

「超伝導ウィグラー放射光による核反応研究の可能性について」

⌘ 宇都宮弘章 甲南大学理工学部 物理学科
Hiroaki Utsunomiya, Konan University

⌘ March 24-25, 2003

⌘ SPring-8 ミニワークショップ

「超伝導ウィグラーによる高エネルギー放射光の発生とその応用」

話の概要

- ⌘ 光子源としての応用
- ⌘ 中性子源としての応用

ガンマ線源 (γ ray sources)

⌘ Radioactive Isotopes/Reactor

⌘ Bremsstrahlung/Electron acc.

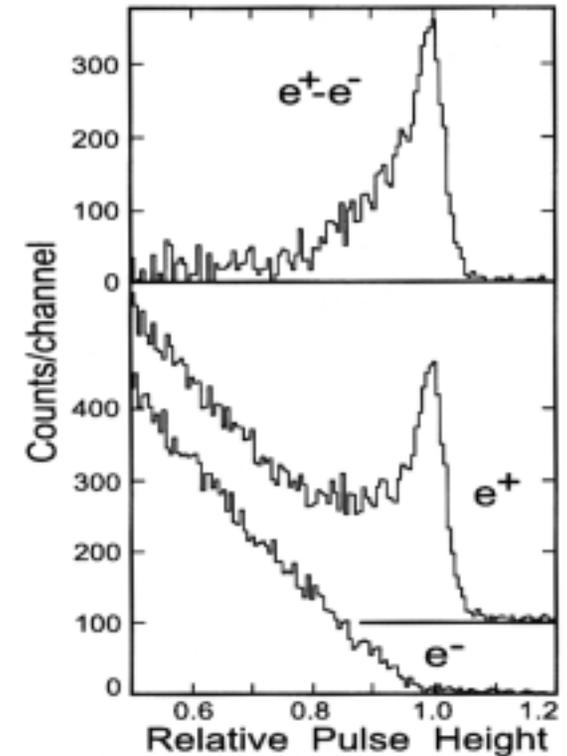
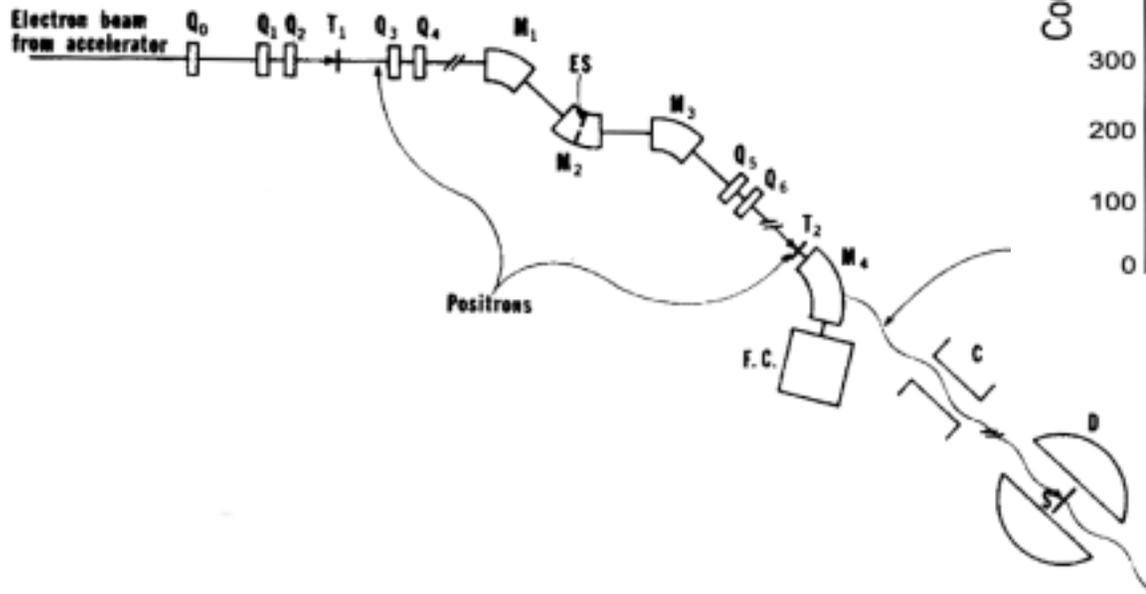
⌘ Positron Annihilation in Flight/ Electron acc.

⌘ NEW Laser Compton scattering/SRF

⌘ NEW SCW photons/SRF

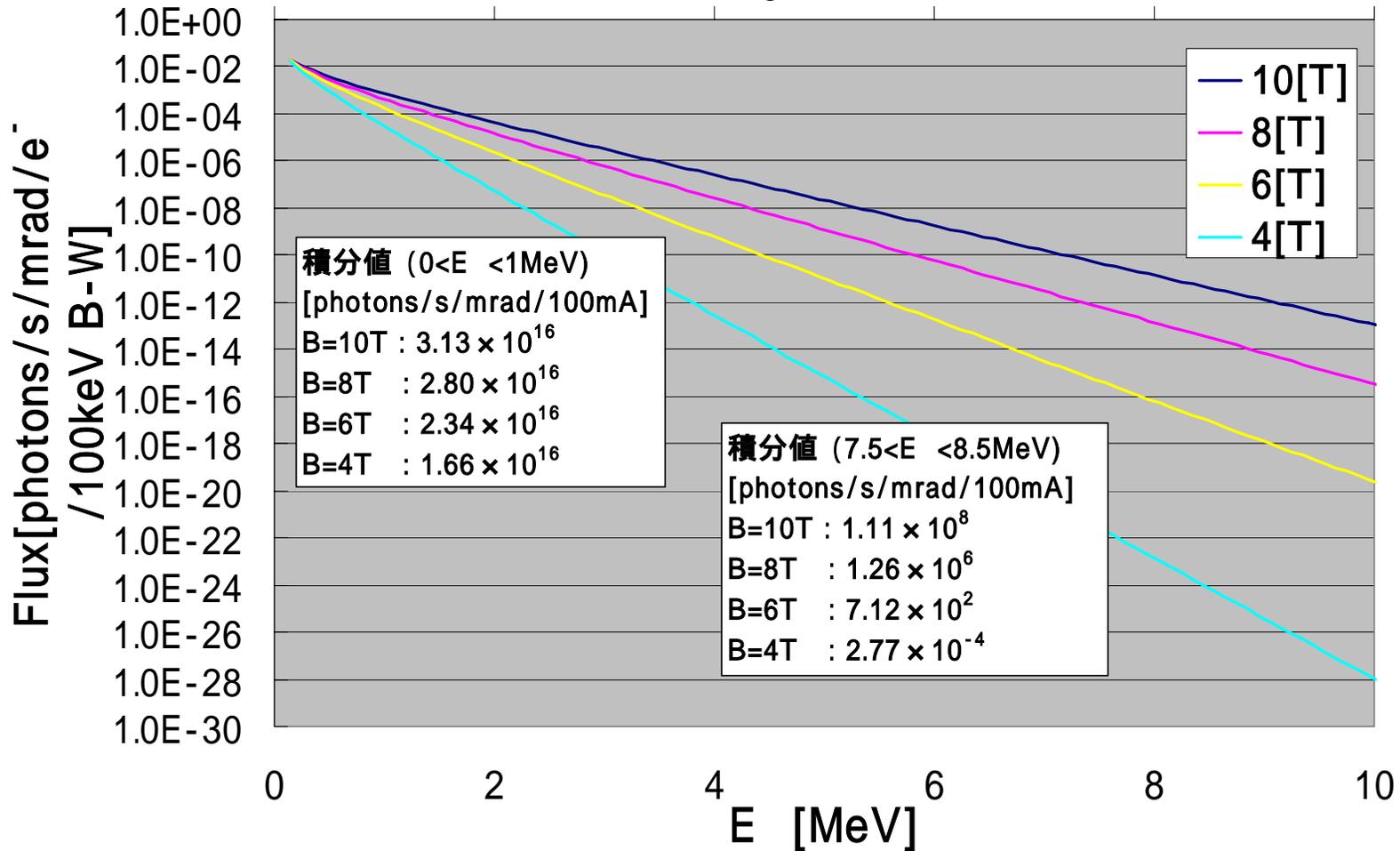
3 positron annihilation in flight/R/electron acc.

- ⌘ Quasi-monochromatic annihilation plus bremsstrahlung
- ⌘ Energy variable
- ⌘ LLNB, Saclay



SCW ガンマ線束

-ray Flux from Superconducting Wiggler
@SPring-8



SCW 光子源としての応用

⌘ NRF (Nuclear Resonance Fluorescence) (γ, γ')
E1, M1 ガンマ線強度関数の測定

短時間の測定。低エネルギーバックグラウンドガンマ線の除去。

⌘ 放射化実験

$^{180}\text{Ta}(\gamma, n)^{179}\text{Ta}$ 、他に核異性体に関する実験 (静間)

短時間の簡単な測定。ビームフラックスモニター。

⌘ (γ, α) (γ, p) 反応

$^{16}\text{O}(\gamma, \alpha)^{12}\text{C}$ 重要な天体核反応

初の光核反応実験。

Astrophysical Energy Window

Photonuclear Reaction rate

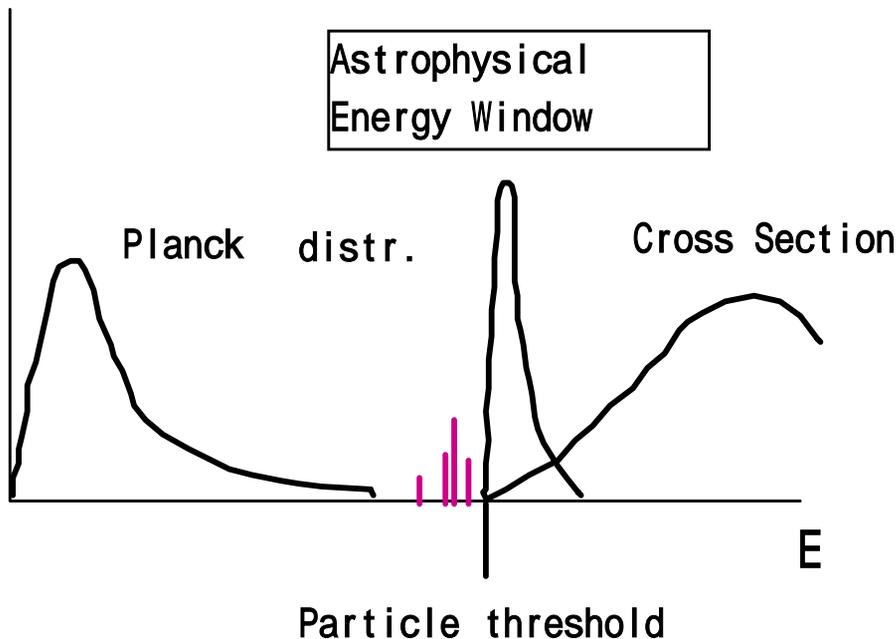
$$\lambda(T) = \int_0^{\infty} c n_{\gamma}(E, T) \sigma_{\gamma}(E) dE$$

Photonuclear Cross section

$$\sigma_{\gamma}(E)$$

Planck distribution

$$n_{\gamma}(E, T) = \left(\frac{1}{\pi}\right)^2 \left(\frac{1}{\hbar c}\right)^3 \frac{E^2}{\exp(E/kT) - 1}$$



Stellar condition

$$\lambda^*(T) = \frac{\sum_{\mu} (2 J^{\mu} + 1) \lambda^{\mu}(T) \exp(-\varepsilon^{\mu} / kT)}{\sum_{\mu} (2 J^{\mu} + 1) \exp(-\varepsilon^{\mu} / kT)}$$

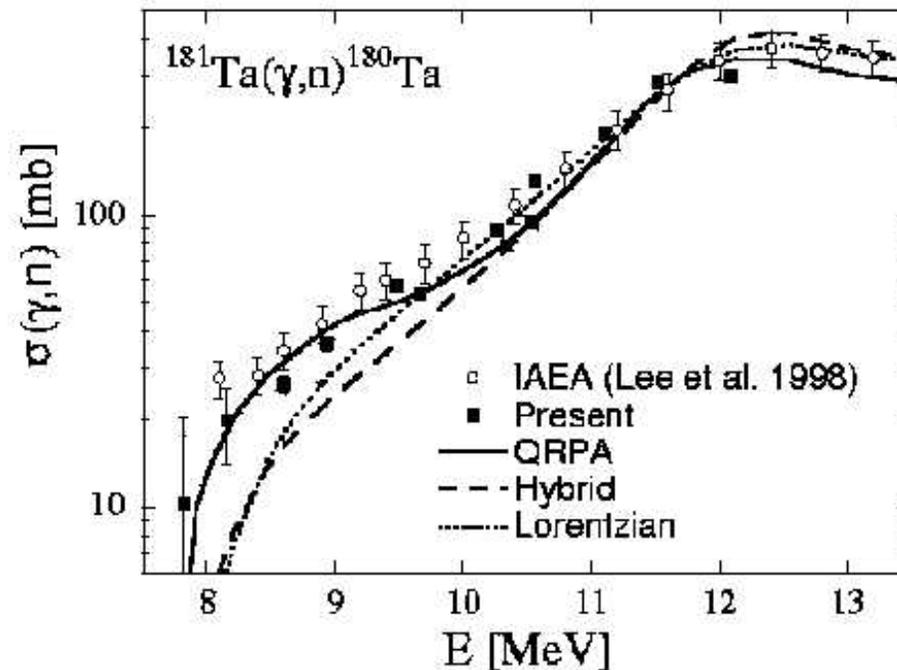
Astrophysics

Nature's rarest isotope ^{180}Ta

生成断面積は測定された。

$^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta}$

H. Utsunomiya et al., Phys. Rev.
C67, 015807 (2003)



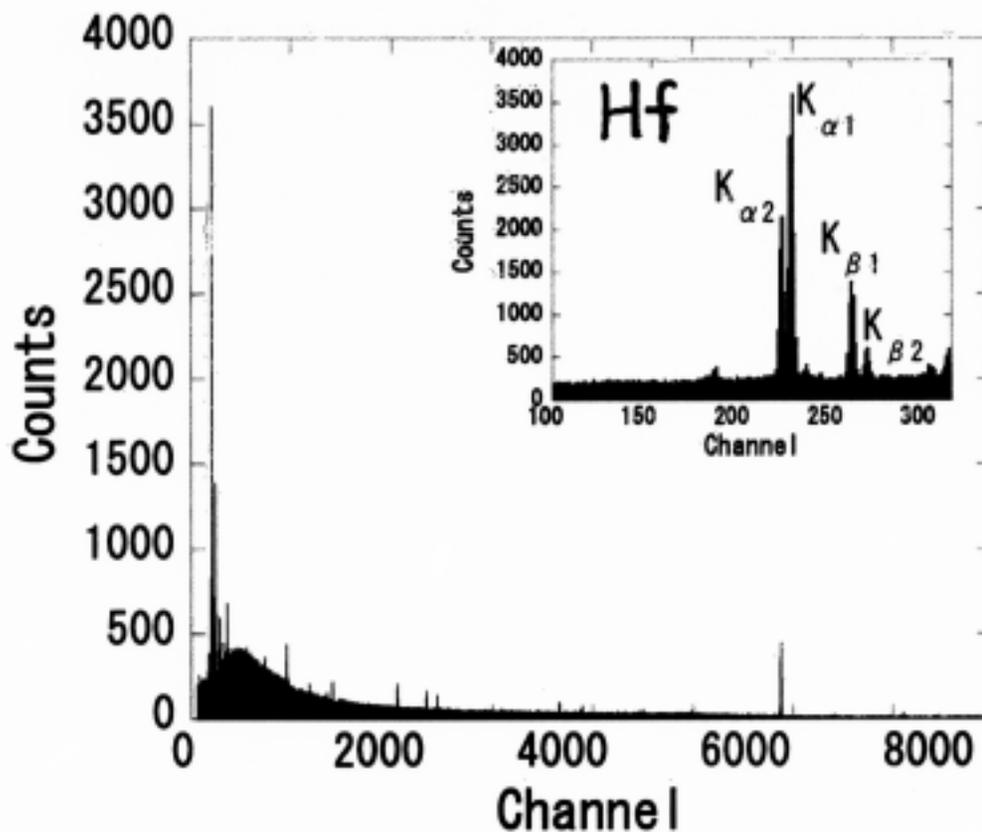
消滅断面積の測定 放射化実験

$^{180}\text{Ta}(\gamma, n)^{179}\text{Ta}$ 後神進史(甲南大)

- ⌘ Natural foils 100 μm 10枚
 ^{181}Ta 99.988%, ^{180}Ta 0.012%
- ⌘ ガンマ線源 SCW
- ⌘ 中性子しきい値 ^{181}Ta 7.577 MeV, ^{180}Ta 6.645 MeV
- ⌘ 照射時間 10時間
生成量 : $N_0(^{180}\text{Ta} : T_{1/2}=8.15 \text{ h})=1.2 \times 10^8$ 個
 $N_0(^{179}\text{Ta} : T_{1/2}=1.82 \text{ y})=2.3 \times 10^5$ 個
- ⌘ 冷却期間 10日
- ⌘ 10日後の放射能 $A(^{179}\text{Ta})/A(^{180}\text{Ta}) > 1000$
 $A(^{179}\text{Ta})=2.7 \text{ decays}/1000\text{sec}$
- ⌘ EC Hf X線を測定する $K_{\alpha 1}=57.5 \text{ keV}$, $K_{\alpha 2}=56.3 \text{ keV}$

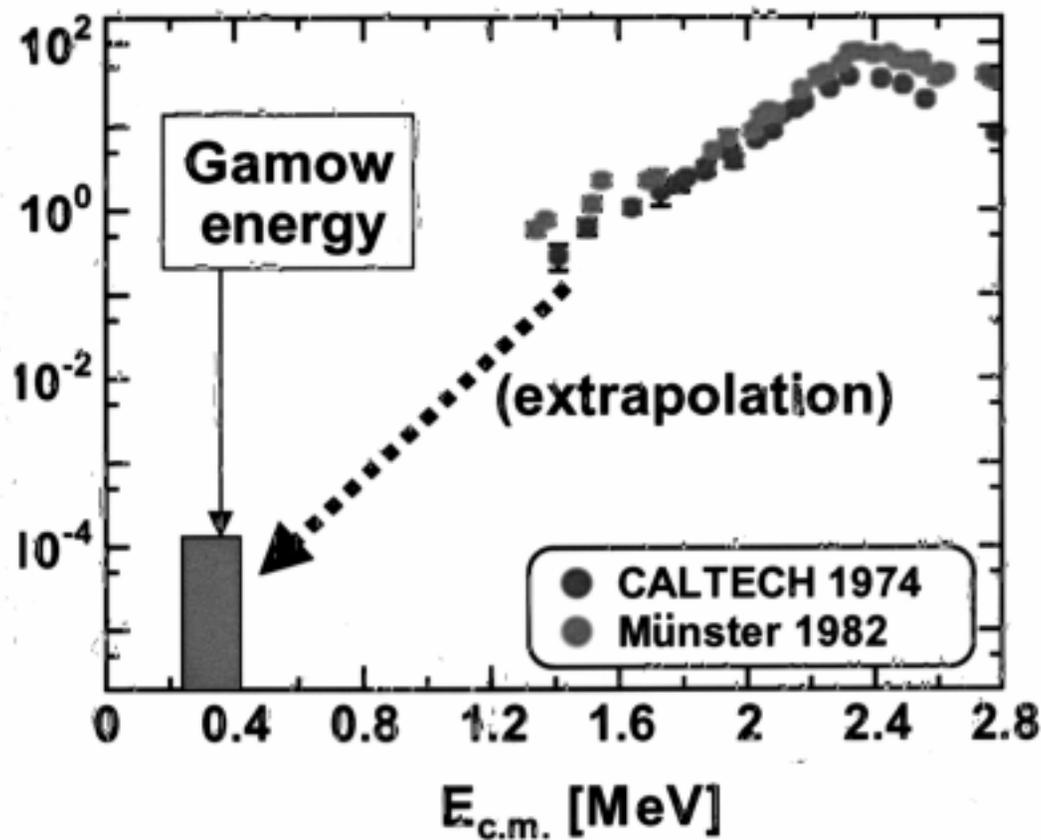
Hf X線スペクトル

^{181}Ta 照射実験(産総研) 後神進史



$^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ 反応断面積

(nb)



$^{16}\text{O}(\gamma, \alpha)^{12}\text{C}$ 初実験

嶋達志 (RCNP)

⌘ 重要な天体核物理反応 $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$

恒星の進化、元素合成

⌘ 直接測定の限界 (940 keV) ~ 48 pb

⌘ 捕獲反応断面積

(300 keV): 外挿による不定性 +/-100 %

⌘ SCW大強度ガンマ線による初の光核反応の可能性

10^8 ガンマ線/秒/1 MeV $E_\gamma=7.5 - 8.5$ MeV

(10^7 ガンマ線/秒/100 keV at $E_\gamma= 8.0$ MeV)

$E > 1$ MeV で精度の高いデータを取得する。10日の測定。

他の放射光ユーザーへの影響。

(800 keV) ~ 20 pbに挑戦するには10倍のフラックスが必要。

2イベント/日

Set-up : TPC(CO_2 gas) + Beam Monitor(D_2 gas)

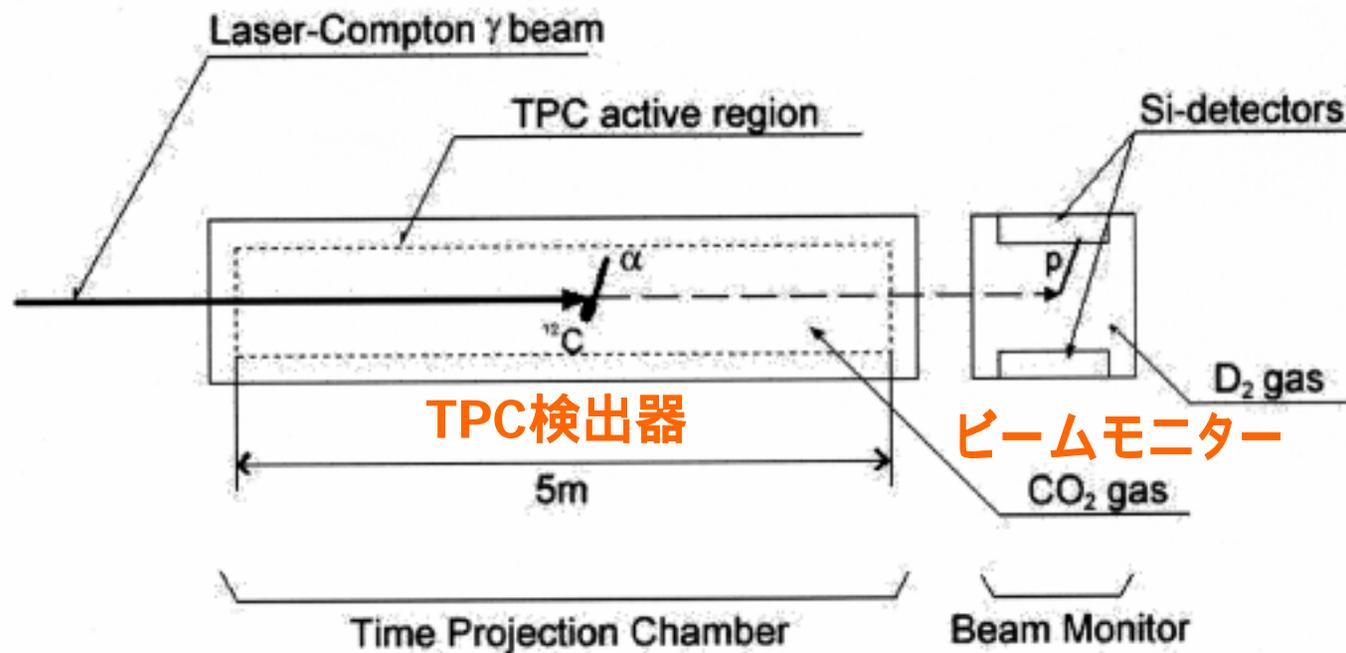


図 1. 実験セットアップ (側面図)

中性子線源としての応用

ADS (加速器駆動型) 核変換のための
LLFP, MA の中性子捕獲断面積測定

⌘ 長寿命核分裂生成物 LLFP

^{79}Se , ^{93}Zr , ^{99}Tc , ^{107}Pd , ^{126}Sn , ^{129}I , ^{135}Cs

⌘ マイナーアクチニド MA

^{237}Np , ^{241}Am , $^{242\text{m}}\text{Am}$, ^{243}Am , ^{244}Cm etc.

消滅処理速度と中性子束

10^{14} , 10^{15} 個/秒の中性子束が必要

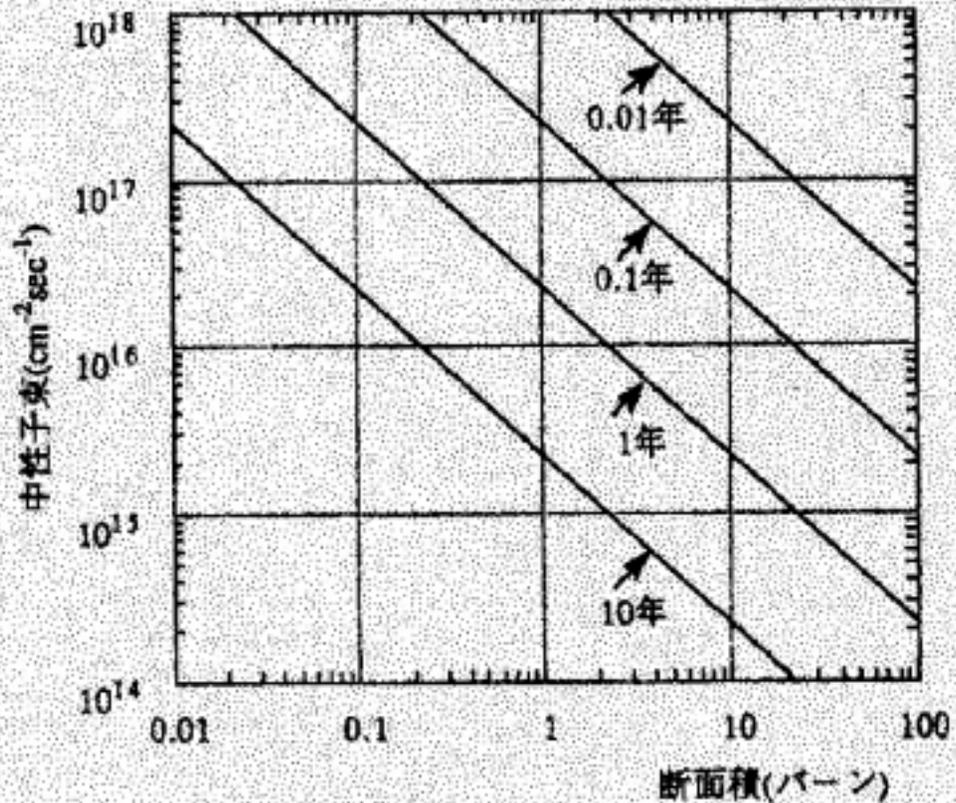


図10-2 反応断面積に対する消滅処理速度と中性子束

n_TOF facility at CERN

消滅核反応断面積測定のための

低BG大強度パルス中性子源

⌘ 中性子生成

20 GeV/c 7×10^{12} protons (0.8 ~ 0.06 Hz)

lead (80 x 80 x 40 cm³)

350 neutrons/proton

⌘ 中性子発生率

2.5×10^{15} neutrons/pulse 1 eV ~ 250 MeV

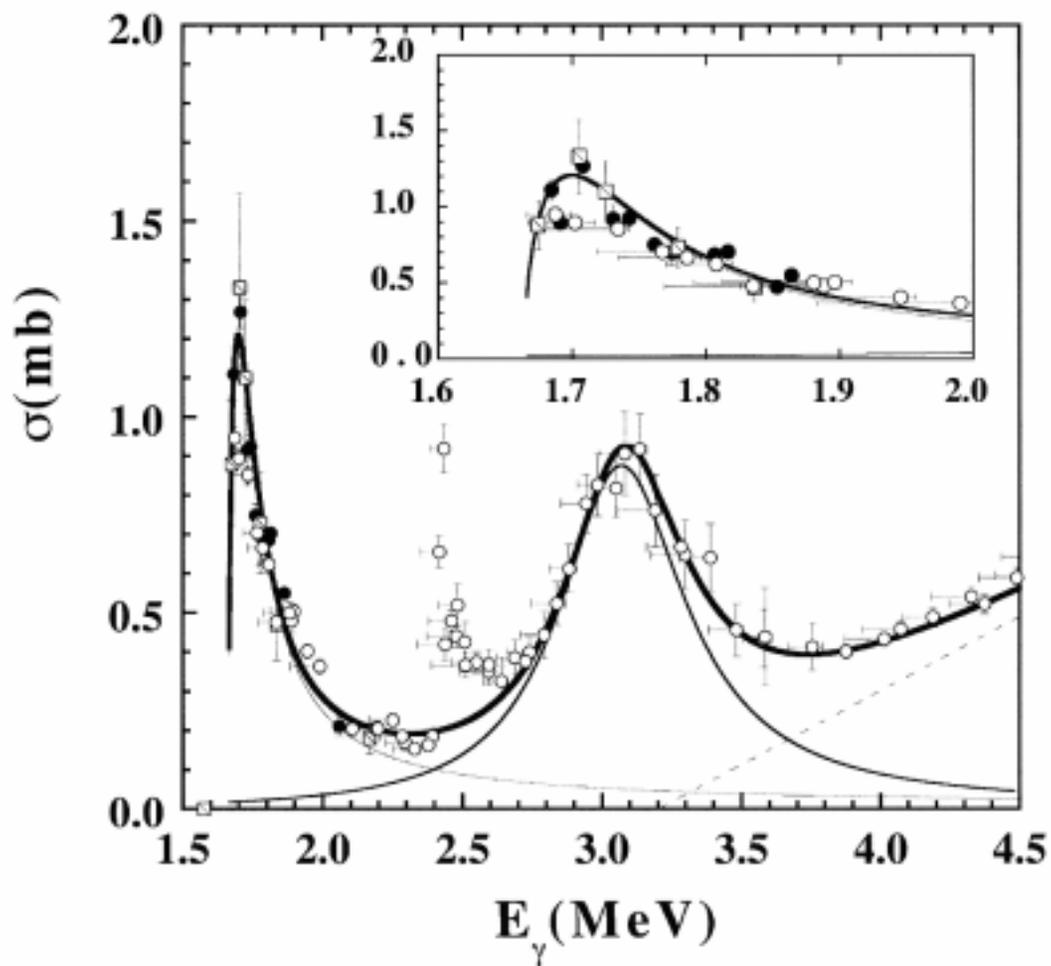
⌘ 中性子フラックス

1.5×10^5 n/cm²/s at 182.5 m with $\Delta E/E = 2 \times 10^{-4}$ at
1 keV (= 2×10^{-3} at 1 MeV)

${}^9\text{Be}(\gamma, n)\alpha\alpha$ 断面積 (産総研)

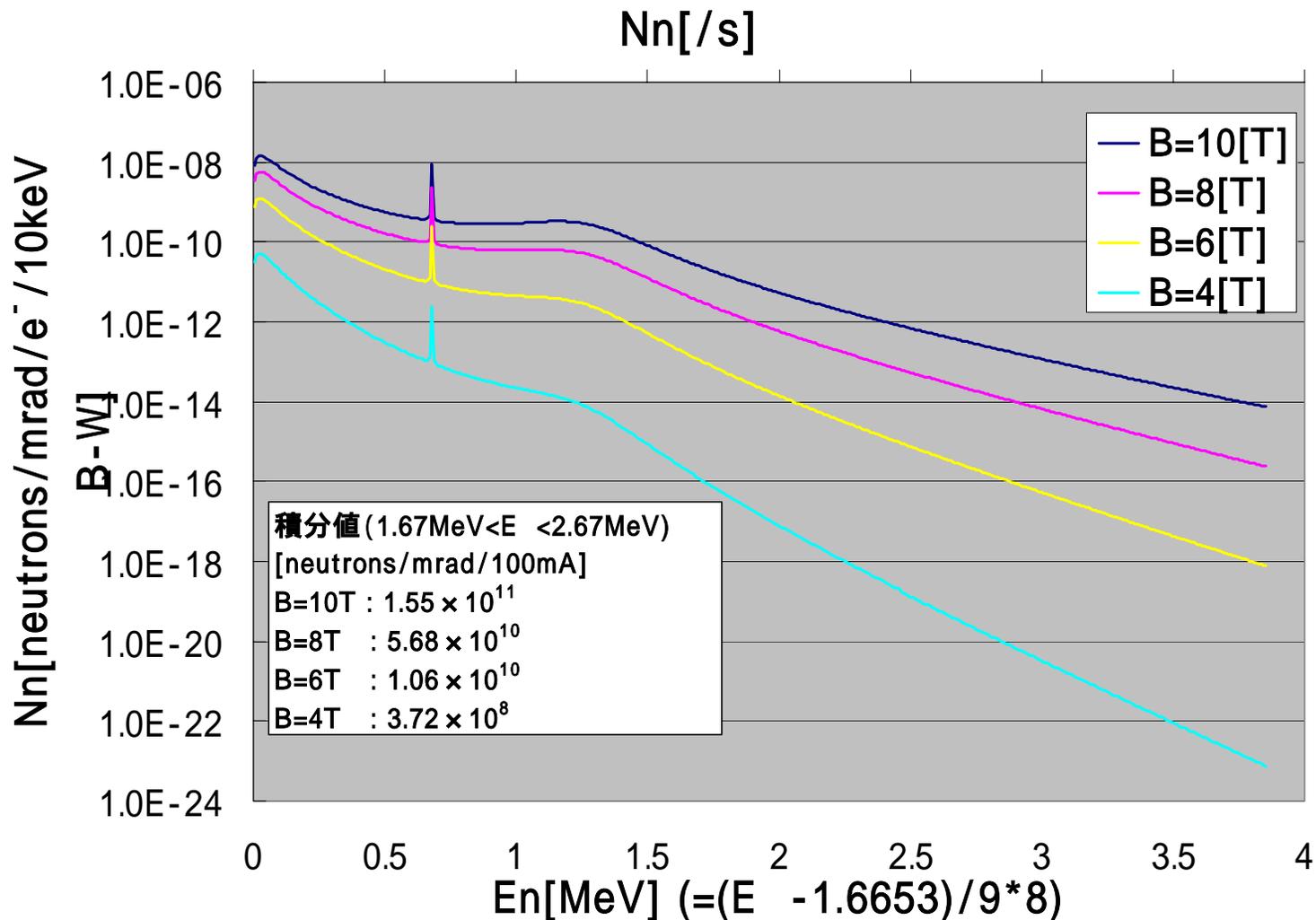
H. Utsunomiya et al., Phys. Rev. C63, 018801 (2001)

K. Sumiyoshi et al., Nucl. Phys. A709, 467 (2002)



SCW中性子束

10cm ^9Be 標的



SCW中性子源

- ⌘ ADS (加速器駆動型) 核変換の強度には4桁足りない
- ⌘ 消滅核反応断面積測定のための中性子源
40 keV ~ 1.2 MeV
- ⌘ パルス化？
1 μ sec: L=2.67 m at 40 keV (L=14.7m at 1.2 MeV)
- ⌘ 低BG化？ シミュレーション可能

まとめ SCW放射光利用

⌘ ガンマ線源として利用可能

照射実験がもっとも有力 $^{180}\text{Ta}(\gamma, n)^{179}\text{Ta}$ 他

$^{16}\text{O}(\gamma, \alpha)^{12}\text{C}$ 実験 今後検討の価値有り

NRF (γ, γ') 実験 今後検討の価値有り

⌘ 中性子源としての利用

消滅核反応断面積測定の可能性 さらに検討必要

パルス化困難？ 低BG化？