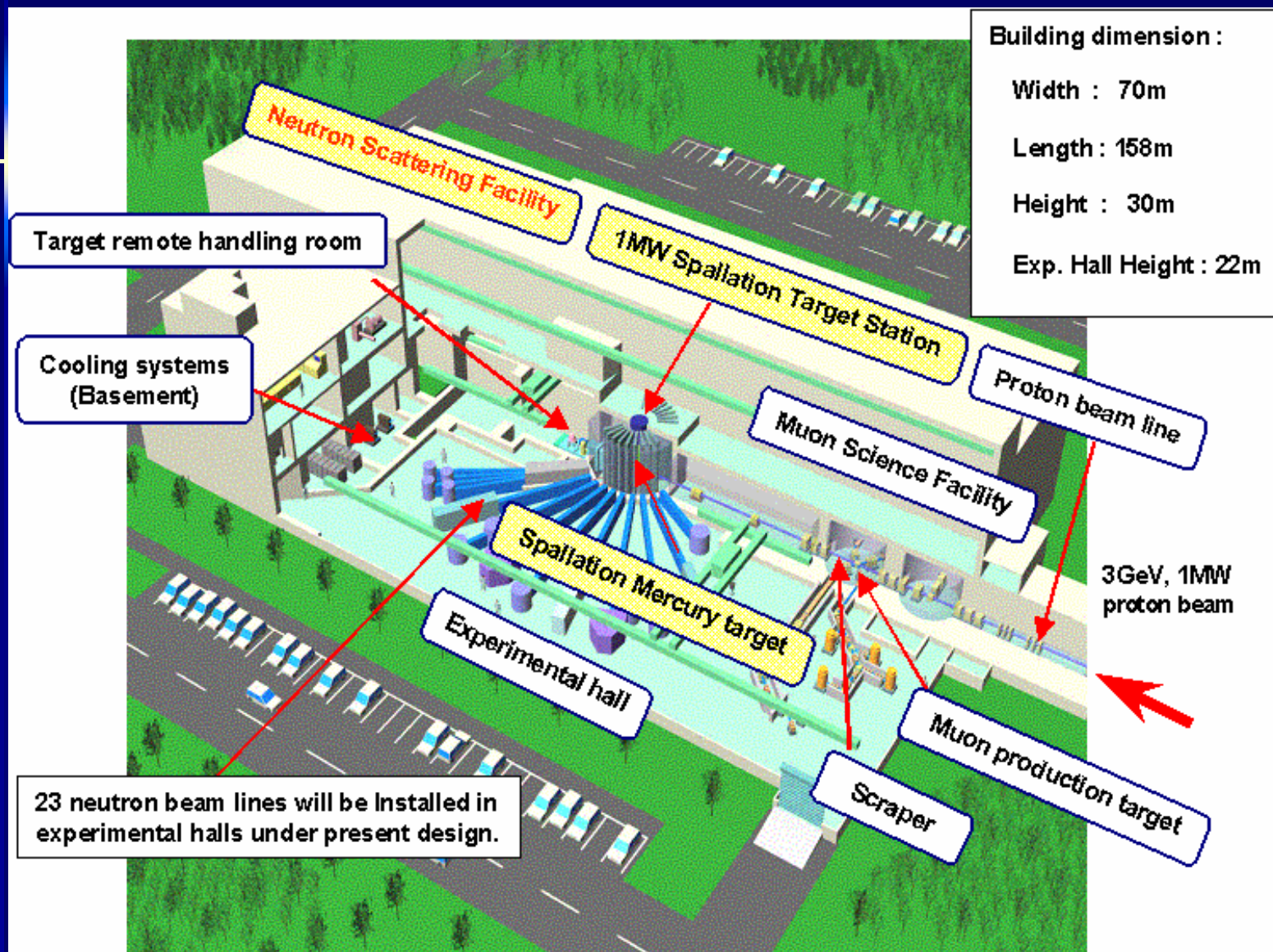
Hadron Exp. Facility



物質・生命科学実験施設 (MLF)



大強度パルス中性子源 (3GeV × 333μA=1MW)



Fast neutron sources in the world

Neutron source	Production method / Beam power (kW)	Φ_γ on target (@40keV, / sec/cm ² /eV)
Karlsruhe	⁷ Li(p,n) ⁷ Be / 0.025	14
Tokyo Inst. Tech.	⁷ Li(p,n) ⁷ Be / 0.024	13
GELINA	(e,e'n) / 7.5	1
LANSCCE/Lujan	Spallation / 80	80
KENS	Spallation / 2.5	8
CERN/n_TOF	Spallation / 9	0.5
J-PARC/MLF/BL04	Spallation / 1000	~1000

I. 長寿命不安定核種の速中性子捕獲反応と s過程元素合成

強い中性子束 \Rightarrow より少量の標的で測定が可能



- 希少同位元素
- 長寿命不安定核種

の (n, γ) 断面積測定が可能に！

皮算用: $\Phi_n \sim 10 \text{ n/s/cm}^2/\text{eV}$ 、標的 $\sim 1 \text{ mol}$ で $\sigma < 10 \mu\text{b}$ が測定可能

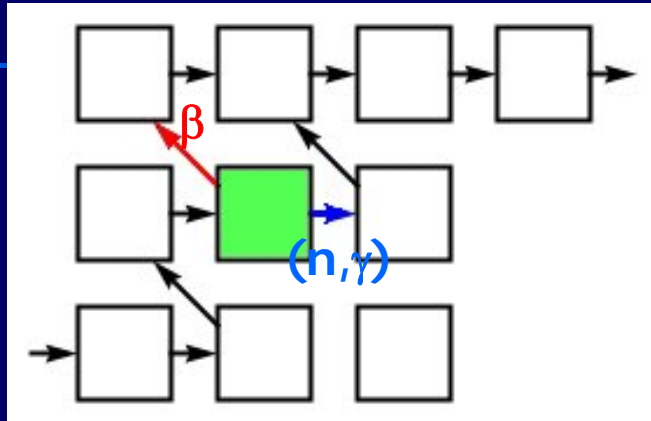
$\Rightarrow \Phi_n \sim 1000 \text{ n/s/cm}^2/\text{eV}$ なら $\sigma \sim 10 \text{ mb}$ の測定に必要な標的は $\sim 10 \mu\text{mol}$!

実際には標的からの放射能および散乱中性子がバックグラウンドを作る。

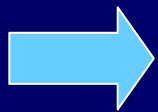
s-過程における経路分岐



同位体比異常、宇宙核年代学



$$\frac{d[A]}{dt} = [n][A-1] \cdot \sigma_{A-1} \cdot \langle v_n \rangle - [n][A] \cdot \sigma_A \cdot \langle v_n \rangle - [A] \cdot \lambda_\beta$$



分岐条件: $[n] \cdot \sigma_A \cdot \langle v_n \rangle \geq \lambda_\beta$

典型的な s-過程の環境では 中性子密度 $[n] \sim 10^8 \text{ [cm}^{-3}\text{]}$

中性子の平均速度 $\langle v_n \rangle \sim 2.2 \times 10^6 \text{ [m/s]}$

$\therefore \sigma_A = 1 \text{ mb} \Leftrightarrow \lambda_\beta = 2.2 \times 10^{-11} \text{ [s}^{-1}\text{]} \Leftrightarrow T_{1/2} = 1000 \text{ [y]}$

s-過程の経路の近傍で $T_{1/2} > \sim 1000\text{y}$ の核種(1)

Nuclide	$T_{1/2}$ [y]	Q_{β} [MeV]	(n, γ) data
^{36}Cl	3.01×10^5	0.709	$\sigma_{\text{th}} = 10 \sim 90\text{b}$
^{39}Ar	269	0.565	NA
^{40}K	1.248×10^9	1.311	$\sigma_{\text{th}} = 30 \sim 70\text{b}$
^{41}Ca	1.02×10^5	(EC)	NA
^{53}Mn	3.74×10^6	(EC)	$\sigma_{\text{th}} = 66 \sim 170\text{b}$
^{60}Fe	1.5×10^6	0.181	NA
^{59}Ni	7.6×10^4	(EC)	$\sigma_{\text{th}} = 52 \sim 78\text{b}$
^{63}Ni	100.1	0.067	$\sigma_{\text{th}} = 20 \sim 26\text{b}$

s-過程の経路の近傍で $T_{1/2} > \sim 1000y$ の核種(2)

※ ピンク色の核種はヘリウム燃焼下で第1励起準位の占有率が無視できないもの

Nuclide	$T_{1/2}$ [y]	Q_{β} [MeV]	(n, γ) data
79Se	2.95×10^5	0.151	NA
81Kr	2.29×10^5	(EC)	NA
87Rb	4.81×10^{10}	0.283	13.9mb@25keV (n_TOF)
93Zr	1.53×10^6	0.091	115mb@25keV (ORELA)
91Nb	680	(EC)	NA
92Nb	3.47×10^7	(EC)	NA
94Nb	2.03×10^4	0.472	$\sigma_{th} = 13.6 \sim 15mb$
93Mo	4.0×10^3	(EC)	NA

s-過程の経路の近傍で $T_{1/2} > \sim 1000y$ の核種 (3)

Nuclide	$T_{1/2}$ [y]	Q_{β} [MeV]	(n, γ) data
97Tc	4.21×10^6	(EC)	NA
98Tc	4.2×10^6	0.398	$\sigma_{th}=2.6b$
99Tc	2.11×10^5	0.294	1~1.5b@25keV
107Pd	6.5×10^6	0.034	1.53b@25keV (ORELA)
115In	4.41×10^{14}	0.496	0.78~1b@24keV
126Sn	2.30×10^5	0.25	$\sigma_{th}=0.59b$ (Beijing)
129I	1.57×10^7	0.154	0.45b@25keV (GELINA)
135Cs	2.3×10^6	0.269	0.18b@25keV (KfK)
137La	6×10^4	(EC)	NA
138La	1.02×10^{11}	0.255	$\sigma_{th}=57.2b$

s-過程の経路の近傍で $T_{1/2} > \sim 1000y$ の核種(4)

Nuclide	$T_{1/2}$ [y]	Q_β [MeV]	(n, γ) data
144Nd	2.29×10^{15}	(α)	80~105mb@25keV (KfK, Fei)
146Sm	1.03×10^8	(α)	NA
147Sm	1.06×10^{11}	(α)	1.5~2.5b@25keV
148Sm	7×10^{15}	(α)	0.25~0.3b@25keV
150Gd	1.79×10^6	(α)	NA
152Gd	1.08×10^{14}	(α)	1b@25keV (KfK)
158Tb	180	0.838	NA
154Dy	3.0×10^6	(α)	NA
176Lu	3.76×10^{10}	0.593	1.6~2.2b@30keV (KfK, ORELA)

s-過程の経路の近傍で $T_{1/2} > \sim 1000y$ の核種 (5)

Nuclide	$T_{1/2}$ [y]	Q_{β} [MeV]	(n, γ) data
174Hf	2.0×10^{15}	(α)	980mb@25keV (KfK)
180Ta*	$>1.2 \times 10^{15}$	(IT)	NA
186Re*	2.0×10^5	(α)	NA
187Re	5.0×10^{10}	0.0026	1.5~1.8b@25keV
186Os	2.0×10^{15}	(α)	4~400mb@30keV (!)
190Pt	6.5×10^{11}	(α)	$\sigma_{th}=90\sim 152b$
205Pb	1.73×10^7	(EC)	$\sigma_{th}=4.5b$ (LANL)
208Bi	3.68×10^5	(EC)	NA
210Bi*	3.04×10^6	(α)	$\sigma_{th}=54mb$

実験上の制約

- 標的核の製造： 安定核の熱中性子捕獲または核分裂生成片

例： $^{35}\text{Cl}(n_{\text{th}},\gamma)^{36}\text{Cl}$ (43.7b) \Rightarrow ^{36}Cl 生成率： $2 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ @JRR-3

--- 1molの ^{35}Cl 、5000s照射で $10\mu\text{mol}$ 生成

- 標的核の放射能：

例： ^{36}Cl ($T_{1/2} = 3.01 \times 10^5 \text{ y}$)、 $10\mu\text{mol} \Rightarrow 0.43\text{MBq} < 1\text{MBq}$

$\sigma_{A-1}^{\text{th}} \cdot \sigma_A^{\text{keV}} \cdot T_{1/2} > 1000 \text{ [b}^2 \cdot \text{y]}$ であれば同様に測定可能

σ_{A-1}^{th} ; (N-1,Z)核の熱中性子捕獲断面積

σ_A^{keV} ; 標的核 (N,Z) のkeV中性子捕獲断面積

$T_{1/2}$; 標的核の半減期

Part I. まとめ

- s-過程経路近傍で $T_{1/2} > \sim 1000\text{y}$ の核: 44核種

- そのうち J-PARC/MLF/BL04で比較的容易に測定できる核: 26核種

^{36}Cl , ^{40}K , ^{41}Ca , ^{59}Ni , ^{79}Se , ^{87}Rb , ^{93}Zr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{107}Pd , ^{115}In , ^{135}Cs , ^{138}La , ^{144}Nd ,
 ^{147}Sm , ^{148}Sm , ^{152}Gd , ^{176}Lu , ^{174}Hf , $^{180}\text{Ta}^*$, $^{186}\text{Re}^*$, ^{187}Re , ^{186}Os , ^{190}Pt , ^{205}Pb , $^{210}\text{Bi}^*$

※ グリーンの核種は p-process (γ -process)に関連

※ これらはいずれも従来の実験データが無い or 不十分である。

- $^{10}\text{Be}(n,\gamma)^{11}\text{Be}$ (^{10}Be ; $T_{1/2}=1.6 \times 10^6 \text{y}$) \Leftrightarrow ^{11}Be クーロン分解

- 熱中性子捕獲で製造できない RI標的($\sim 10\text{mmol}$ が目安)を
どのようにしてつくるか? (d,p)? 核分裂?

BL05 “NOP”

(平成19年度～23年度 学術創成研究)

3分岐上流光学系; スーパーミラーで角度をつけ、高エネルギーガンマ線バックグラウンドを回避

高偏極ブランチ $6 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MW}^{-1}$

大強度ブランチ $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MW}^{-1}$

低分散ブランチ $8 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MW}^{-1}, 10^{-6} \text{ sr}$

中性子光学技術;

High-Q スーパーミラー (m=5)

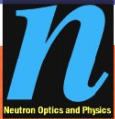
磁気レンズ、物質レンズ

超高偏極ビーム ($P=0.9993 \pm 0.0059 @ 0.95 \text{ nm}$)

高速スピントリッパー (S/N=10 for single stage)

Neutron Optics and Physics (NOP)

A Beamline for Neutron Fundamental Physics

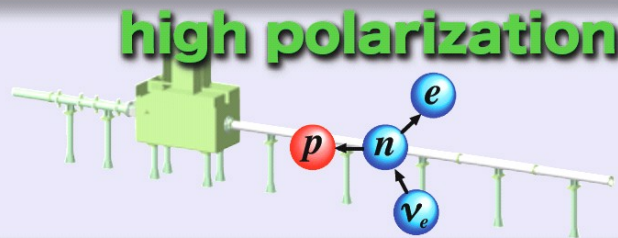


BL05 Coupled Moderator

3 Beam Branches

“Decay”

- decay parameters
- unitarity of CKM matrix
- T-violation
- nucleosynthesis



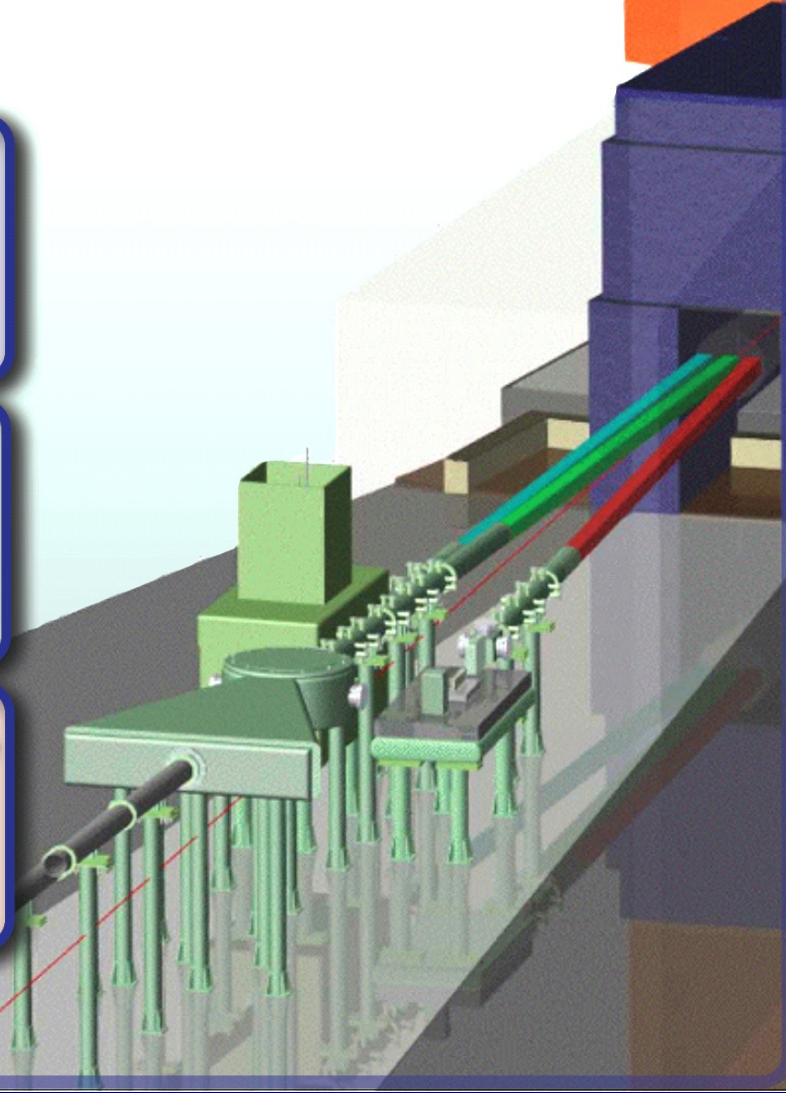
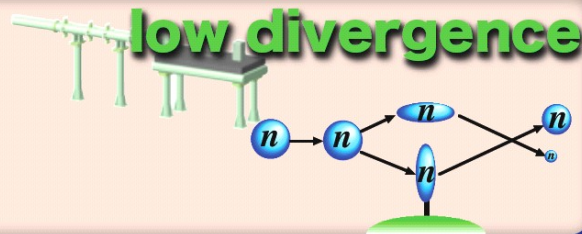
“Scattering”

- unknown medium range force
- large extra-dimension
- charge symmetry of nuclear force etc.



“Interference”

- gravitational phase shift
- Aharonov-Casher effect etc.



J-PARC BL05 NOP

3分岐上流光学系

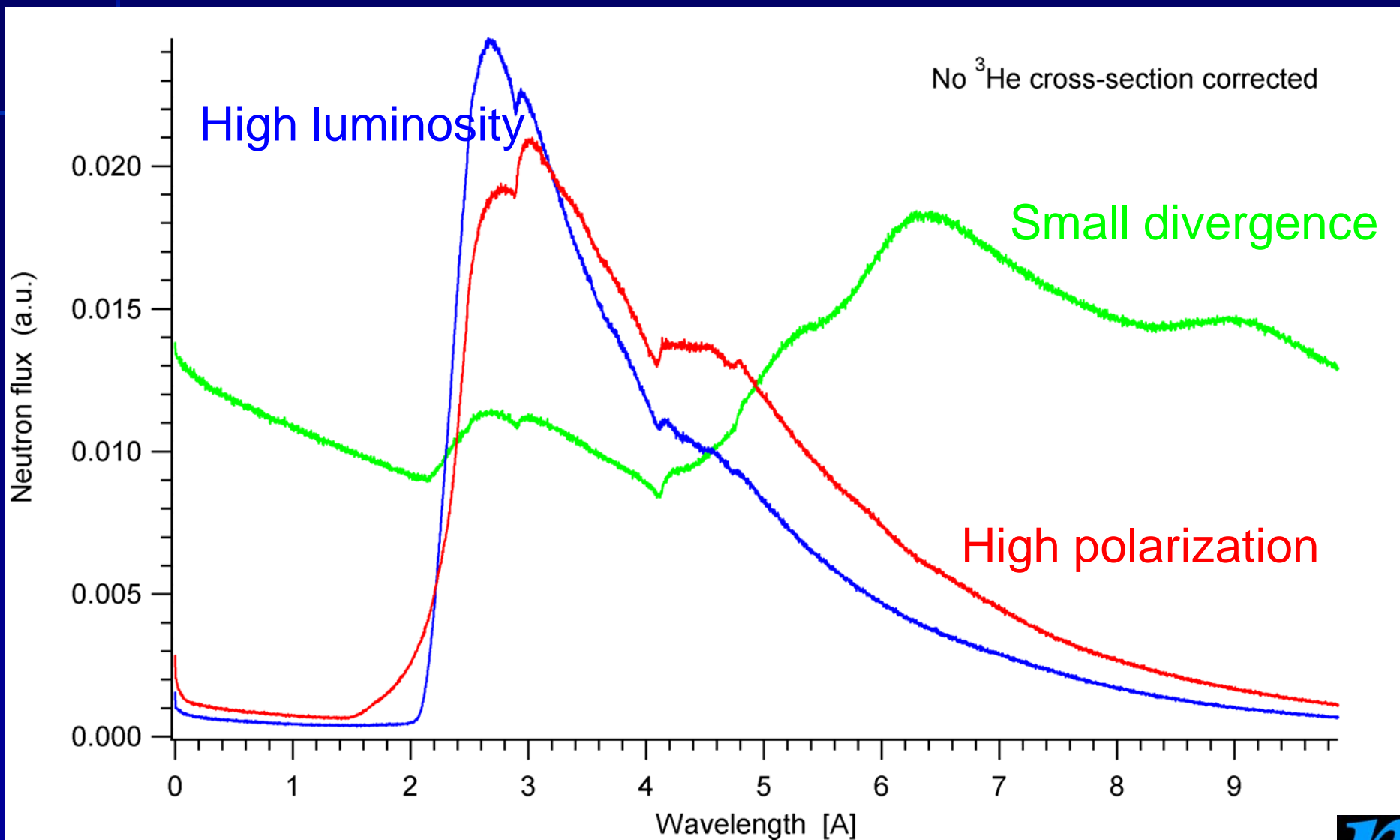
大強度ブランチ

高偏極ブランチ

低発散ブランチ

2008/12/04

Neutron spectra



II. 中性子寿命とビッグバン元素合成

Neutron Life-Time Measurement at J-PARC/MLF/BL05

NOP Collaboration

三島賢二, 猪野隆, 竹谷薫, 吉岡瑞樹, 武藤豪, 森嶋隆裕,
清水裕彦, 嶋達志^A, 佐藤広海^B, 広田克也^B, 大竹淑恵^B,
酒井健二^C, 佐貫智行^D, 鈴木善明^D, 舟橋春彦^E,
北口雅暁^F, 日野正裕^F, 關義親^G, 山下了^H, 音野瑛俊^H
and NOP Collaboration

KEK, 阪大RCNPA, 理研^B, JAEA^C, 東北大^D, 大阪電通大^E,
京大炉^F, 京大理^G, 東大理^H

Physical interests (part I):

Unitarity of Cabbibo-Kobayashi-Maskawa matrix

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{G}_V = \mathbf{G}_F \cdot \mathbf{V}_{ud}$$

Life-time

$$ft(1 + \Delta_R)(1 + \delta_R) = \frac{k}{|\mathbf{V}_{ud}|^2 G_F^2 (1 + 3\lambda^2)}$$

Asymmetry

$$\lambda = \frac{G_A}{G_V} \quad A_0 = -2 \frac{\lambda(\lambda + 1)}{1 + 3\lambda^2}$$

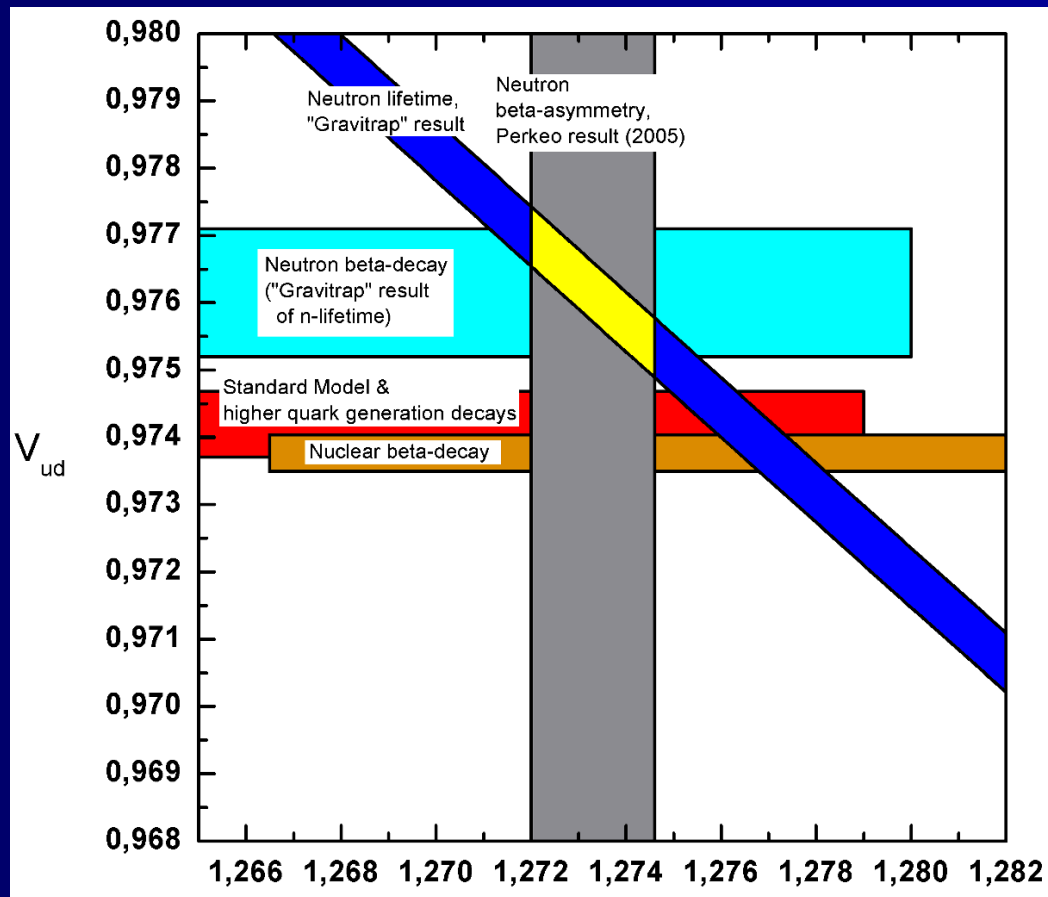
$$|\mathbf{V}_{ud}|^2 = \frac{4908.7 \pm 1.9 \text{ s}}{\tau_n (1 + 3\lambda^2)}$$

Data analysis with the most precise measurements of neutron decay

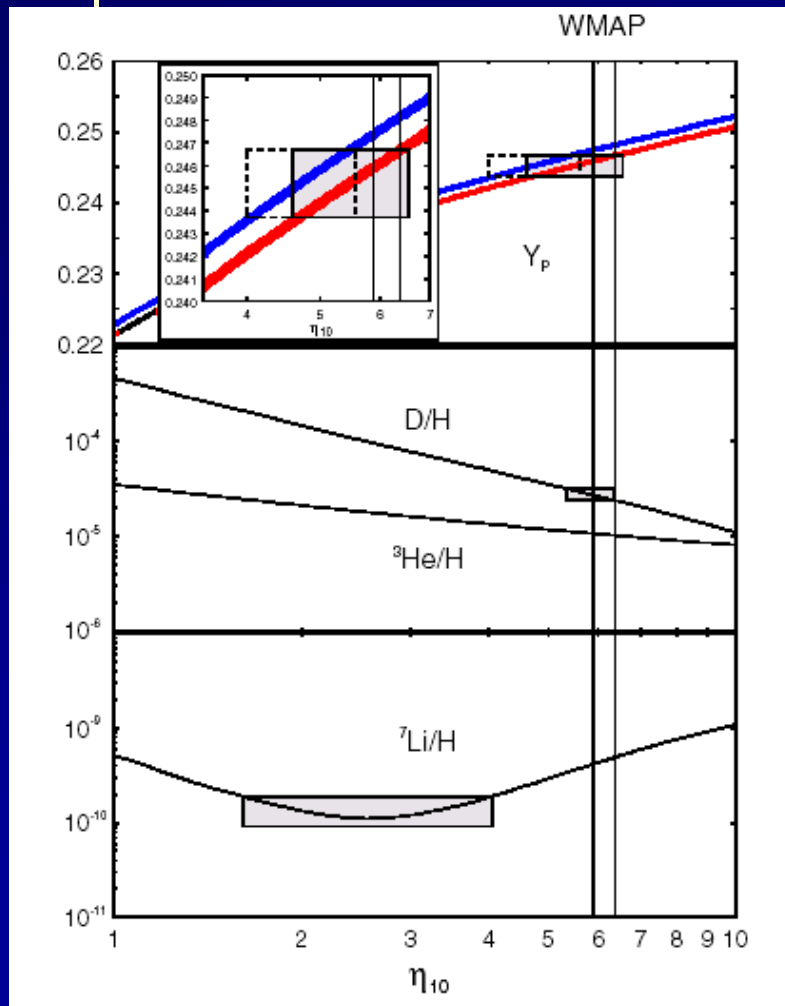
$$\tau_n = 878.5 \pm 0.8 \text{ s (Serebrov 2005)}$$

$$A = -0.1187(5) \quad (\text{PERKEO 2005})$$

$$\lambda = -1.2695(29)$$



Physical interests (part II): Big-bang nucleosynthesis (BBN)



— $\tau_n = 885.7 \pm 0.8$ s (PDG2004)

— $\tau_n = 878.5 \pm 0.7 \pm 0.3$ s (PNPI-ILL)

$$\Delta[{}^4\text{He}/\text{H}]({}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}:4\%) = 0.0022$$

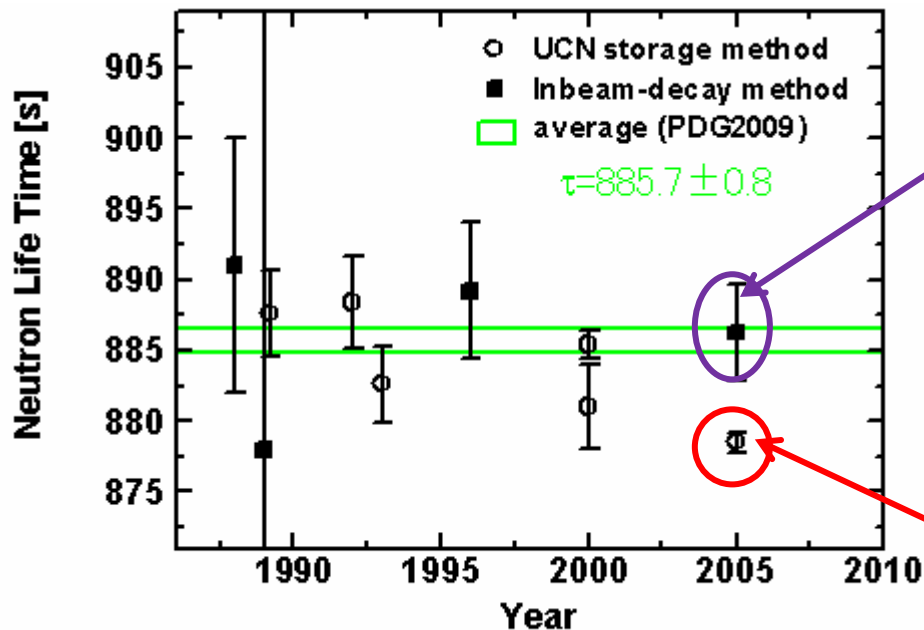
$$\Delta[{}^4\text{He}/\text{H}](\text{obs.}) = 0.003$$

$$\Delta[{}^4\text{He}/\text{H}](\tau_n:0.8\%) = 0.0017$$

G.J. Mathews, T. Kajino, T. S.
PRD71 (2005) 021302

History of Experiments

$$\tau_n = 885.7 \pm 0.8 \text{ sec (PDG2009)}$$



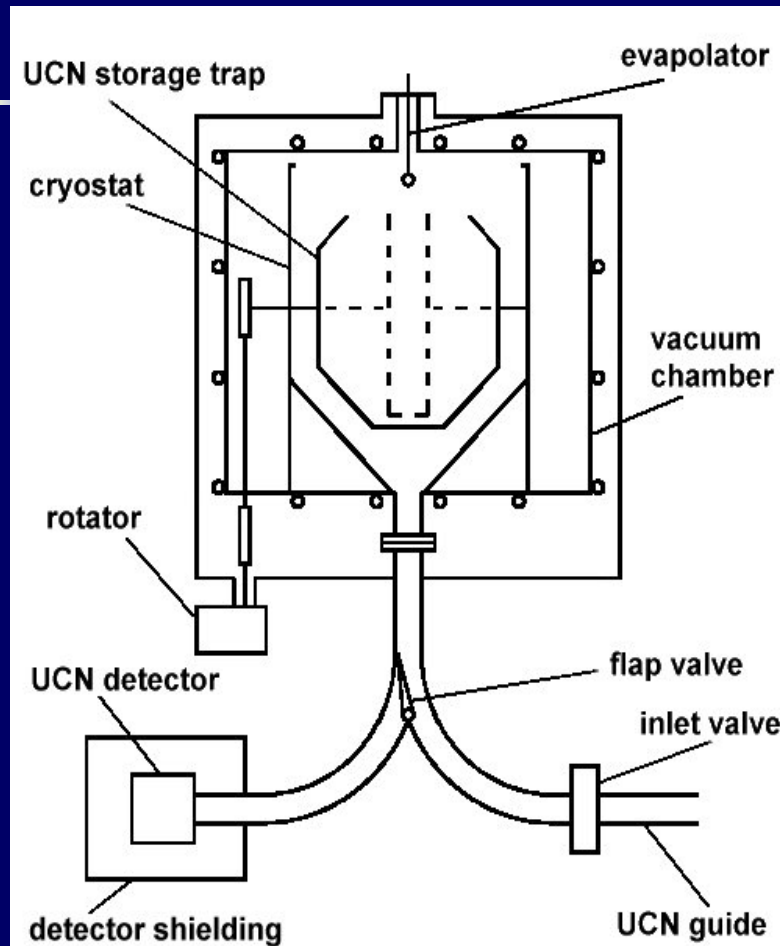
$886.3 \pm 1.2 \pm 3.2$
In-beam n , trapped p
J.S.Nico et al.

$878.5 \pm 0.7 \pm 0.3$
UCN Gravitational trap
A. Serebrov et al.

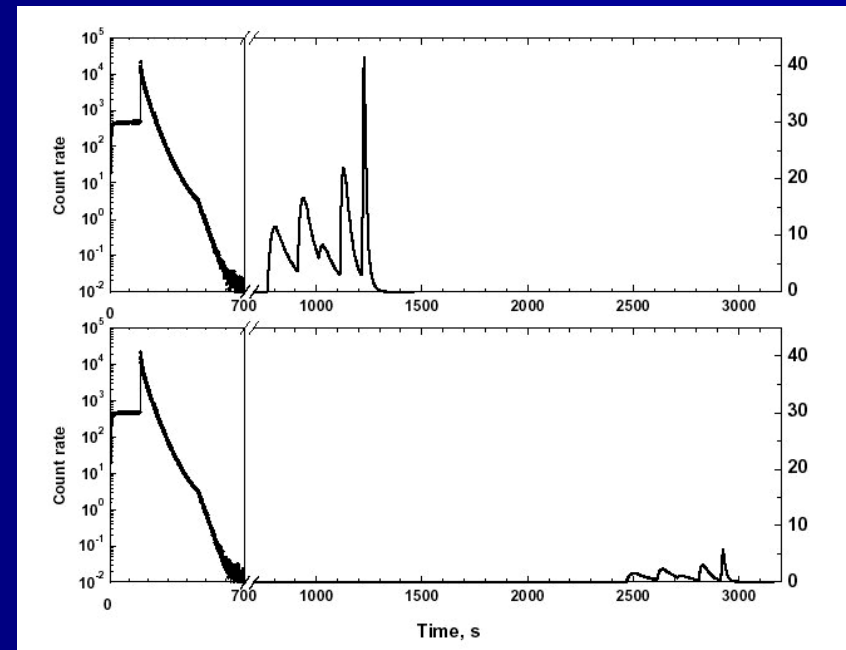
6.5 σ (0.8%) deviation!!

PNPI-ILL experiment

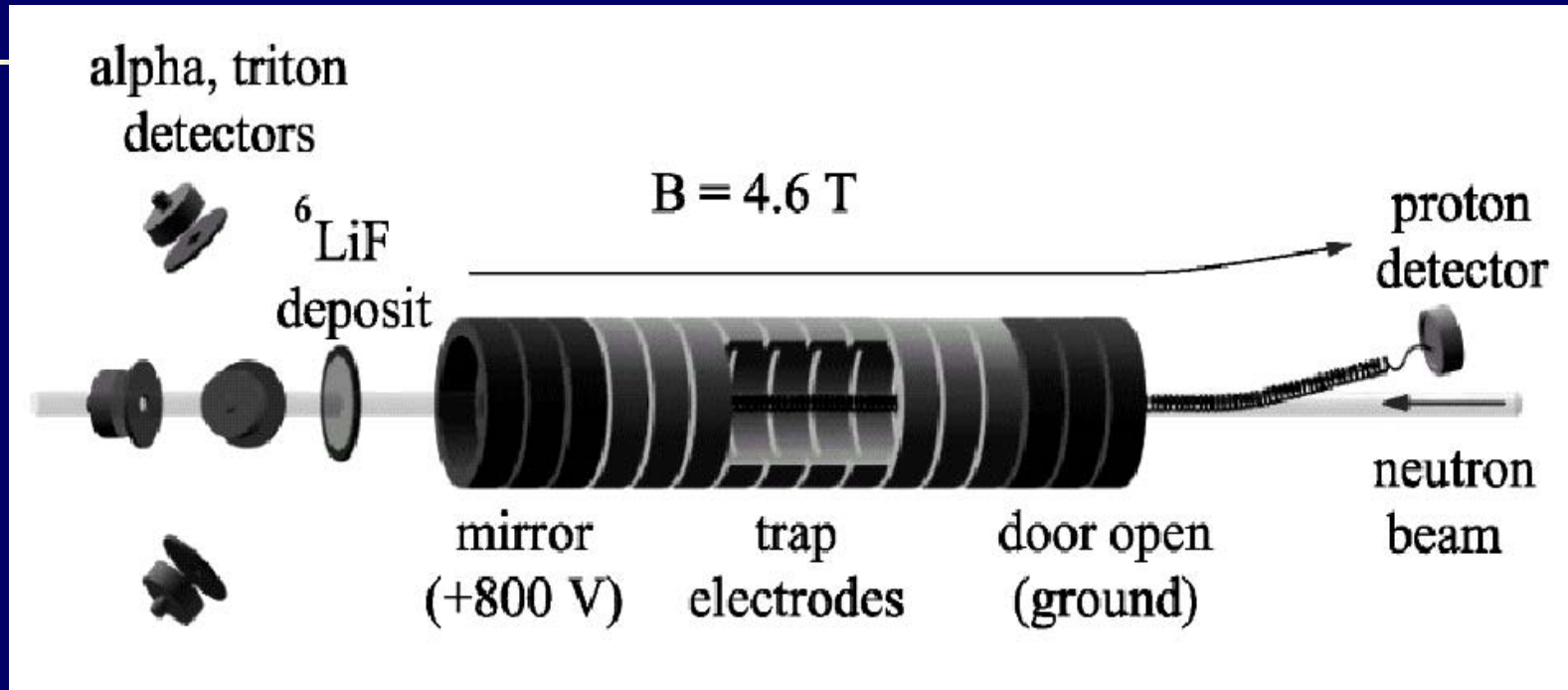
A.P.Serebrov et al., PRC78, 035505 (2008)



- Fomblin (no-H oil) coating
→ UCN loss; 2×10^{-6} /collision
- rotatable bottle
→ gravitational spectrometer



NIST experiment J.S.Nico et al., PRC71, 055502 (2005)



- 中性子のベータ崩壊からの陽子を磁力線で集めて計数
- 入射中性子数は ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ からの α , t を計数し、測定

Result

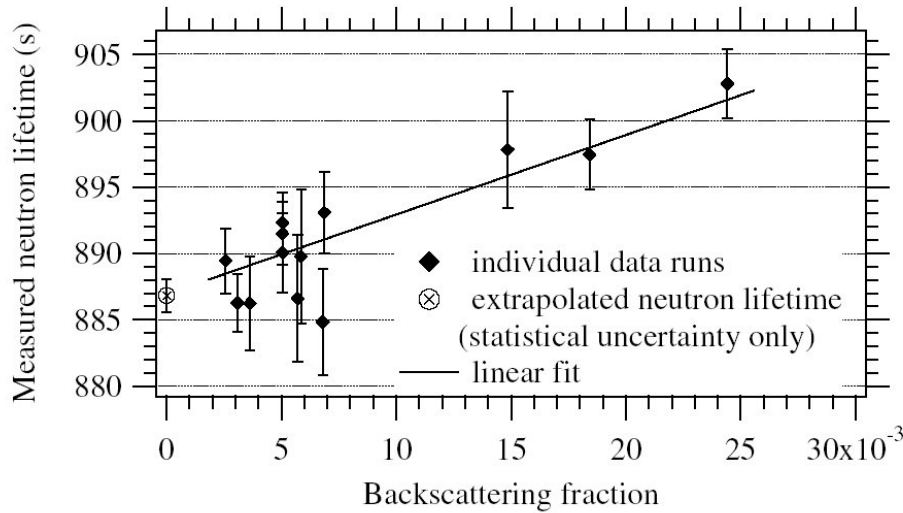


TABLE I. Summary of systematic corrections and uncertainties (in seconds) for the measured neutron lifetime.

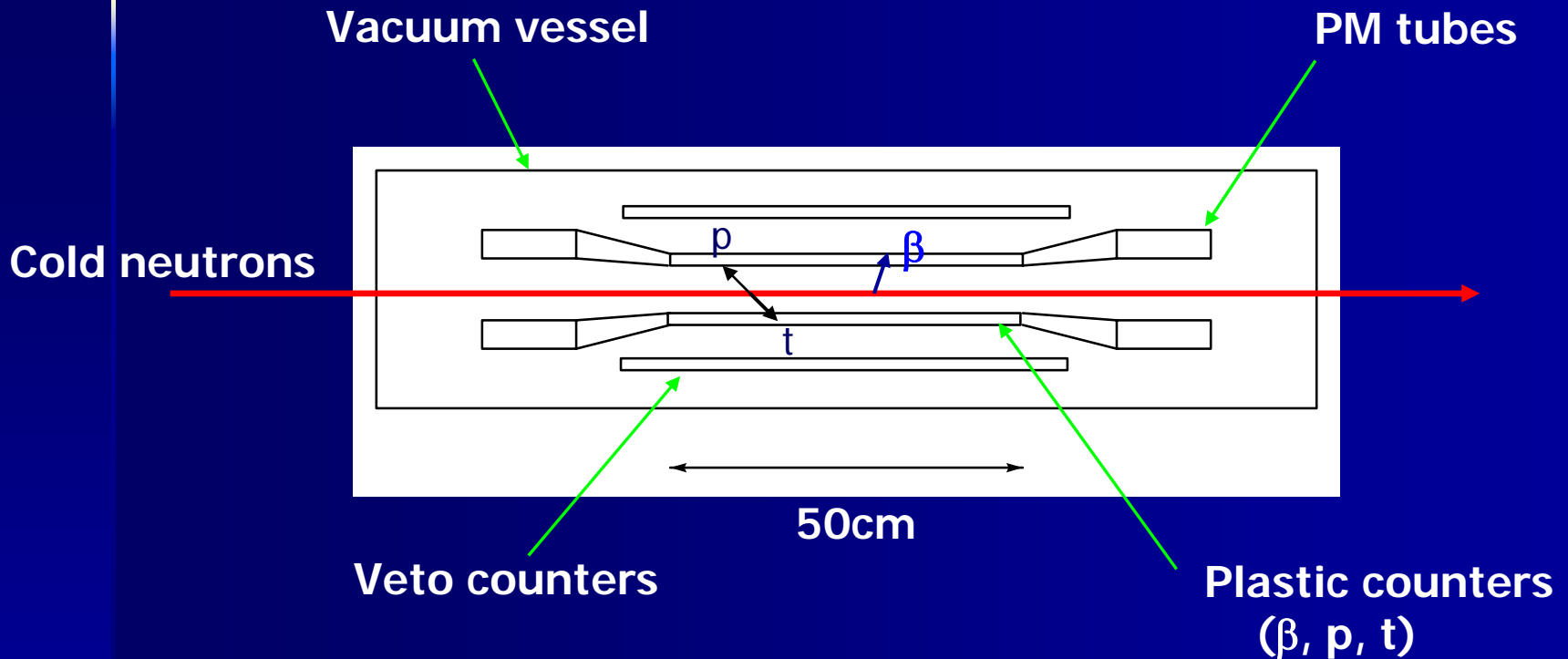
Source	Correction	Uncertainty
^6LiF foil areal density		2.2
^6Li cross section		1.2
Neutron detector solid angle	+1.5	1.0
Neutron beam halo	-1.0	1.0
LiF target thickness	+5.4	0.8
Trap nonlinearity	-5.3	0.8
Neutron losses in Si wafer	+1.3	0.5
^6LiF distribution in deposit	-1.7	0.1
Proton backscatter calc.		0.4
Proton counting statistics		1.2
Neutron counting statistics		0.1
Total	+0.2	3.4

$$\tau_n = 886.8 \pm 1.2 \text{ [stat]} \pm 3.2 \text{ [sys]} \text{ (sec)}$$

主な系統誤差は ^6Li の厚さ、 $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ 断面積、 α,t 検出用SSDの立体角。

Yasumi et al.

Neutron beta decay/ $^3\text{He}(n,p)^3\text{H}$



$$\frac{R_{\beta}}{R_{np}} = \frac{1}{\tau_n} \times \frac{1}{\rho_{^3\text{He}} \cdot \sigma_{np}(v_n) \cdot v_n} \times \frac{\Omega_{\beta}}{\Omega_{np}} \cdot \frac{\varepsilon_{\beta}}{\varepsilon_{np}} = \frac{1}{\tau_n} \times \frac{1}{\rho_{^3\text{He}} \cdot \sigma_{th} \cdot v_{th}} \times \frac{\varepsilon_{\beta}}{\varepsilon_{np}}$$

Error sources

Uncertainties in

- Effective volume
- Detector solid angles
- Scattering effects of neutrons and charged particles
- etc ...

since **trajectories** of neutrons and charged particles have **not been observed** in the above experiments.

Our method

Time Projection Chamber ($^{\text{nat}}\text{He} + ^3\text{He} + \text{CO}_2$)

- ⇒ E, dE/dx, track shape, direction, vertex position
- ⇒ particle ID, background rejection,
~100% detection efficiency for β , p, and t
insensitive to γ -rays,
well-defined effective volume and detector solid angle

J-PARC pulsed neutron source

- ⇒ neutron flux $\times 4@100\text{kW}$, $\times 40@1\text{MW}$,
compared to Kossakowski et al.

Spin-flip chopper

- ⇒ well-defined neutron beam profile (longitudinal)
provide TPC trigger

Statistics

- Neutron flux $\sim 5 \times 10^8 / \text{cm}^2 / \text{sec} / \text{MW}$

$\Rightarrow \Phi_n = 1.0 \times 10^6 \text{ n/sec}$ with

beam cross section $2\text{cm} \times 2\text{cm}$

divergence 5mrad

beam power 250kW

aperture of chopper 5%

- TPC effective region --- 1m long



Neutron β -decay rate $\sim 1.4\text{count/sec}$

10^{-2} for 2 hours, 10^{-3} for 8 days

Systematic errors

$$\tau_n^{-1} = \frac{R_e / \varepsilon_e}{R_p / \varepsilon_p} \rho_{^3\text{He}} \sigma_{^3\text{He}}(v_0) v_0$$

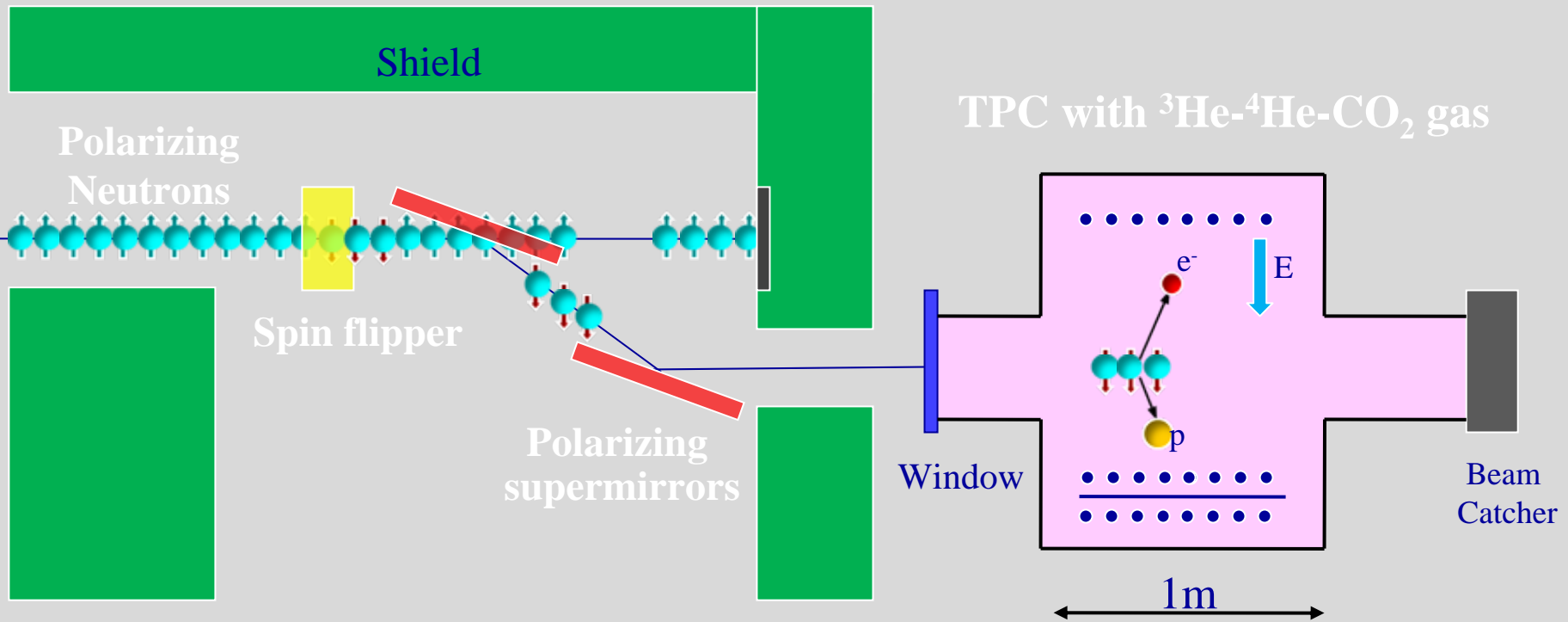
- Detection efficiencies for β , p , t --- 0.5% accuracy
- Density of ^3He atoms
 - measure total pressure of gas within 0.1%
 - $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio \rightarrow 0.5% achieved
- $^3\text{He}(n,p)^3\text{H}$ cross section at thermal
 - measured with 0.5% accuracy

Goal; 1% $\rightarrow\rightarrow\rightarrow$ 0.1% (total)

Background suppression

中性子バンチを整形することで、中性子がTPC内を通過する際に、他の中性子が物質と相互作用しないようにする。

そして、TPCの測定した軌跡から、 β 崩壊事象を同定する。



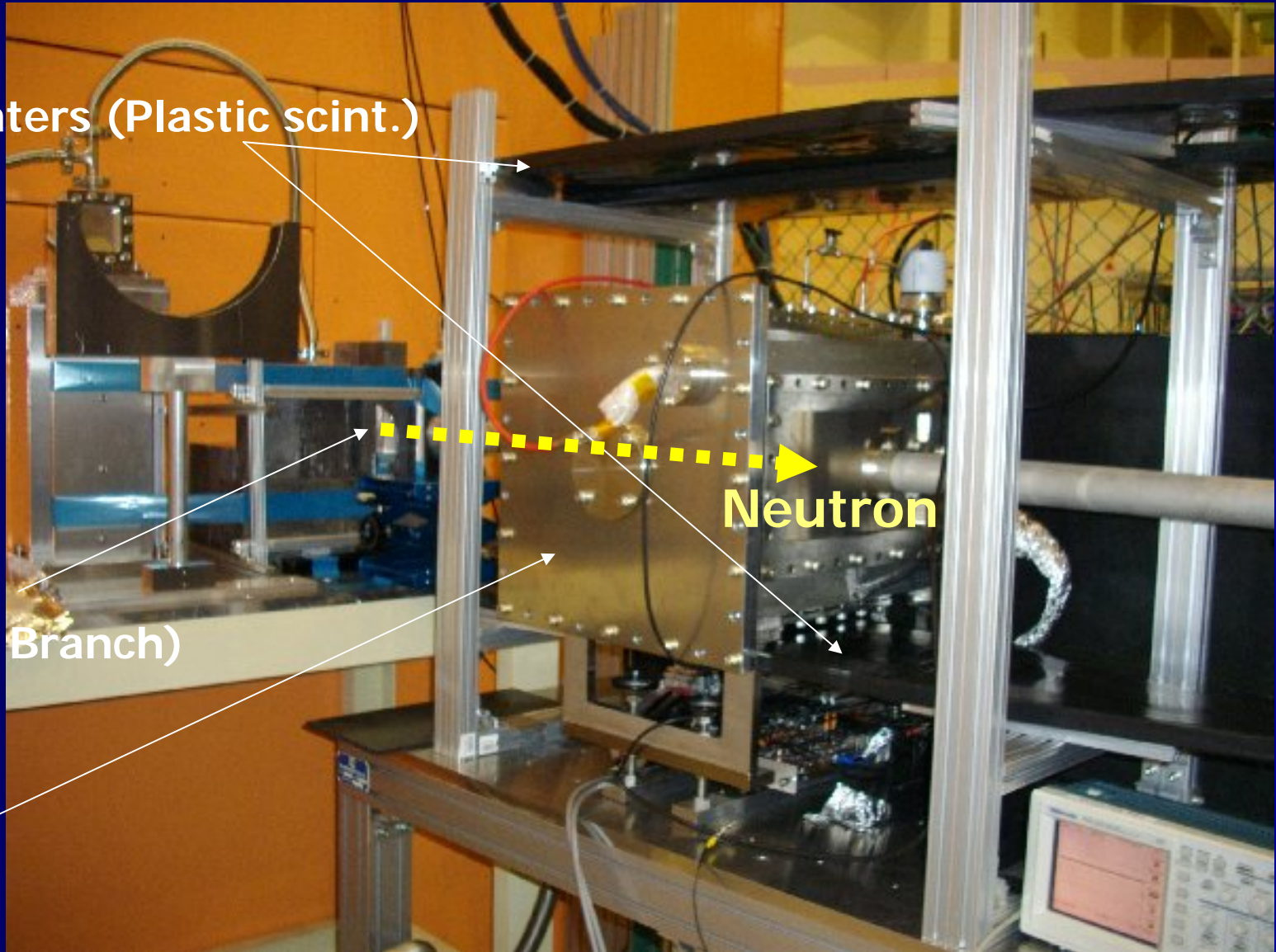
Experimental setup@J-PARC/MLF/BL05

Veto counters (Plastic scint.)

Beam port
(High-pol. Branch)

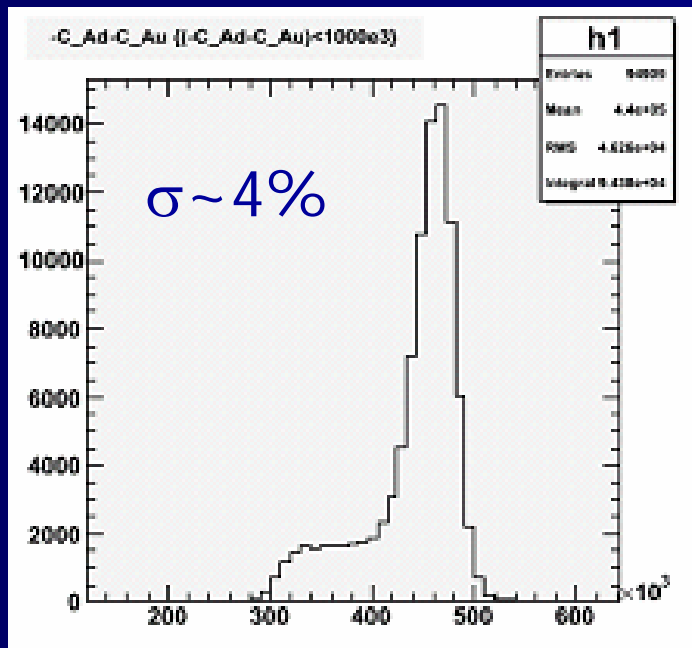
TPC

Neutron

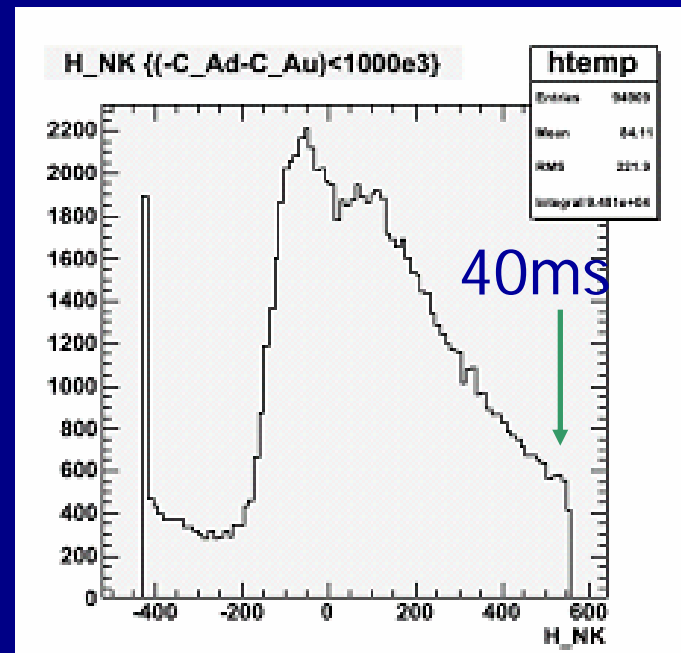


Preliminary Data (${}^3\text{He}(n,p){}^3\text{H}$)

Pulse Height Spectrum

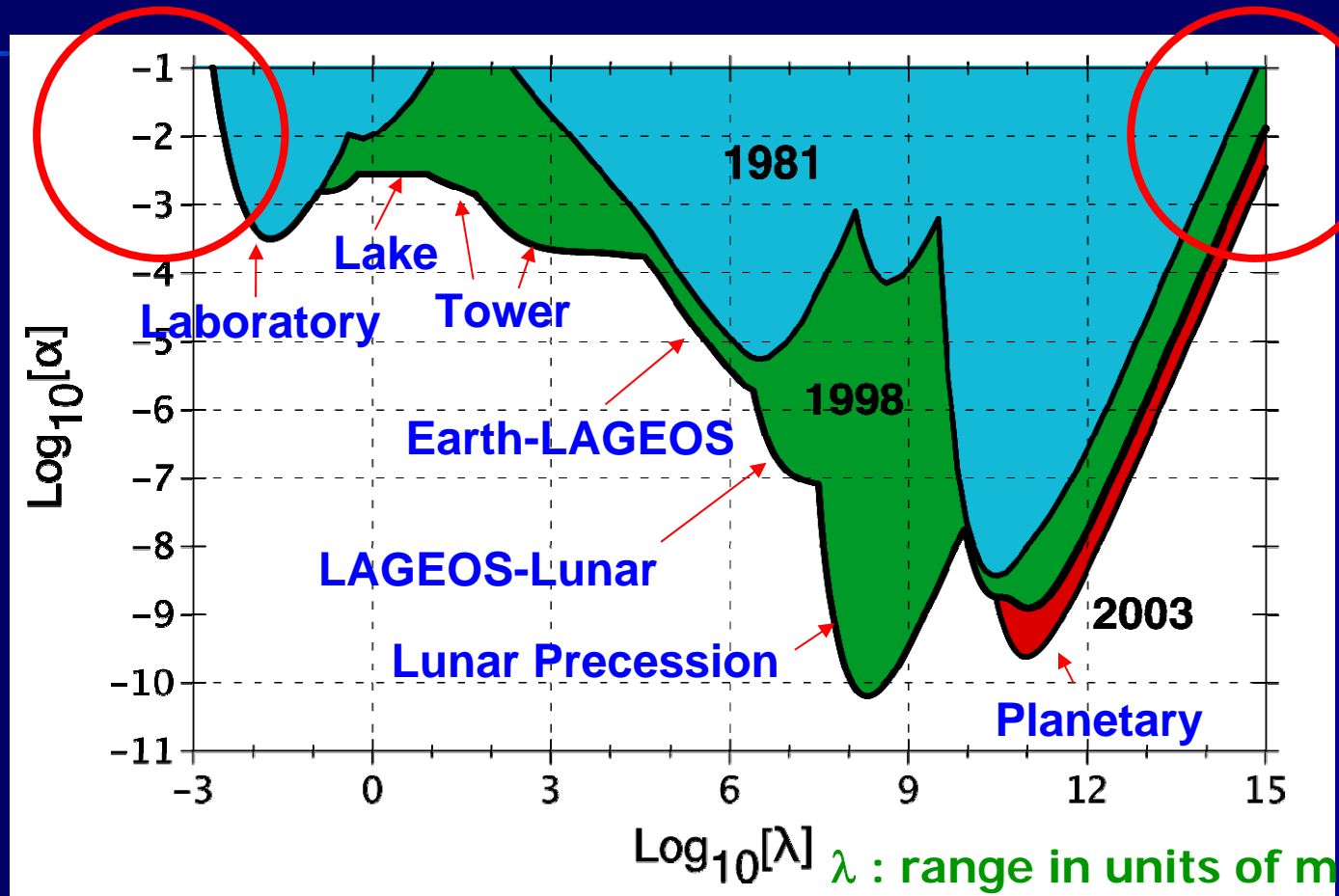


TOF Spectrum



III. 中性子-希ガス散乱による未知相互作用の探索

Test of Inverse-Square Law of Gravity



Reference: Coy, Fischbach, Hellings, Standish, & Talmadge (2003)

“大きな余剰次元” Large Extra Dimension

N.Arkanı-Hamed, S.Dimopoulos, G.Dvali, 1998

- なぜ重力は他の力に比べて極端に弱いのか？
- “階層性問題”に対して「超対称性」とは別の解

3次元空間における重力

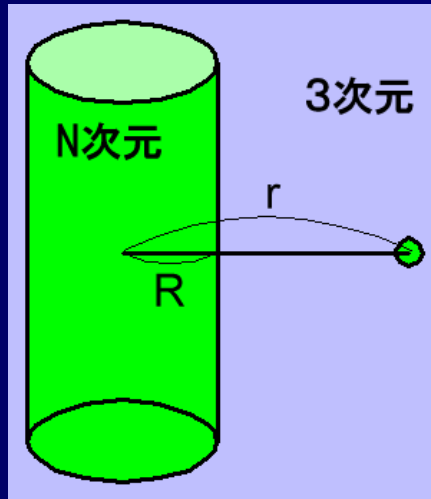
$$F_3(\mathbf{r}) = -G_3 \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad G_3 = \frac{hc}{M_P^2}$$

N次元空間における重力

$$F_N(\mathbf{r}) = -G_N \frac{m_1 m_2}{r^{N-1}}, \quad G_N = \frac{hc}{M_N^{N-1}}$$

ここで M_N は N次元のプランク質量 (特に $M_3 = M_P \sim 10^{19}$ GeV)

余剰次元 (N-3) は半径R*の空間に“コンパクト化”されており、 $r > R^*$ では通常の3次元空間とする。



$r = R^*$ では重力が連続的に接続されていなければならない。
すなわち

$$F_3(R^*) = F_N(R^*)$$

ゆえに

$$\frac{G_3}{R^{*2}} = \frac{G_N}{R^{*N-1}} \Rightarrow G_3 = G_N \frac{1}{R^{*N-3}}$$

--- R^* がプランク長さ 10^{-33} cmよりも非常に大きいから
3次元の万有引力定数が非常に小さい

Potential

Newtonian

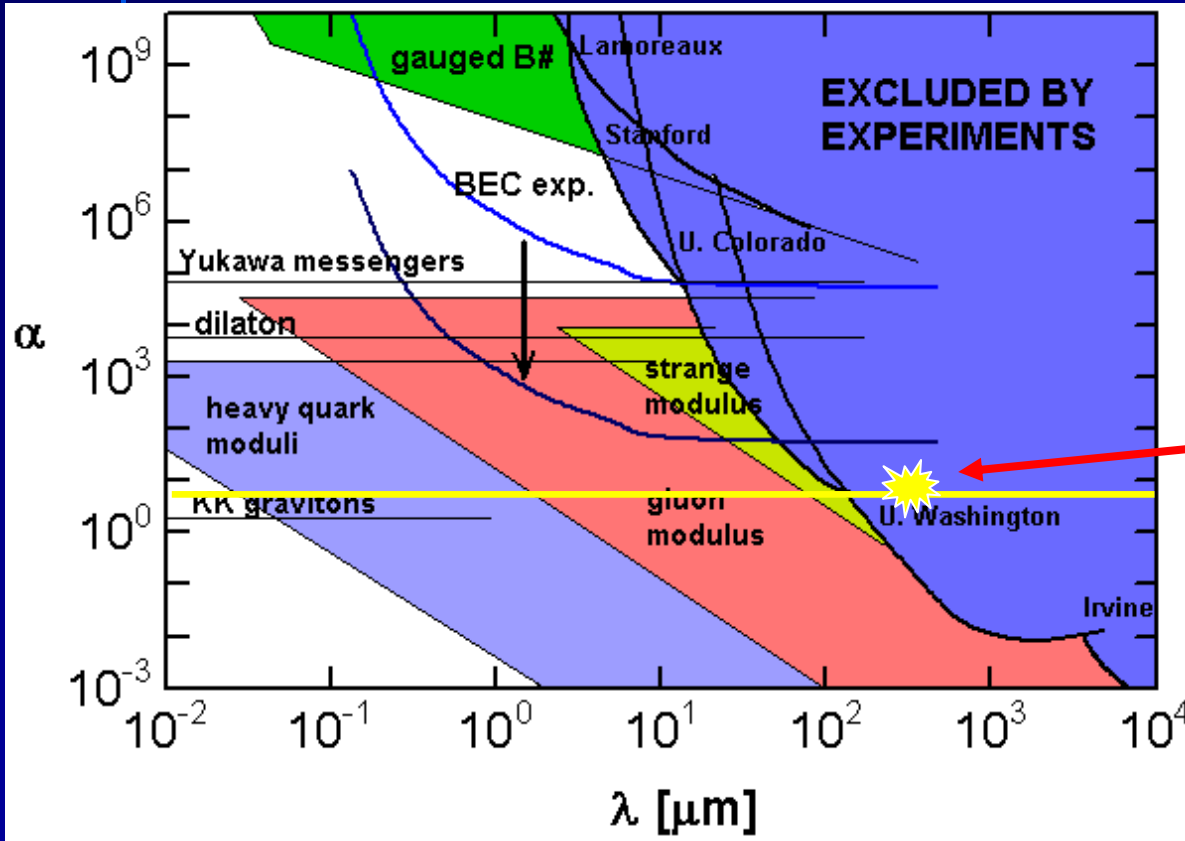
exotic interaction (Yukawa-type)

$$V_G(r) = V_g(r) \cdot (1 + \alpha \exp(-r/\lambda)) \quad \left(V_g(r) = -G \frac{M \cdot m}{r} \right)$$

Theoretical models:

- Large Extra Dimension (Arkani-Hamed, Dimopoulos, Dvali)
- Radion-mediated force
- Moduli coupling (exchange of string-theory scalars)
- Axion exchange
- Multi-particle exchange (axions, ν - $\bar{\nu}$, etc.)
- Vacuum-energy scenarios ("fat graviton" model)

Constraint on Non-Newtonian Gravity in Sub-millimeter Range



$$V_G = V_g (1 + \alpha \exp(-l/\lambda))$$

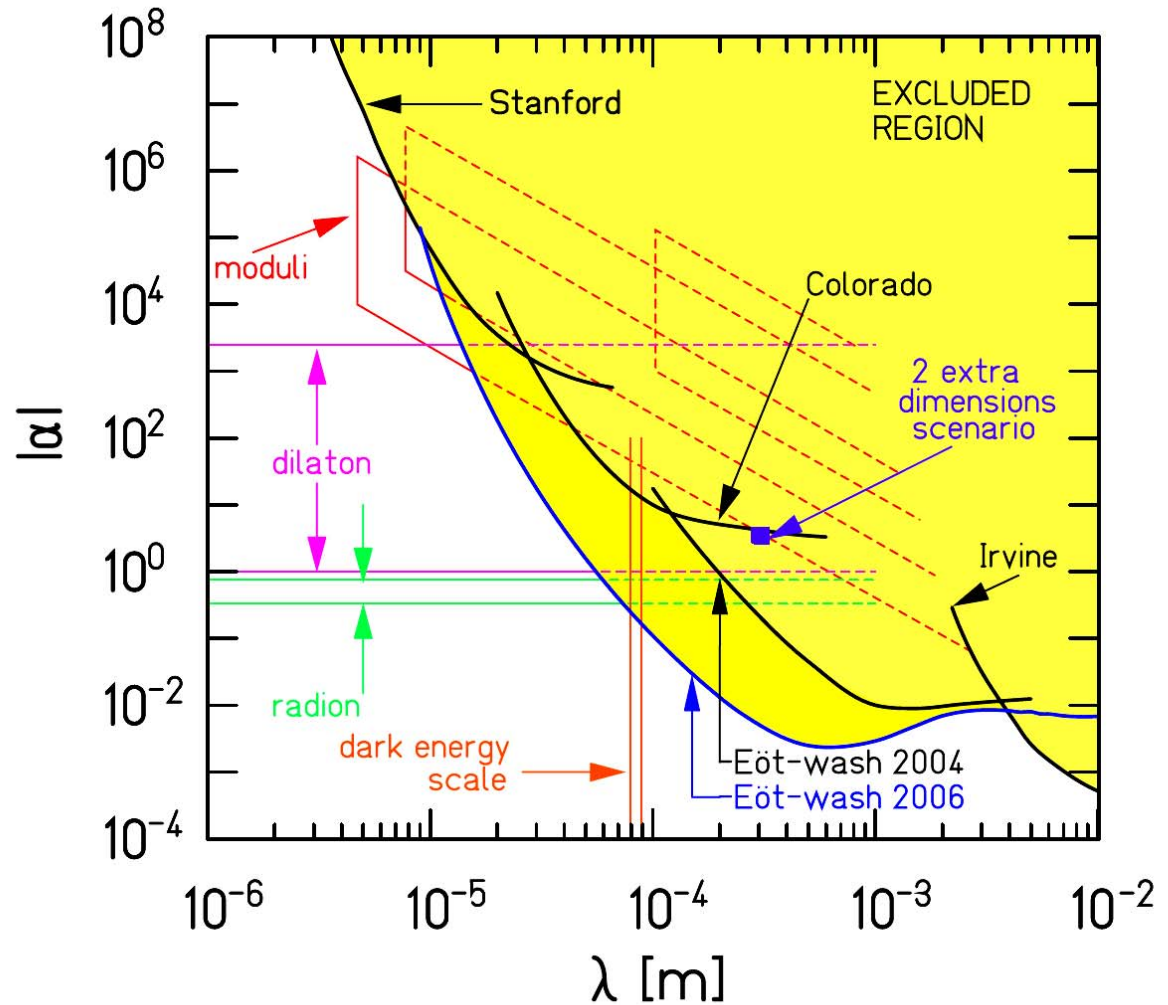
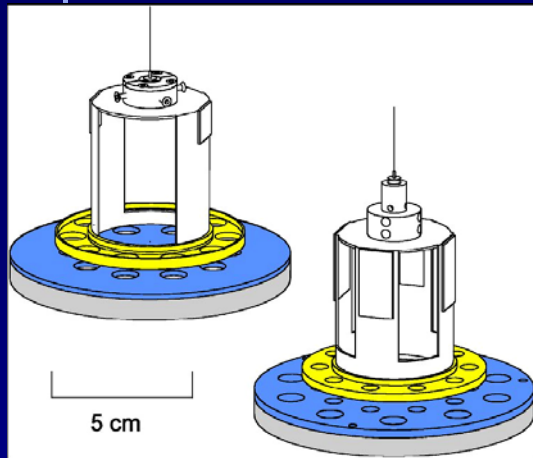
$$(V_g = -G \frac{M \cdot m}{l})$$

ADD ($n=2, M_N=1\text{TeV}$)

$$n = 3 \Rightarrow \lambda \approx 1.5 [\mu\text{m}]$$

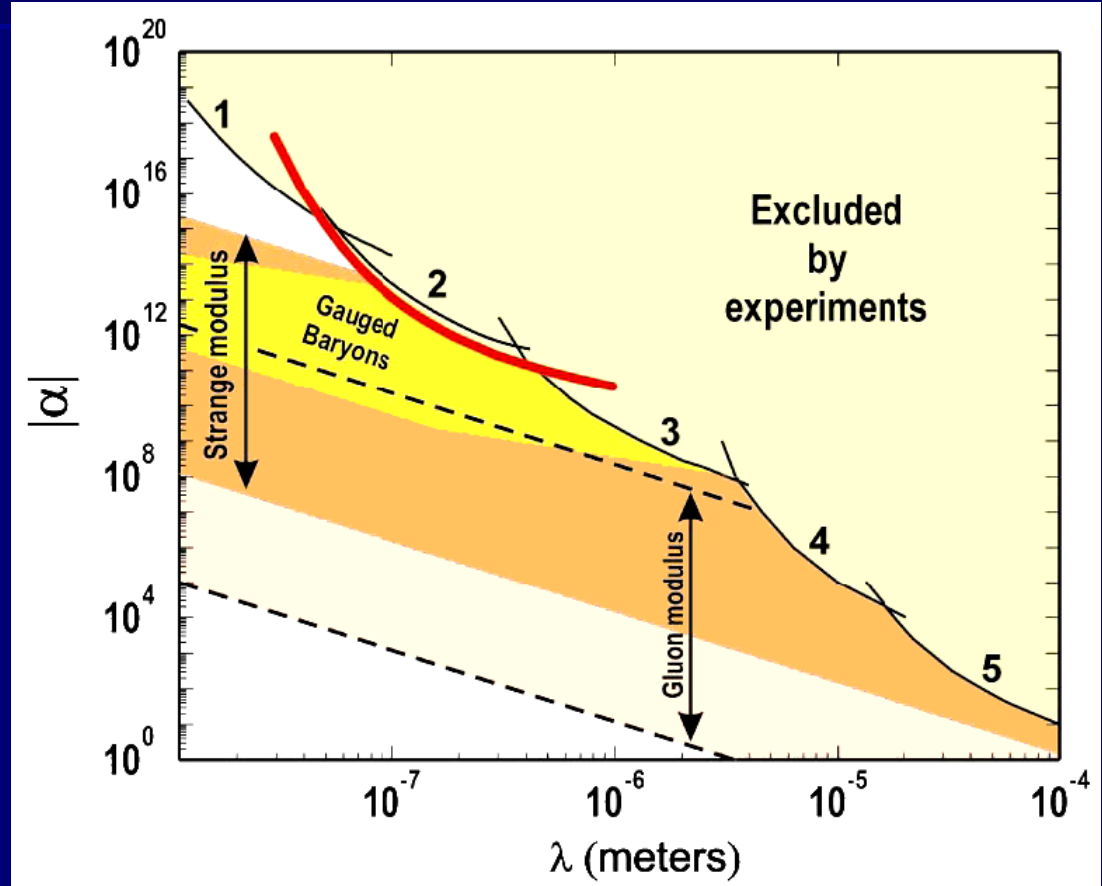
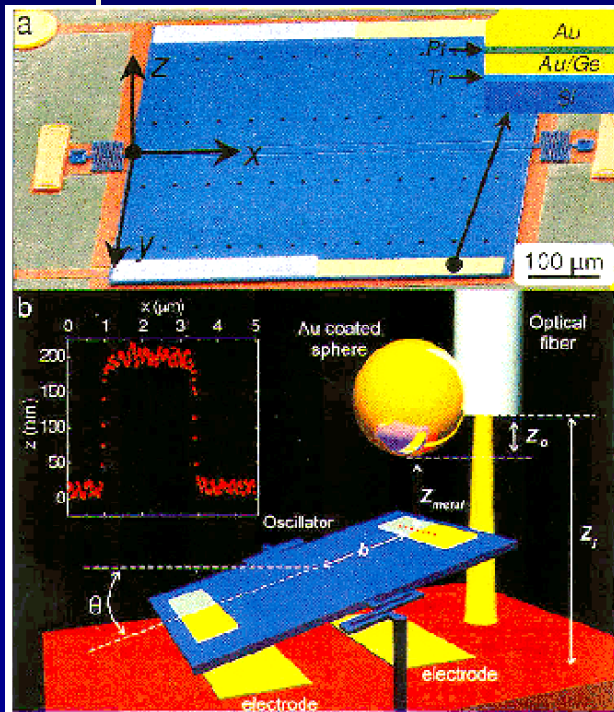
$$n = 4 \Rightarrow \lambda \approx 3.2 [\text{pm}]$$

Torsion-balance experiments



Hoyle et al. PRD70, 042004 (2004)
Kapner et al. PRL98, 021101 (2002)

Atomic Force Microscope



R.S. Decca et al. PRL94, 240401 (2005)

Background

Van der Waals force is dominant at $l < \sim 10\mu\text{m}$;
(Casimir-Polder)

$$U_c = -\frac{3\hbar c \alpha_0}{8\pi l^4}$$

Electric polarizability of atoms; $\alpha_0 \sim 10^{-24} \text{ cm}^3$

Neutron ; $\alpha_n \sim 10^{-42} \text{ cm}^3$

Search for New Intermediate-range Force via Neutron Scattering

Greene & Gudkov
Zimmer & Kaiser
Frank, Isacker & Gómez-Camacho

$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} = [a_N + a_{ne}ZF_e(\theta) + a_G F_G(\theta)]^2$$

$a_G \propto \alpha$

$$\cong a_N^2 + 2a_N a_{ne}ZF_e(\theta) + a_{ne}^2 Z^2 F_e(\theta)^2 + 2a_N a_G F_G(\theta)$$

a_N ; nuclear scattering amplitude

a_{ne} ; neutron-electron scattering amplitude

a_G ; gravitational scattering length

Z ; atomic number of target

$F_e(\theta)$; form factor for atomic electron

$F_G(\theta)$; gravitational form factor

Cross Section

(第1ボルン近似)

$$\frac{d\sigma_G(\theta)}{d\Omega} = 2 \cdot \sigma_N^{1/2} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{G \cdot m_n \cdot M}{4} \right) \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{m_n c^2} \left(\frac{\hbar c}{\lambda} \right)^2 + 8E_n \sin^2 \frac{\theta}{2}} \right)$$

G : coupling constant of Newtonian gravity

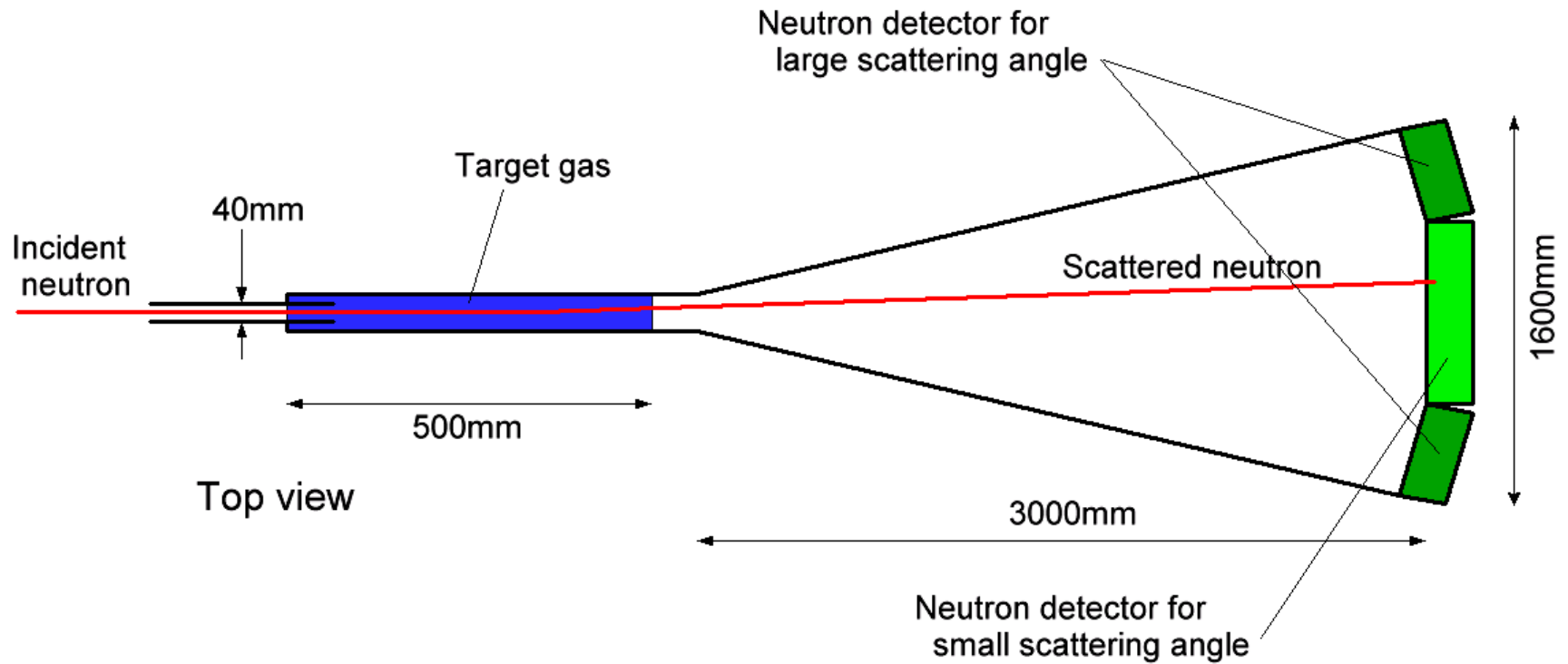
α : coupling constant of LED gravity

λ : range of non-Newtonian gravity

M : target mass

m_n : neutron rest mass

Experimental Setup



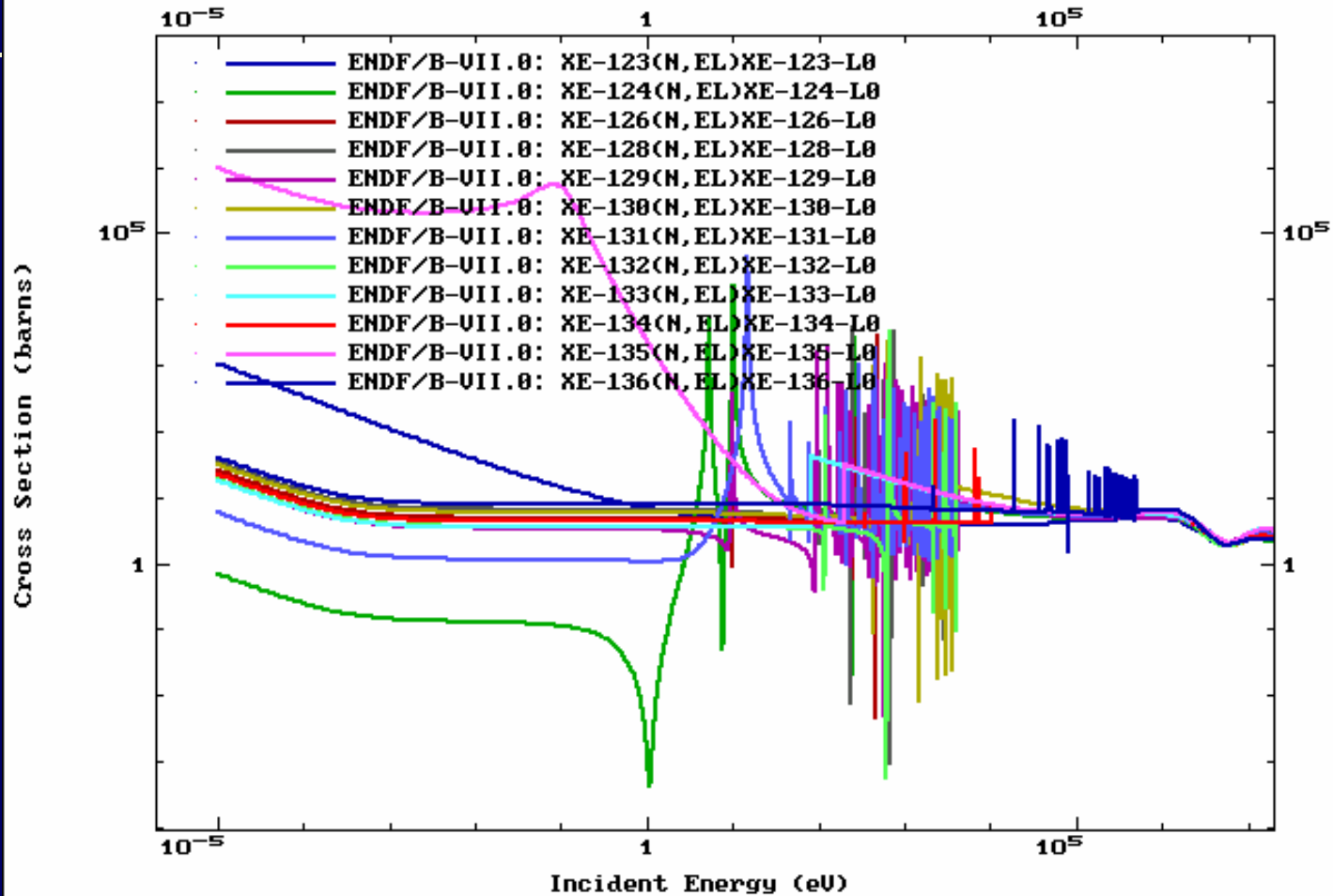
ターゲットに要求される条件

- “重い” こと (⇒ 重力に対する感度をかせぐ)
- 核散乱断面積が小さいこと
(⇒ 核散乱によるバックグラウンドを抑える)
- 希ガス原子
(⇒ 磁気モーメント間の相互作用の影響を抑える)
- 標的物質全体が均質であること
(⇒ 長距離相関の影響を抑える)



Xe、特に ^{124}Xe が好適

(n,n) cross sections of Xe isotopes



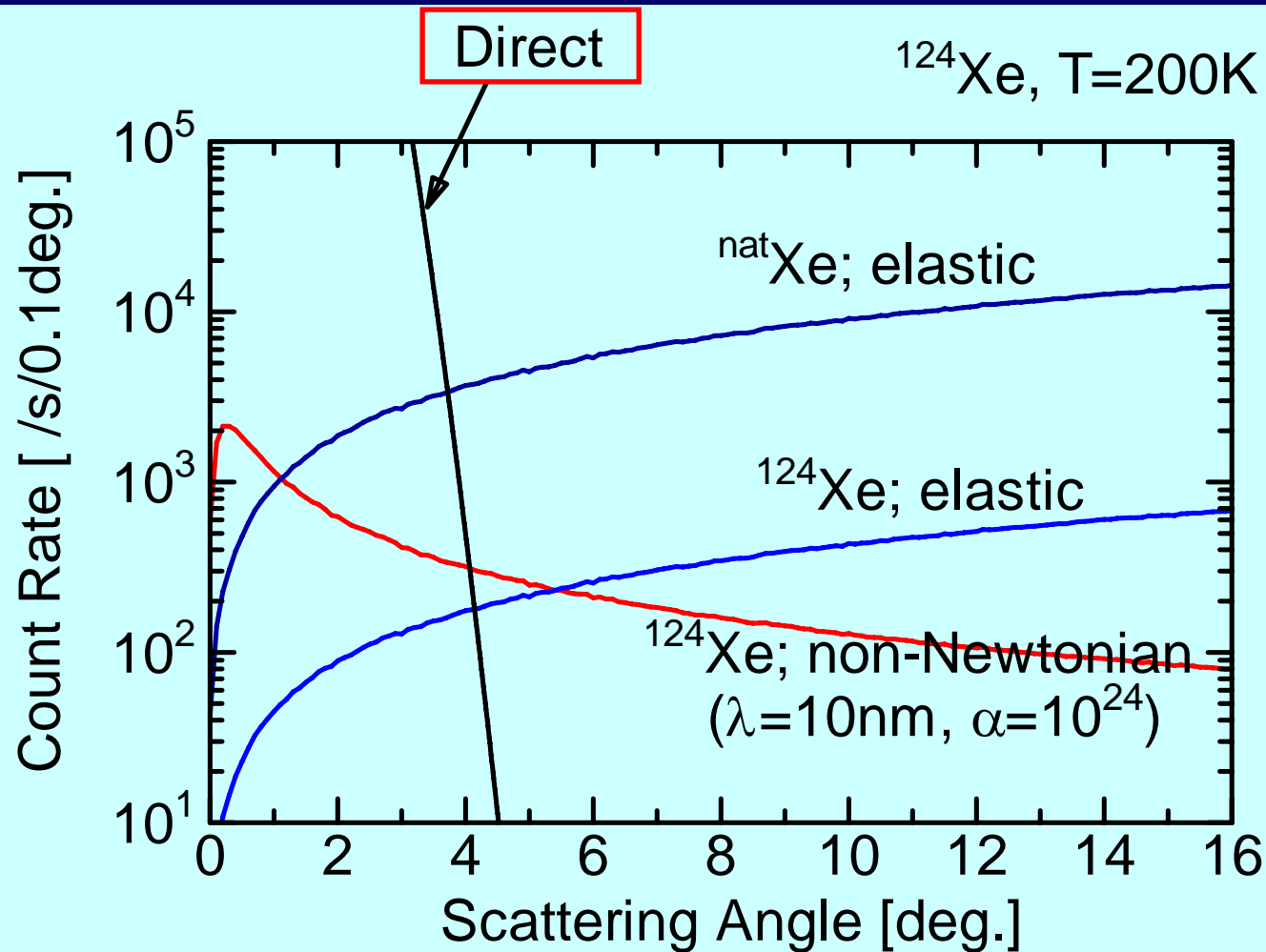
$$\sigma_N(\text{natXe}) = 2.96 \text{ b}$$

$$\sigma_N(^{124}\text{Xe}) = 0.141 \text{ b}$$

Counting rate; Xe

$$\sigma_N(\text{natXe}) = 2.96 \text{ b}$$

$$\sigma_N(^{124}\text{Xe}) = 0.141 \text{ b}$$

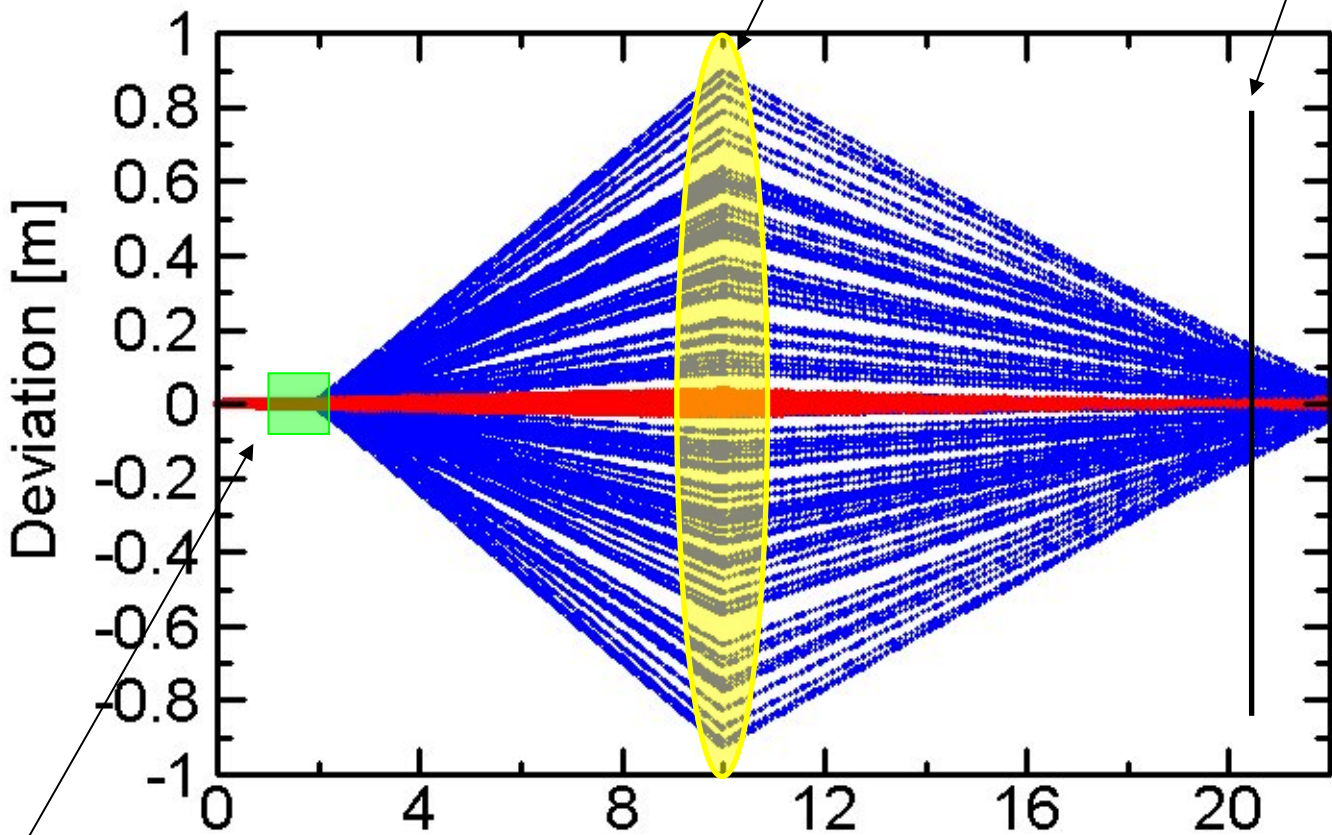


中性子をレンズで収束

— Direct — Scattered

Lens

Focal plane

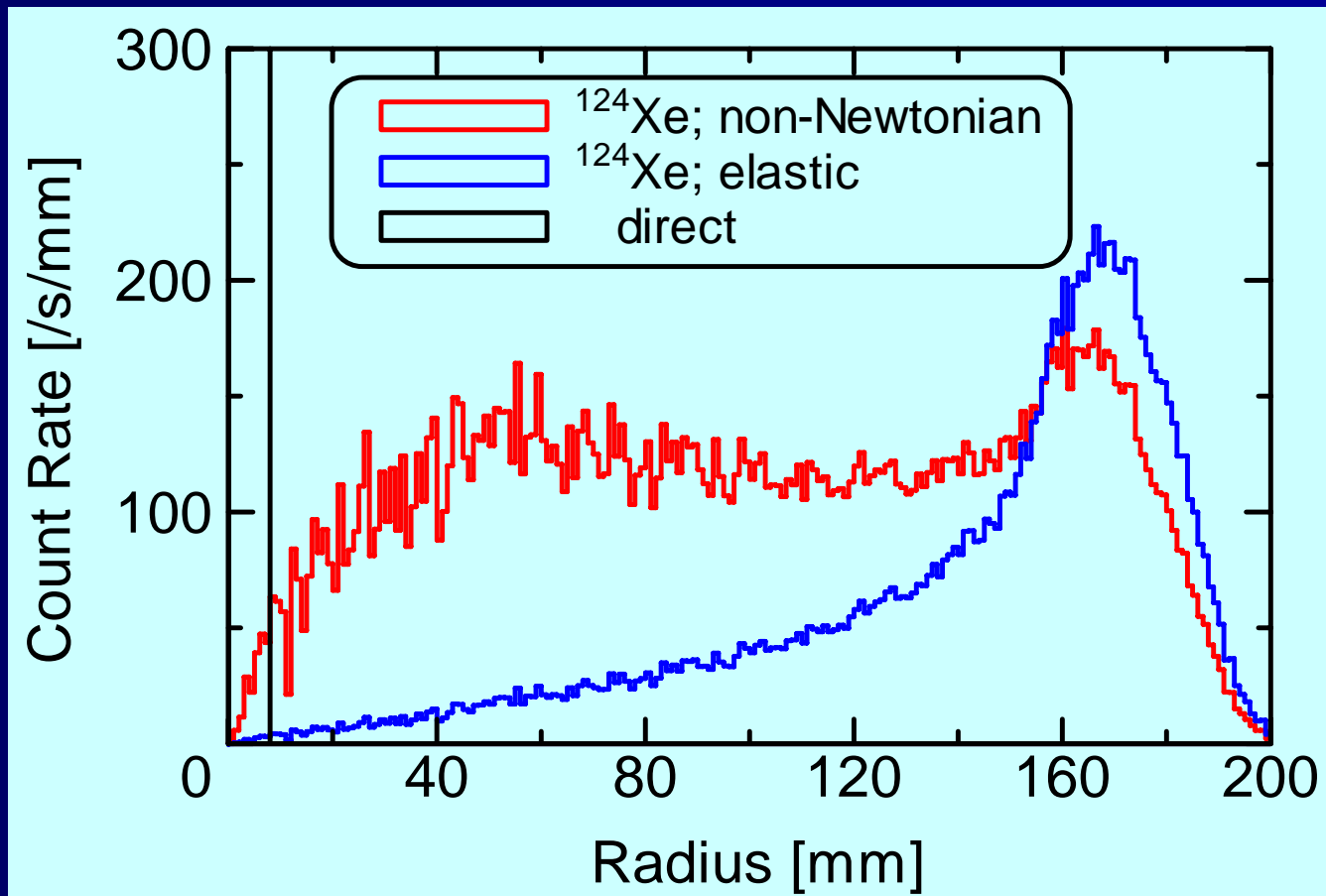


Gas target chamber

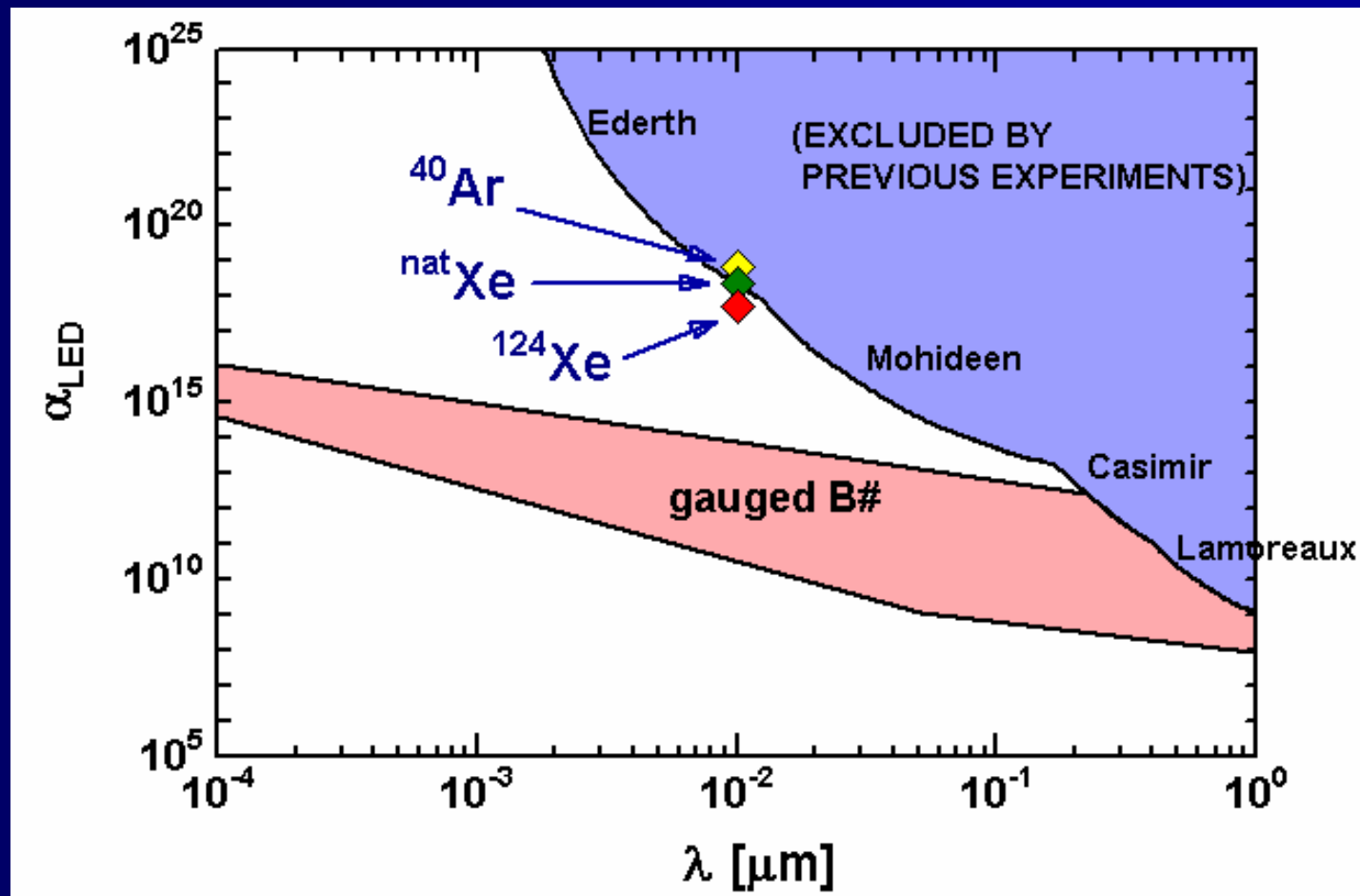
Flight Path [m]

Counting rate; Focusing-SANS

- 平均中性子速度: 630m/s、ビームサイズ 10mm × 10mm
- ターゲット: ^{124}Xe (300K, 1atm, 20cm depth)



Sensitivity (2year measurement, 95% C.L.)



核データの重要性

${}^3\text{He}(n,p){}^3\text{H}$ cross section at $E_n=0.0253\text{eV}$;

J. Als-Nielsen et al., Phys. Rev. 133, B925 (1964) 5327 ± 10 b (0.2%)

V. P. Alfimenkov et al., JINR, R3-80-394 (1980) 5333 ± 7 b (0.13%)

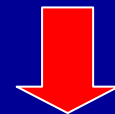
ENDF/B-VII (2006) 5316 b (0.3%)

--- Overall divergence $\sim 0.3\%$

${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ cross section at $E_n=0.0253\text{eV}$;

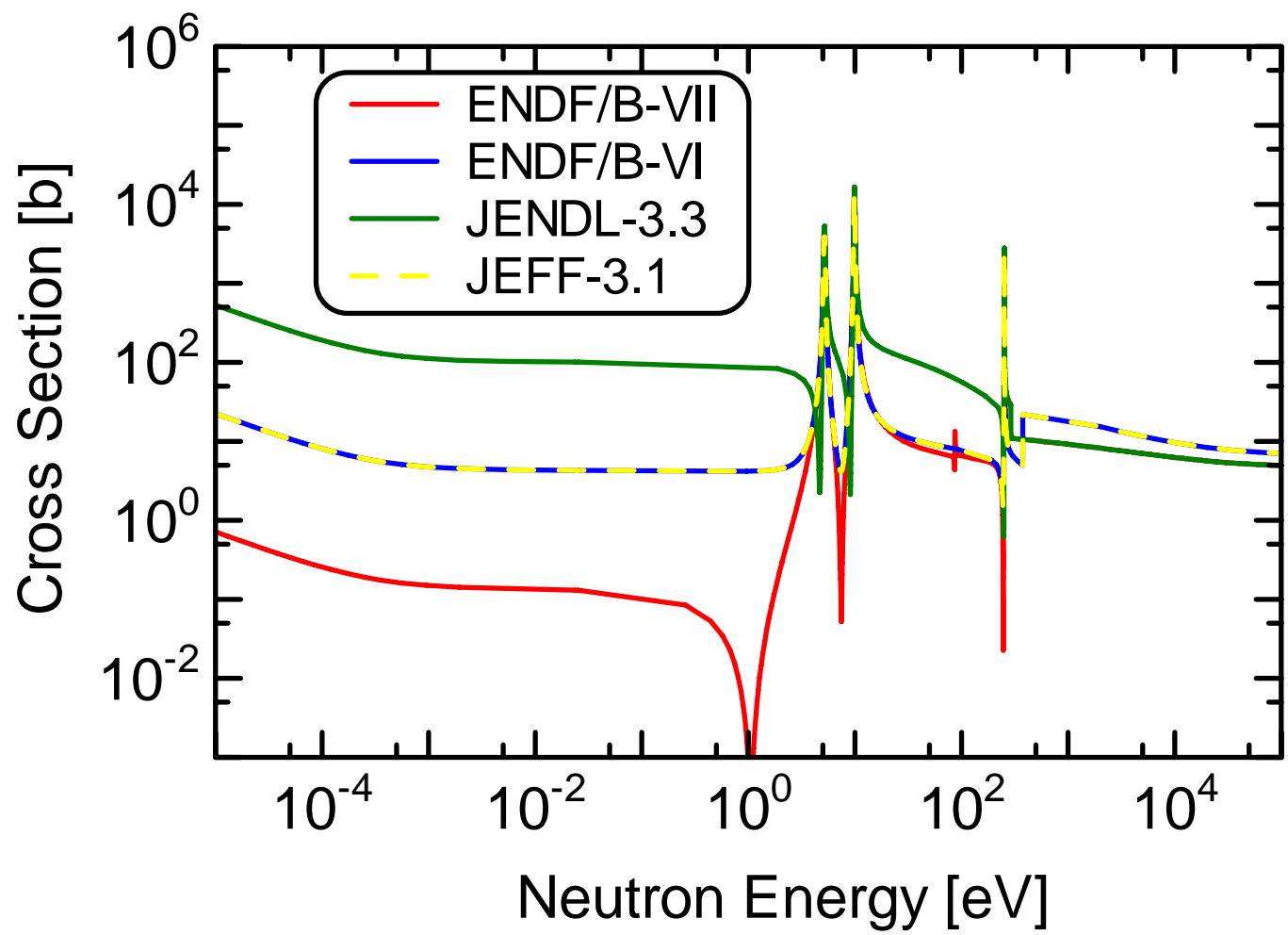
M. T. Swinhoe et al., NEANDC(E)-212 (1980) 924 ± 54 b (6%)

ENDF/B-VI (2001)	941.0 ± 1.3 b (0.14%)	} -0.26%
ENDF/B-VII (2006)	938.5 ± 2.8 b (0.3%)	



-2.4 s in τ_n by NIST !

$^{124}\text{Xe}(n,n)$ cross section



まとめ

1. J-PARC パルス中性子源が稼動開始。

BL04 $0.01\text{eV} < E_n < 100\text{keV}$ 、高性能 γ 線検出器群

→ 核データ、核種分析、宇宙核物理

BL05 $1\text{meV} < E_n < 0.02\text{eV}$ 、中性子光学技術

→ 中性子寿命、ベータ崩壊非対称度

結晶電場によるEDM測定

希ガス散乱による未知相互作用探索

冷中性子干渉計による基礎物理

2. リファレンスデータには 1%を超える精度が要求されつつある。
複数のデータ間の整合性が重要。

3. より高精度なリファレンスデータの測定技術は物理データの
測定技術の向上に直結する。