

2009.1.6-7
タンデム研究会

TRIAC

ー共同研究の歩みー



関連する話題

市川進一(先端基礎): JAERI-ISOL におけるイオン源開発と崩壊核分光

須貝宏行(先端基礎): 短寿命 ^8Li ビームを用いたリチウムイオン伝導体中の拡散実験

石山博恒(KEK): タンデム加速器施設における短寿命核ビームによる天体核反応率測定

長 明彦(研究炉加速器管理部)E02: JAEA-ISOL 用イオン源の開発

株本 裕史(研究炉加速器管理部)E06: 低速度重イオン用超伝導加速空洞の開発

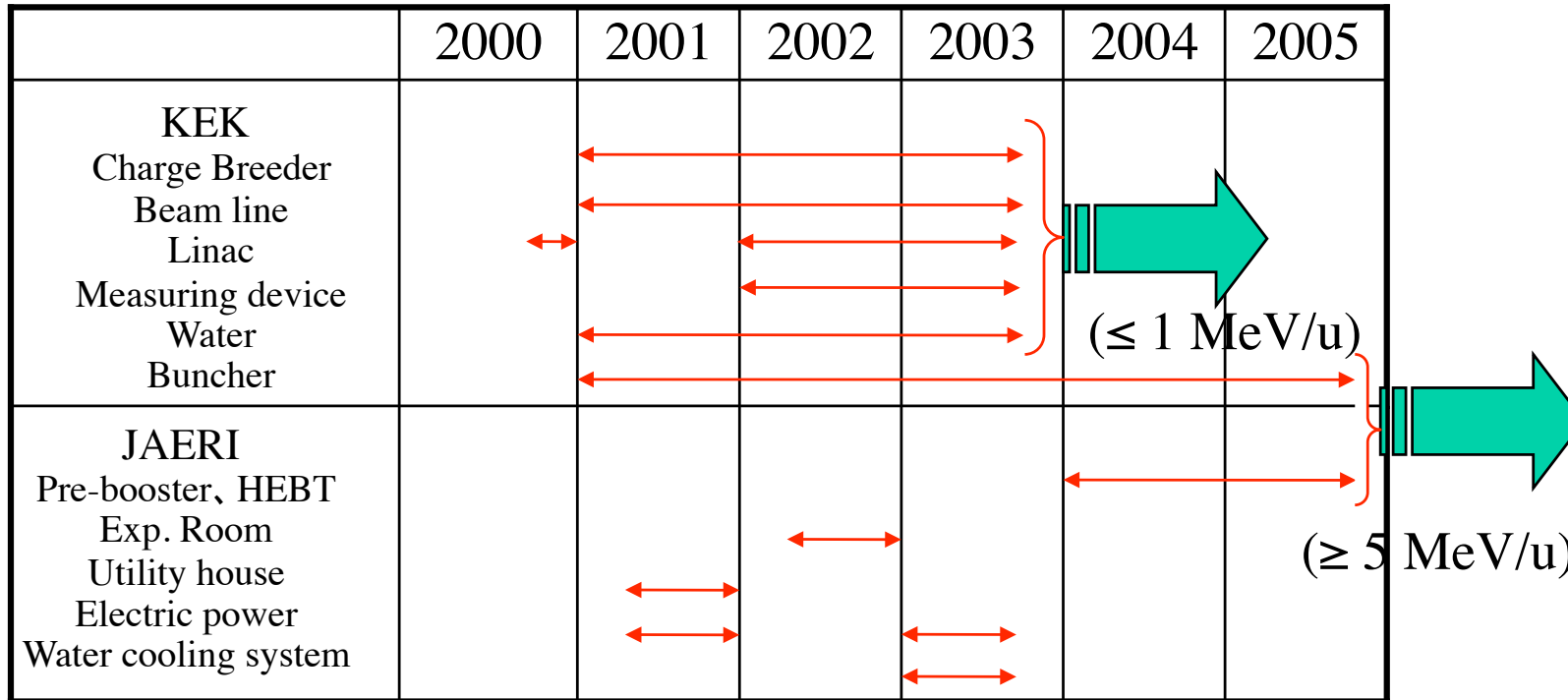
乙川 義憲(研究炉加速器管理部)E08: JAEA-ISOL と放射性核種ビーム加速の現状

小柳津 充弘(KEK)E10: Present status of charge-breeding in KEKCB at TRIAC

KEK-JAEA Project - start at FY2001 -

- ≥ 5 MeV/u RNB will be available with using the **existing S.C. linac**.
- Neutron-rich medium- and heavy-RNB can be supplied by the help of proton-induced **U-fission reaction**.
- **Intense stable nuclear beam** is also available independent from Tandem beam.
- **Low energy RNB center** under the collaboration with KEK and JAERI.
 - 高品質短寿命核ビームによる実験の開始
 - MW-Class RNB facilityのための研究基盤の確立

Time schedule (@2001)

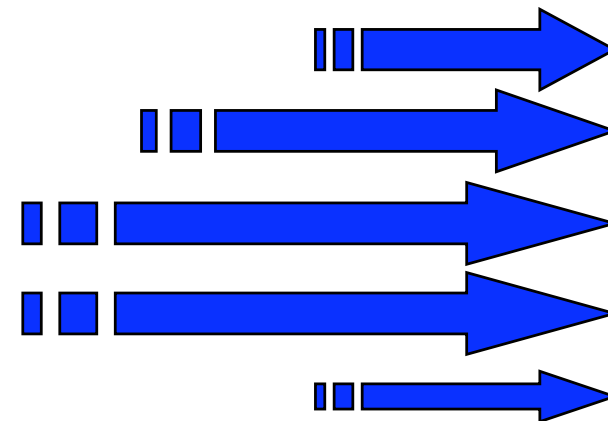


Nuclear physics: Reaction mechanism of n-rich RNB
 Super heavy elements
 Super deformation (Coulex)
 Decay (Spin-polarized RNB)

Nuclear astrophysics: Reaction rates
 Mass measurements

Material science: Thermal diffusion mechanism
 Electromagnetic structure (PAC, b-NMR)

Nuclear chemistry: Relativistic effects (Atom-at-a-time)

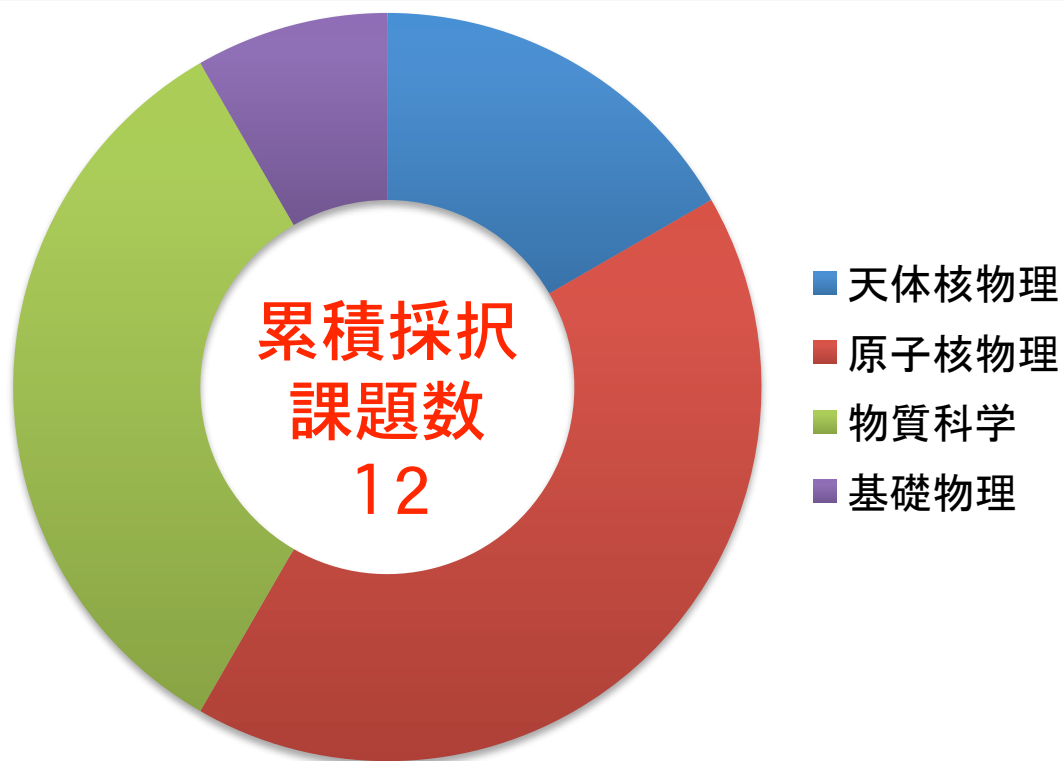


短寿命核ビーム共同利用

2005年度後半から（年間マシンタイム：約40日）

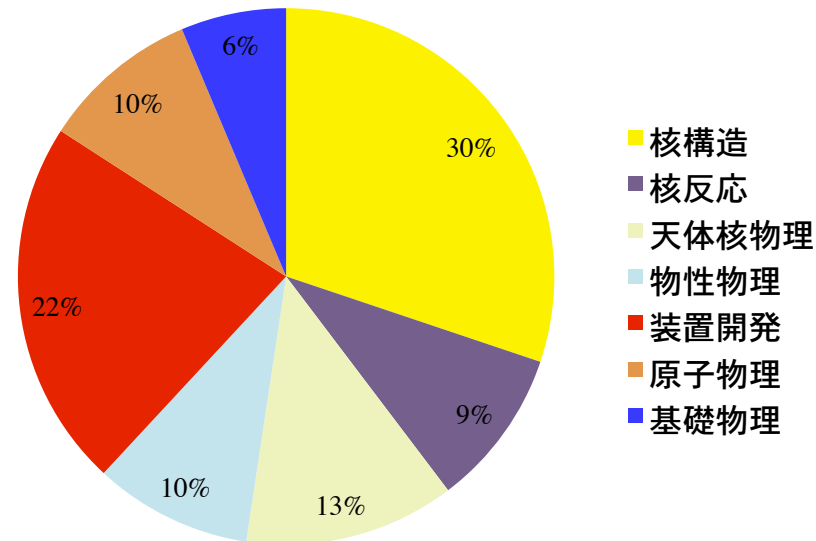
年度	執行課題数	延べ利用者(人・日)	利用機関数	備考
2005	4	56	12	後期利用開始
2006	5	157	11	
2007	5	122	7	マシンタイム～3/5カット
2008(9月末)	7	260	7	

*開発マシンタイムをのぞく



研究・教育のアクティビティ (KEK; 2003-2008)

- 出版: 63件
 - 査読付き論文: 54件
 - Proceedings: 9件
- 国際会議の主催・共催
 - 国際会議
 - The 10th Int. Symp. On Origin of Matter and Evolution of Galaxies - From the Dawn of Universe to the Formation of Solar System -, Dec. 4-7, 2007, Hokkaido Univ, Sapporo, Japan
 - The 6th Japan-Italy symposium on Heavy Ion Physics, Nov. 11-15, 2008, Tokai, Japan
 - その他: 国内研究会・ワークショップ、セミナー
 - TRIAC workshop (2004, 2006)
 - 停止低速不安定核研究会 (毎年)
 - SSRI インフォーマルミーティング (春・秋学会)
 - TRIAC セミナー、つくば不安定核セミナー
- 大学院生の研究指導
 - 学位取得: 東京理科大 (修士2名、博士2名)、大阪電通大 (博士1名)、鳥取大 (修士1名)、立教大 (修士1名)
 - 研究途上: 筑波大 (博士1名)、茨城大 (修士1名)、立教大 (博士1名、修士1名)



短寿命核プローブによる拡散係数の非破壊的直接測定

Li inter-metallic compounds (Li-Al, Ga, In)

→ Good ionic conductor: possible electrode for Li ion batteries.

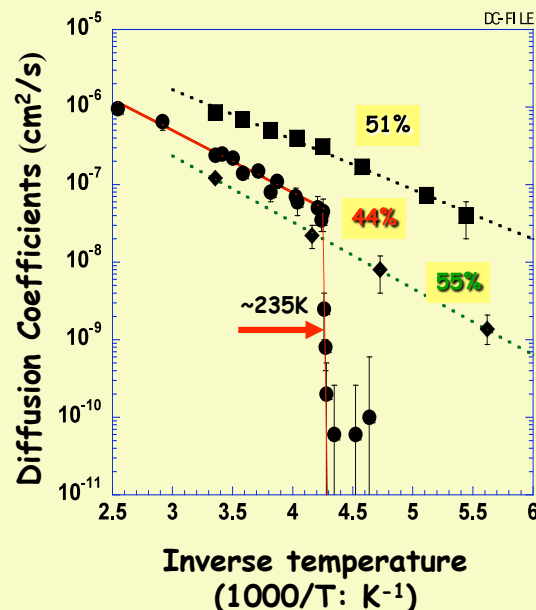
Li diffusion is rate-determining in the charge- and discharge processes in the batteries.

→ **Strongly dependent on the Li contents !**

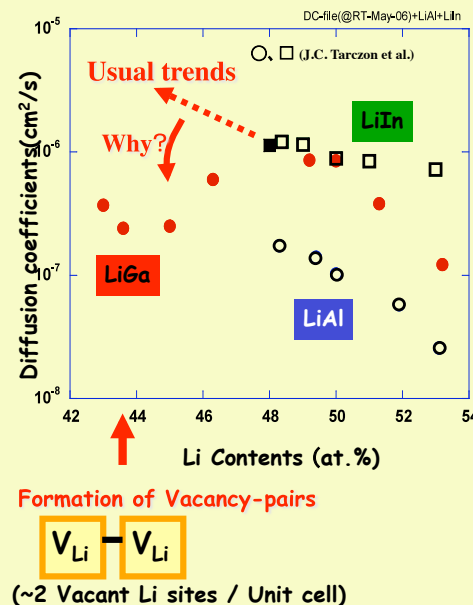
First observed order-disorder transition of Li atomic vacancies @ 235K

Slowing-down diffusion with decreasing Li contents (i.e. increasing Li vacancies)

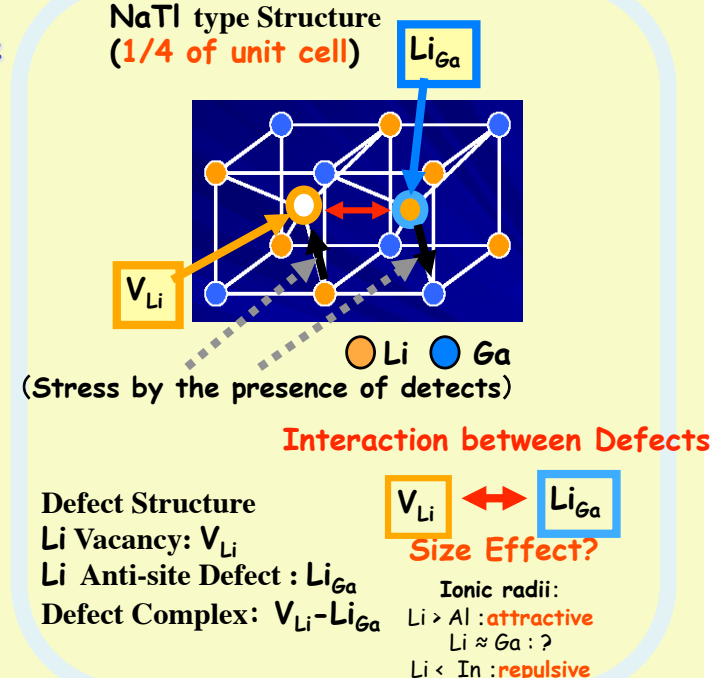
Temperature Dependence



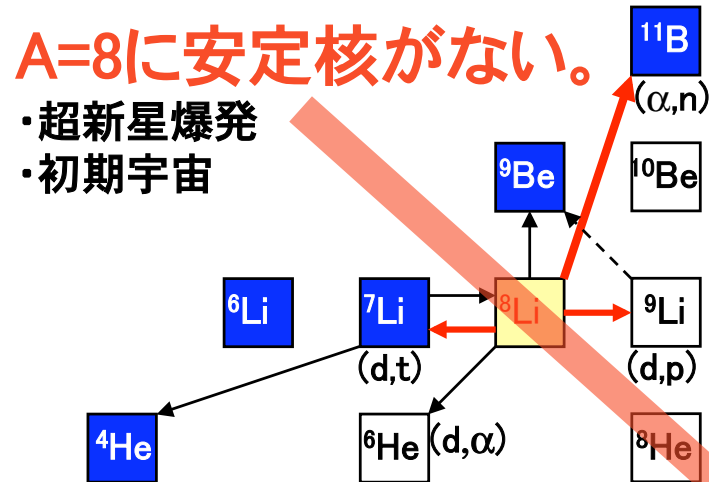
Li Content Dependence



NaTi type Structure
(1/4 of unit cell)

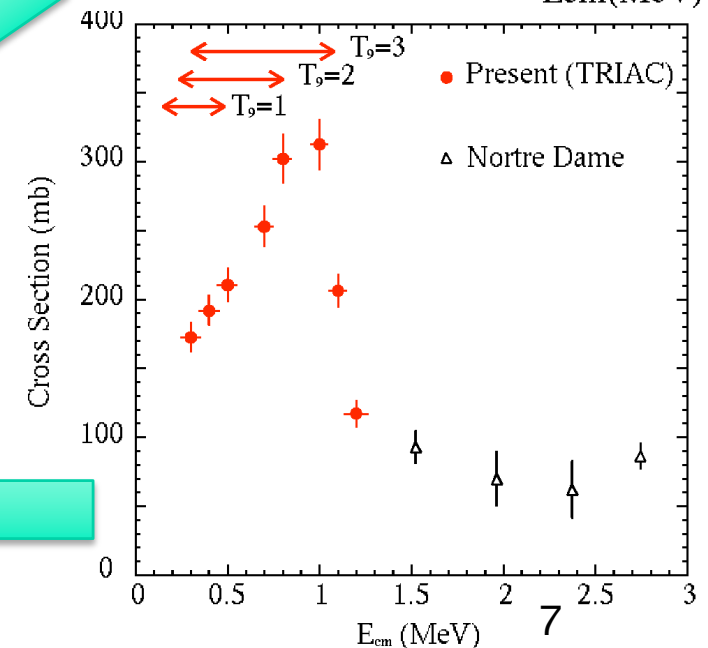
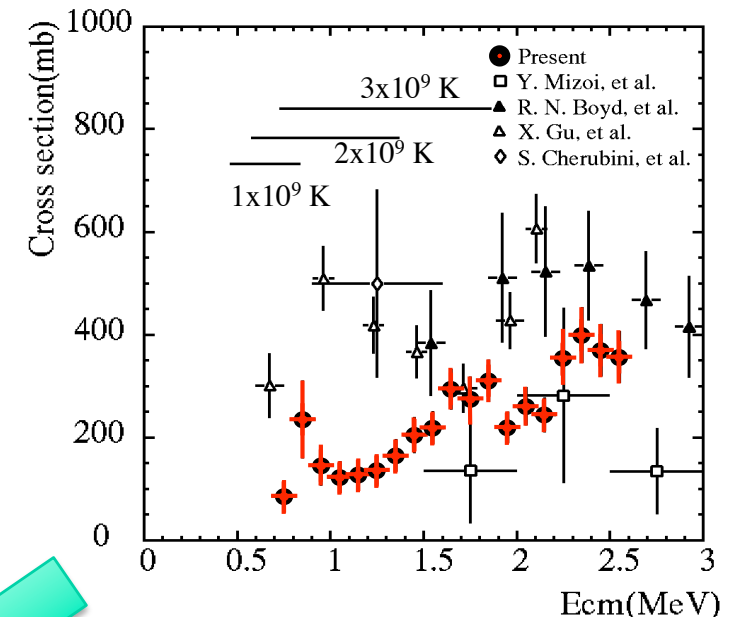


爆発的天体における $A=8$ を超える元素合成過程の定量化



- ・低温度反応率の高精度測定に成功
- ・r過程による重元素生成が抑制（中性子消費量抑制）
- ・中性子過多環境が生成
- ・ウラン、トリウム（宇宙時計）の生成比が2倍

- ・低温度領域での断面積の増大を初めて観測
- ・ $T_9(10^9\text{K})=1$ で (α , n) に対して約45倍, (n , γ) に対して約3000倍大きな反応率である事が判明



Measurement = R -Correlation Search of P -odd & T -odd New Interaction

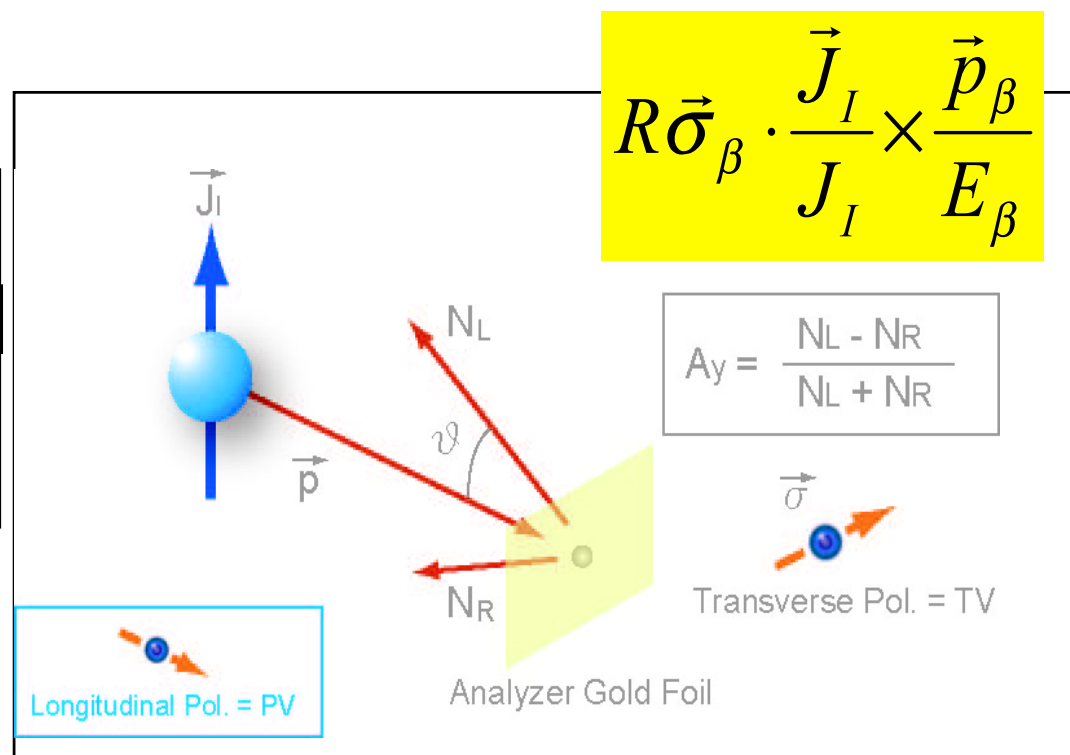
Required Components

Production	Polarized Nuclei
Measurement	Electron Momentum
Measurement	Electron Transverse Polarization



Zero or Non-Zero ?

**UP/DOWN
Asymmetry
in Mott Scattering**



$$R \vec{\sigma}_\beta \cdot \frac{\vec{J}_I}{J_I} \times \frac{\vec{p}_\beta}{E_\beta}$$

Utilizing Analyzing Power of Mott Scattering

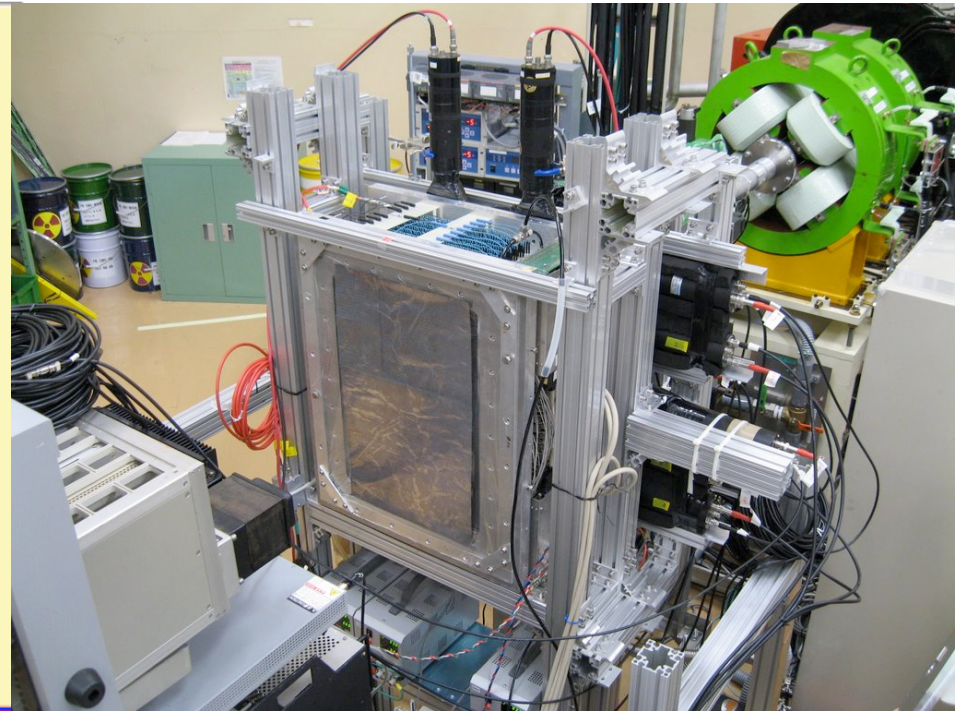
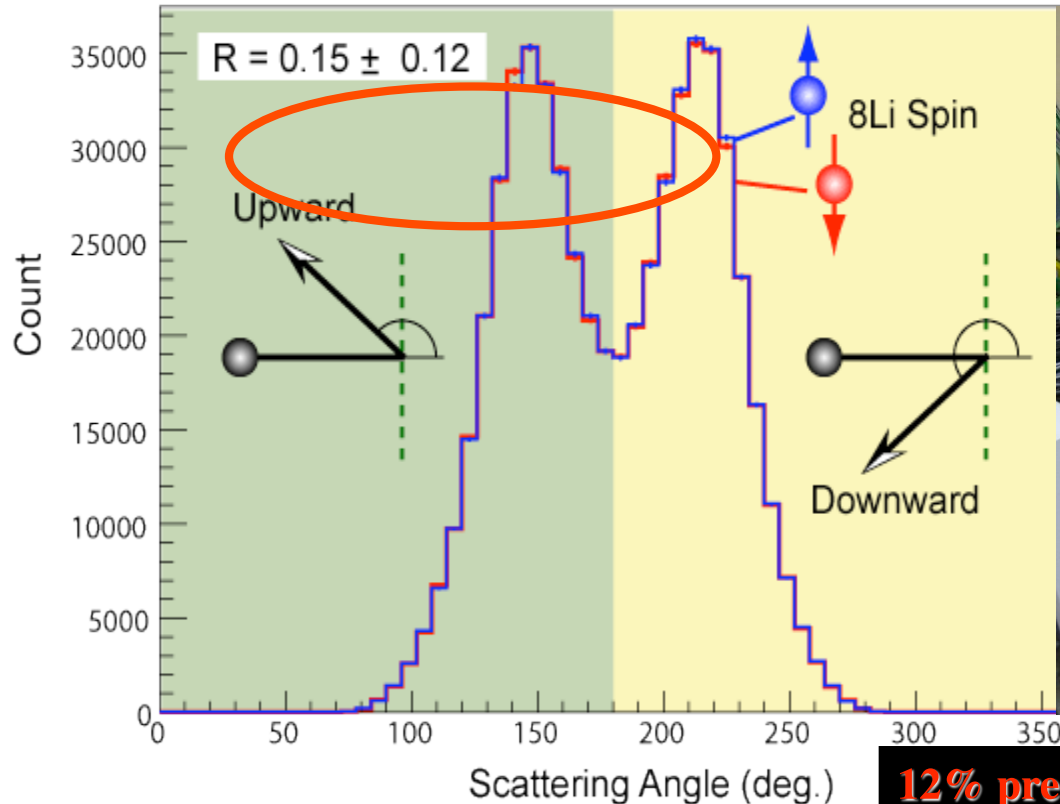
Results of KEK-TRIAC Experiment

MTV-TRIAC Preliminary

1M V-Tracks/11M Triggers/17G 8Li

1M events obtained

2008/12/10 J. Murata



12% precision for (8% pol.), 1.3×10^5 pps x 2days (37hours)

- 1.DC Polarimeter を用いてイベント毎にMott散乱飛跡を検出する世界で初めての時間反転対称性の破れの探索実験に成功した。
2. $R = 0.15 \pm 0.12$ が速報値として得られている。(素粒子標準模型では $R = 0.0006$ が预言されている。)
- 3.Rの精度を3桁向上させることの出来る、TRIUMFでの実験の採択に結びついた。
- 4.雑音のない信頼性の高い初めての測定結果を与える事に成功しており、科学的に重要な成果と言える。

“The First T-Violation Experiment at KEK-TRIAC” H. Kawamura et. al. Eur. Phys. J (in press)

γ 線摂動角相関(PAC)法

角相関をもつ2本のカスケード γ 線(右図)を同時計測し、**核外からの摂動**による異方性の時間変化を中間準位の時間窓で観測する分光法

得られる情報

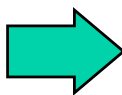
- 内部磁場(スピン情報)
- 電場勾配(核外の電荷分布)
- 核スピン緩和時間(核外場のダイナミクス)

長所

- ◆ 試料の温度に制限がない
- ◆ 固体に限らず、液体や気体の研究にも適用可能

短所

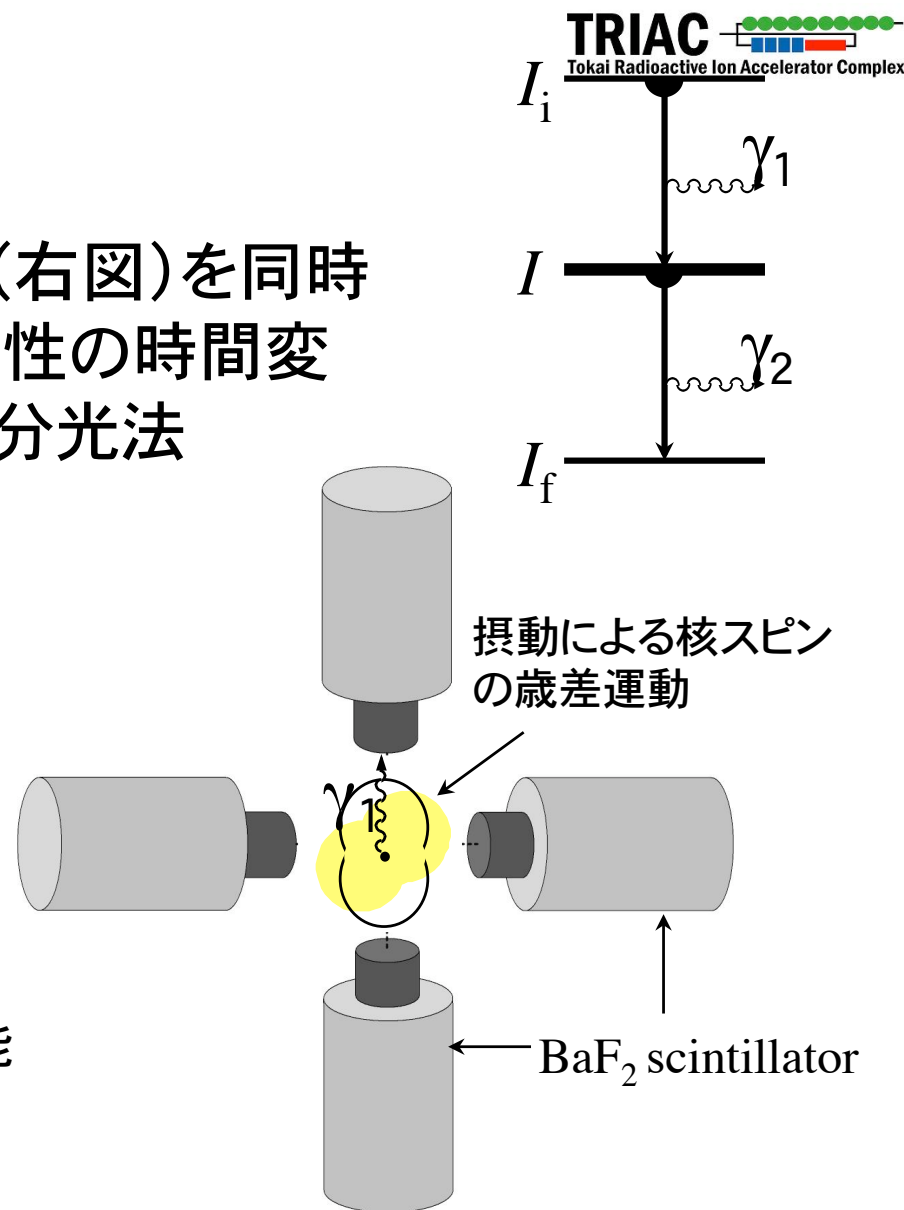
- ◆ 試料によっては親核の導入が困難



核反応生成物をオンラインで試料にイオン注入することで、短所を克服

W. Sato et al.(阪大, KEK, JAEA)

➡ RIビームの利用



研究の背景(HOPG)

グラファイト層間化合物 (GIC)

二次元構造をもつグラファイトの層間に原子や分子等、種々の化学種が挿入された物質

導入される化学種

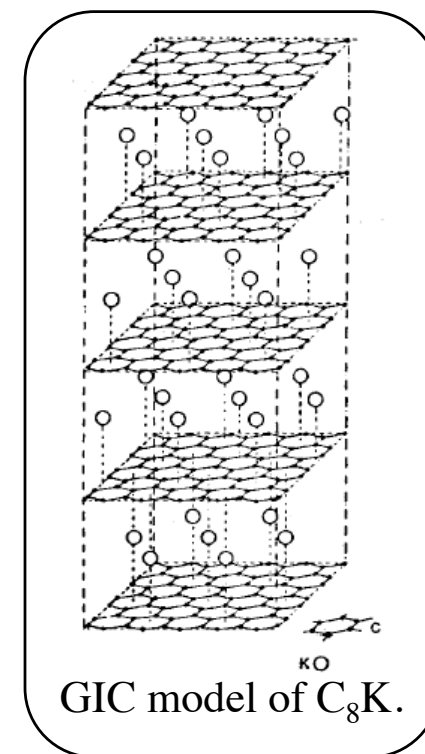
- ◆アルカリ金属 (Li, K, Cs) ◆アルカリ土類金属 (Ba, Sr)
- ◆希土類 (Eu, Sm, Yb, Tm) ◆化合物 (FeCl_3 , AsF_5)

応用例

- ◆電池電極 ◆化学触媒 ◆カーボンファイバー

物理的特性が化学種やドーピング量によって異なる

➡ 挿入化学種の多様化による応用の広がり期待



研究目的: 様々な原子を高配向熱分解グラファイト(HOPG)にドーピングして、炭素とプローブ原子との微視的な相互作用を観察する

手法: γ 線摂動角相関法 (^{140}Ce , ^{111}Cd)

TRIACの現状

RIビーム利用

2005年度当初目標	2008年度現在
天体核物理	○ 軽核領域での展開 中重核領域ではエネルギー・強度不足
物性への応用	○ 拡散研究の展開 新手法・プローブ核種開拓・装置開拓
原子核構造・反応	× エネルギー不足・装置開拓
基礎物理	△ 高偏極ビームの確立

RIビーム開発

2005年度当初目標	2008年度現在
核分裂片の加速	△ $^{123}\text{In}^{16+}$ $^{141}\text{Ba}^{20+}$ などで成功 高純度化・高効率化・制御安定化が必要
> 5MeV/Aのビーム供給	× 最大1.5 AMeV
高強度安定核ビーム	× 適用例なし

→ RI核物性プローブを用いた研究の展開

→ ISOL型RIビーム(中重RI核種)加速実験技術の開発

A review of the ISOL facilities in the world

	Primary beam	Power on target	target	Fission s ⁻¹	Reaccelerator	AMeV A=130, 20+	¹³² Sn rate
ISOLDE	p 1-1.4 GeV - 2 μ A	0.4 KW	Direct	$4 \cdot 10^{12}$	Linac	3	10^7
HRIBF	p 40 MeV 10 μ A	0.4 KW	Direct	$4 \cdot 10^{11}$	T25MV	4	$2 \cdot 10^5$
TRIAC	P 30 MeV 3 μ A	0.1 KW	Direct	10^{11}	Linac	1.5	$2 \cdot 10^6$
SPIRAL	C-Kr 95 AMeV	6 KW	Direct		Cyclotron		
TRIUMF	p 450 MeV 70 μ A	17 KW	Direct		SC Linac		
CRC UCL	p 30 MeV 300 μ A	9 KW	Direct		Cyclotron		
EXCYT	¹³ C 45 AMeV	0.5 KW	Direct		T 15MV		
HIE ISOLDE upgrade			Direct	$4 \cdot 10^{12}$	SC Linac	5-10	$2 \cdot 10^8$
HRIBF up-grade	p 54 MeV 20 μ A	1.8KW	Direct	10^{12}	Tandem 25MV	4	$5 \cdot 10^5$
SPIRAL2	d 40 MeV 5mA	200 KW	Convert.	10^{14}	Cyclotron	6	$2 \cdot 10^9$
SPES	p 40 MeV 200 μ A	8 KW	Direct	10^{13}	SC Linac	10	$3 \cdot 10^8$

将来計画におけるTRIACの位置づけ

RIプローブ開拓

ナノ拡散
 β -NMRプローブ

実験技術開拓

二次核反応による核分光

RIビーム利用

TRIAC → 2nd Generation RI-beam

RIビーム開発

高強度化

高効率化

RIモニタ製作
安定制御
多価イオン高変換効率
高純度化

高エネルギー化