

原子核反応理論計算の現状と展望

日本物理学会シンポジウム

「最新原子核物理学で解き明かす宇宙線伝播機構」

事前相談会

2024年8月8日 on Zoom

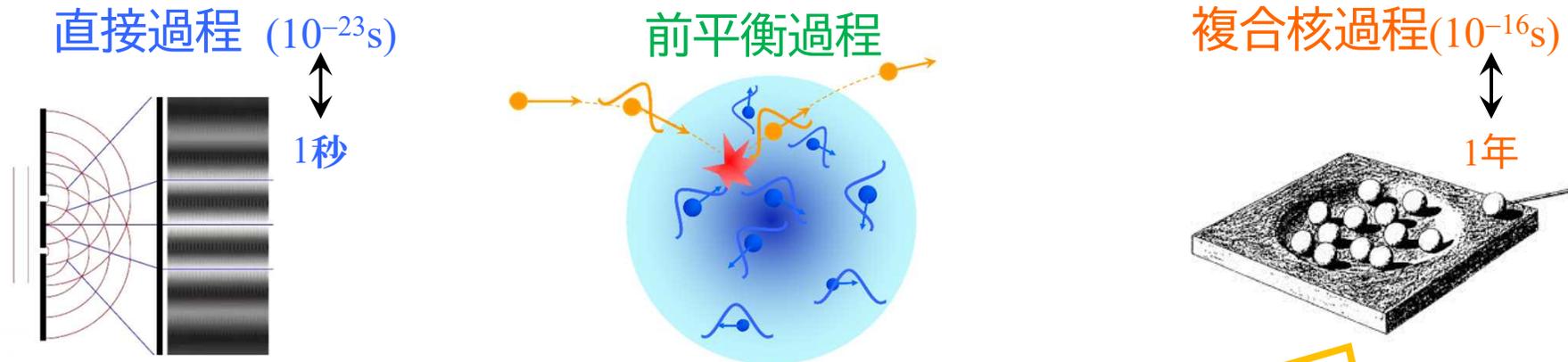
緒方 一介

九州大学大学院理学研究院

原子核反応の進行度

核反応の第2の段階は直接過程である。(中略)いずれの場合も、全過程に要する時間は非常に短く、励起される系の自由度は非常に少ない。

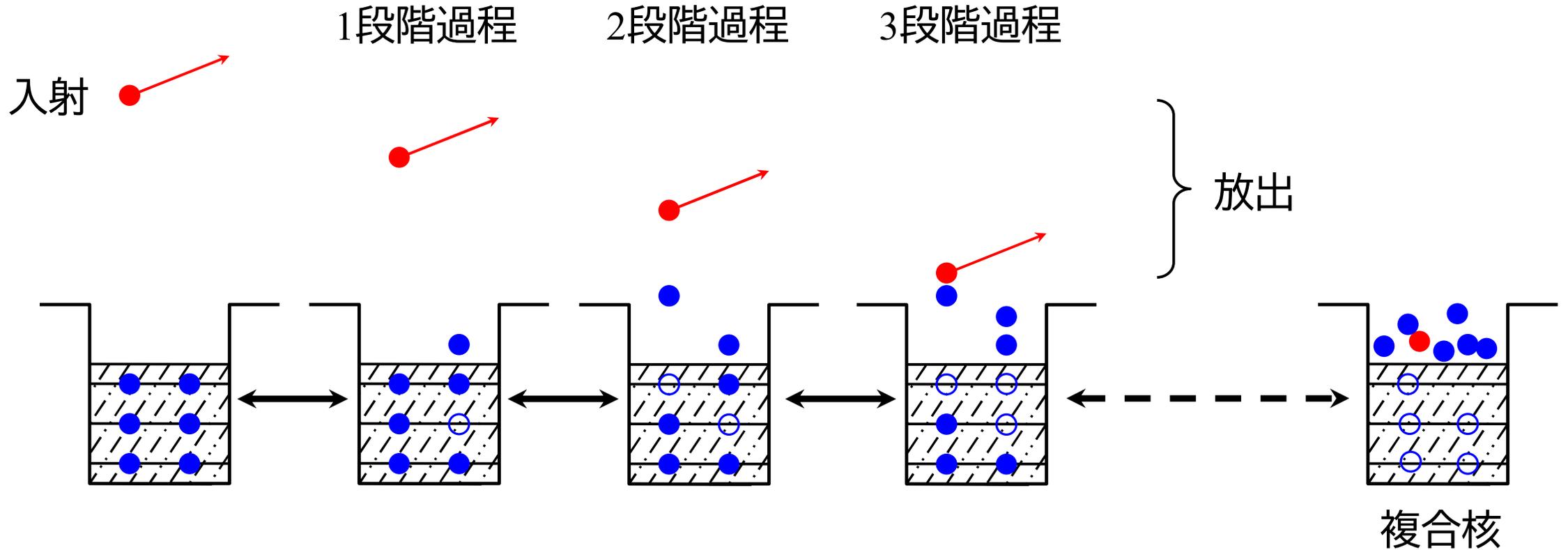
河合光路, 吉田思郎『原子核反応論』(朝倉書店) p. 149.



核反応の最終段階が複合核過程である。この段階にいたるまでに体系の励起されうる自由度はすべて励起されてしまう。

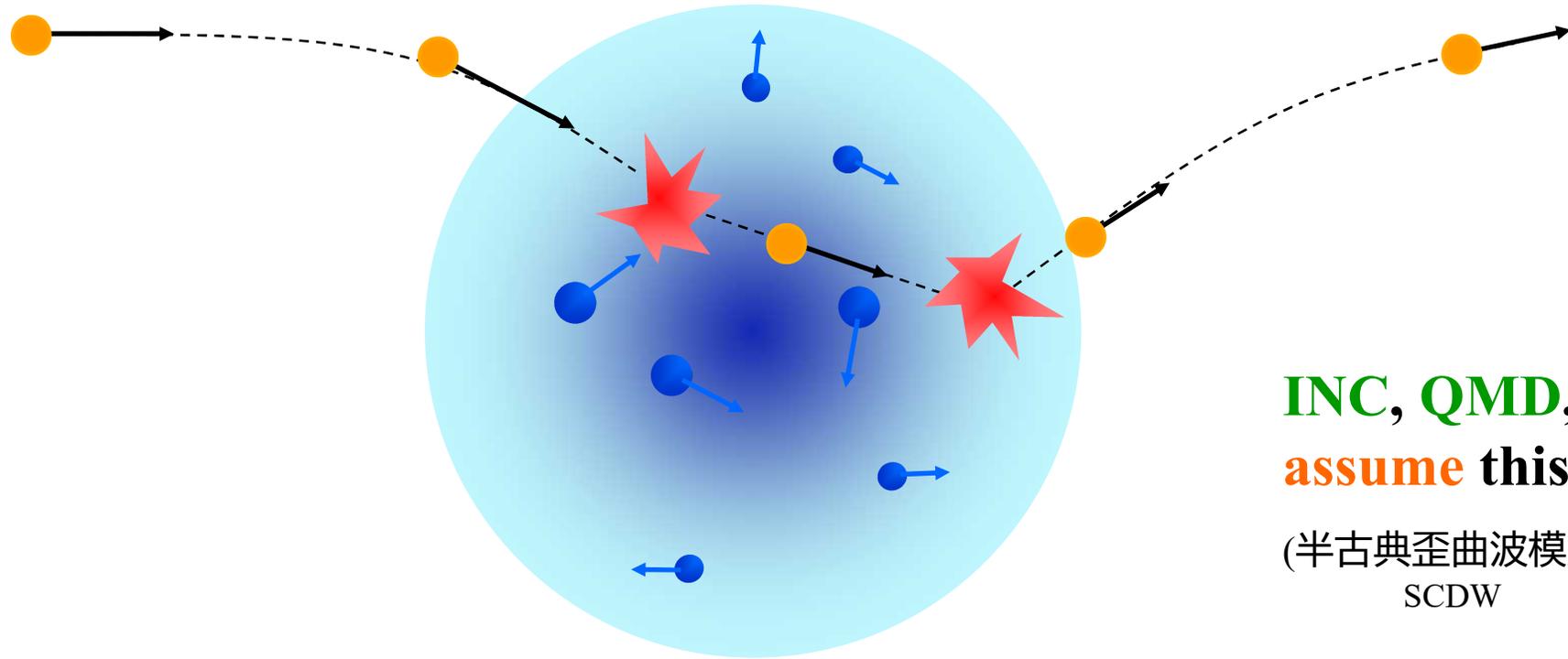
高木修二, 丸森寿夫, 河合光路『原子核論』(岩波書店, 新装版) p.469.

多段階直接過程(MSD)としてみる原子核反応の進行



1. 直接過程で原子核(系)のどのような励起状態が作られるか?
2. その励起状態はどのように崩壊するか?

A cascade picture of MSD



- 高エネルギーでは各種シミュレーションで直接過程を記述可能。
- 前平衡過程・複合核過程の粒子崩壊はどの程度理解されている？

Semi-Classical Distorted Wave model

$$\begin{aligned} \frac{d^2\sigma}{dE_f d\Omega_f} &= C \int d\mathbf{R} \left| \chi_f^{(-)}(\mathbf{R}) \right|^2 \left| \chi_i^{(+)}(\mathbf{R}) \right|^2 \\ &\times \int_{k_\alpha \leq k_F(\bar{\mathbf{R}})} d\mathbf{k}_\alpha \int_{k_\beta \geq k_F(\bar{\mathbf{R}})} d\mathbf{k}_\beta |t_{NN}(\boldsymbol{\kappa}', \boldsymbol{\kappa})|^2 \\ &\times \delta(\mathbf{k}_\beta + \mathbf{k}_f(\mathbf{R}) - \mathbf{k}_\alpha - \mathbf{k}_i(\mathbf{R})) \delta(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - \omega). \end{aligned}$$

- The **cascade picture** is derived (no free parameter).

Y. L. Luo and M. Kawai, PRC**43**, 2367 (1991).

- Formulation of multistep processes **up to 3-step** has been completed.

M. Kawai and H. A. Weidenmueller, PRC**45**, 1856 (1992); Y. Watanabe *et al.*, PRC**59**, 2136 (1999).

- A Woods-Saxon s.p. wave function can be used (**beyond LFG**).

Sun Weili *et al.*, PRC**60**, 064605 (1999).

- **Spin observables** can be calculated.

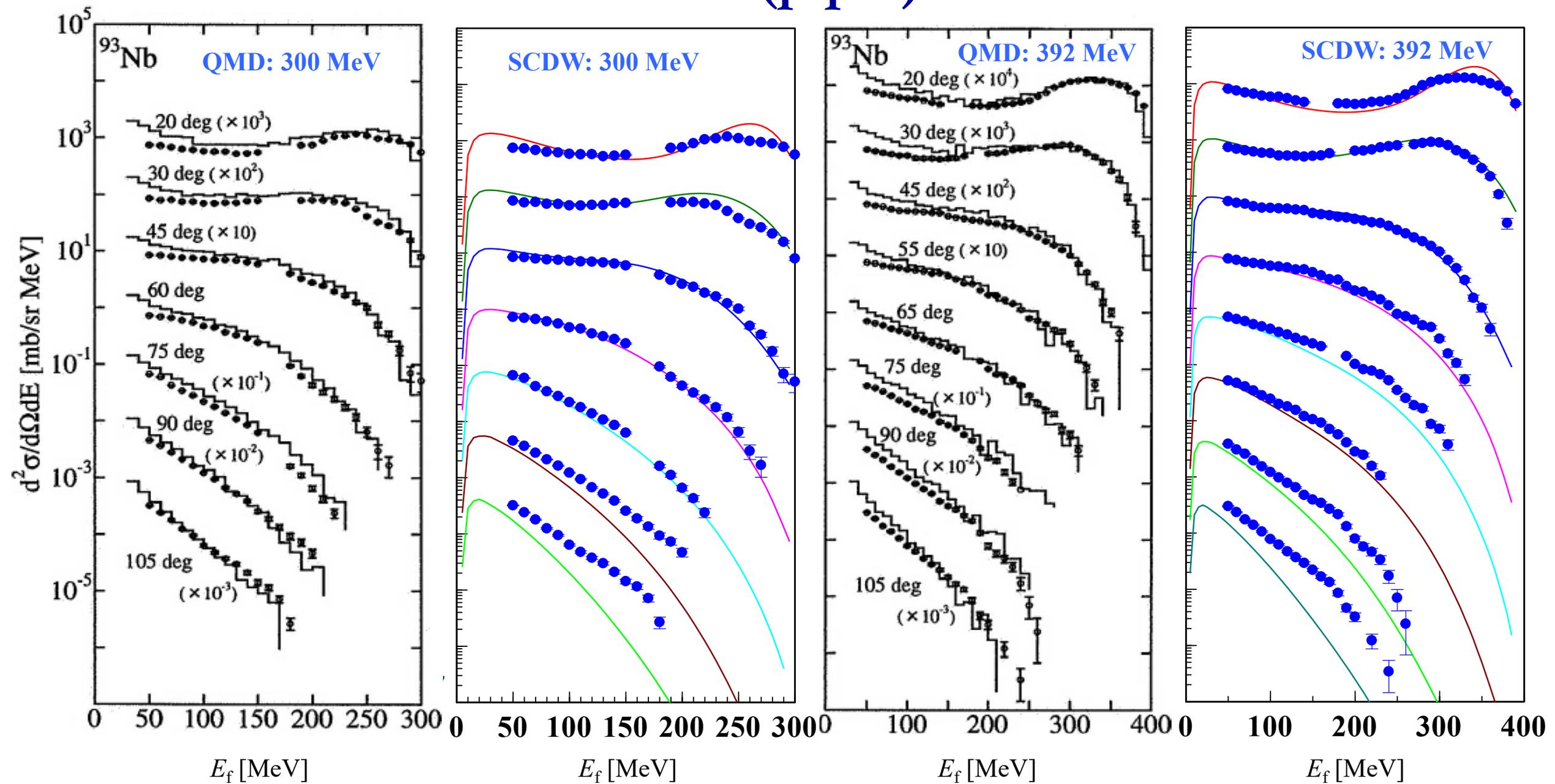
K. Ogata *et al.*, PRC**60**, 054605 (1999); T. Wakasa *et al.*, PRC**65**, 034615 (2002);

K. Ogata, G. C. Hillhouse, and B. I. S. van der Ventel, PRC**76**, 021602(R) (2007).

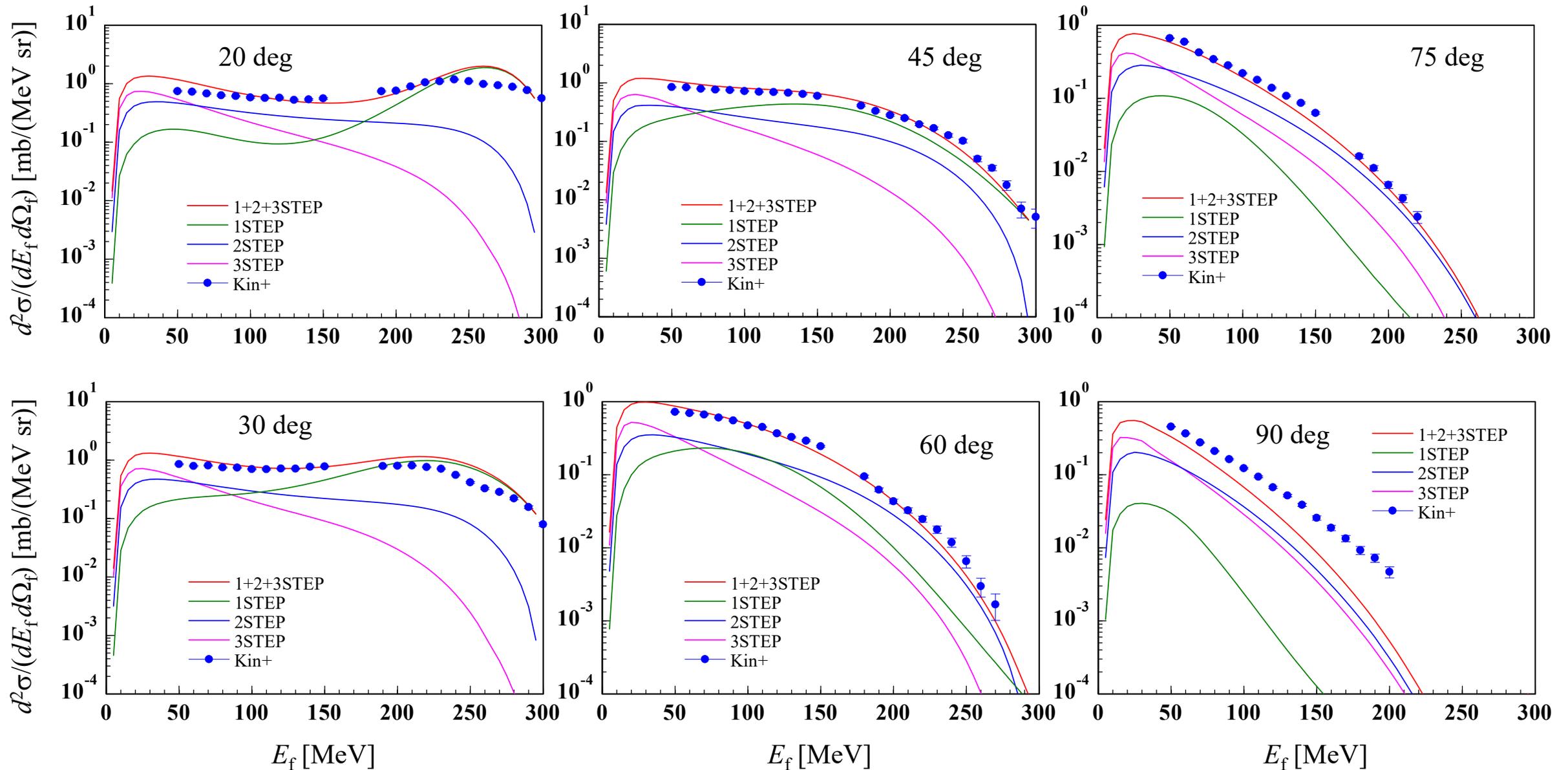
- Applicable to **various types** of QFS/knockout reactions, e.g., (π^-, K^+) reaction.

M. Kohno *et al.*, PRC**74**, 064613 (2006); M. Kohno and S. Hashimoto, PTP**123**, 157 (2010).

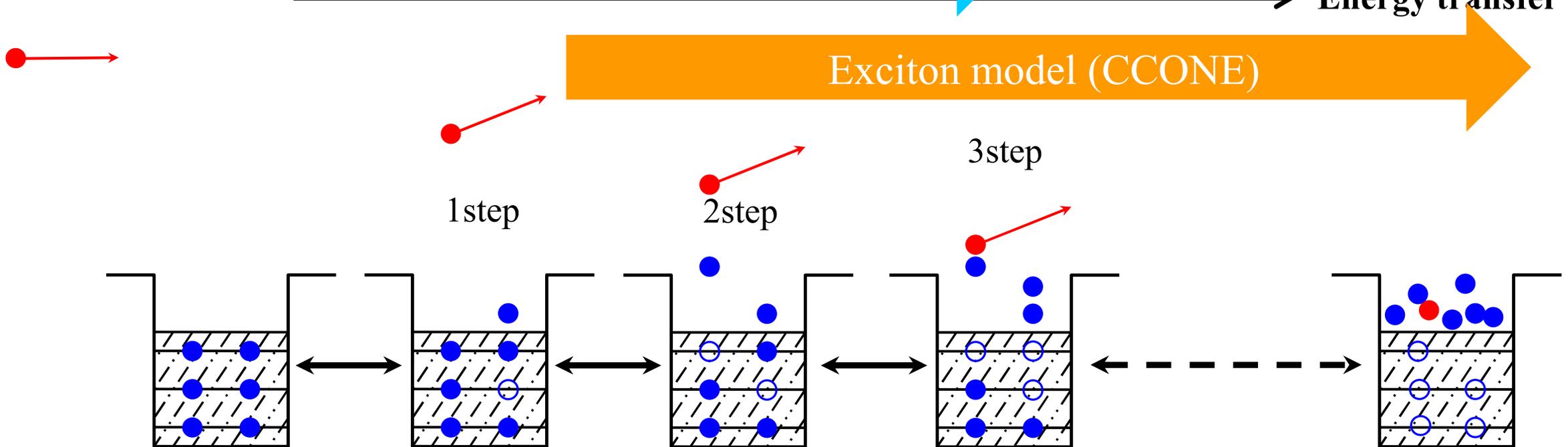
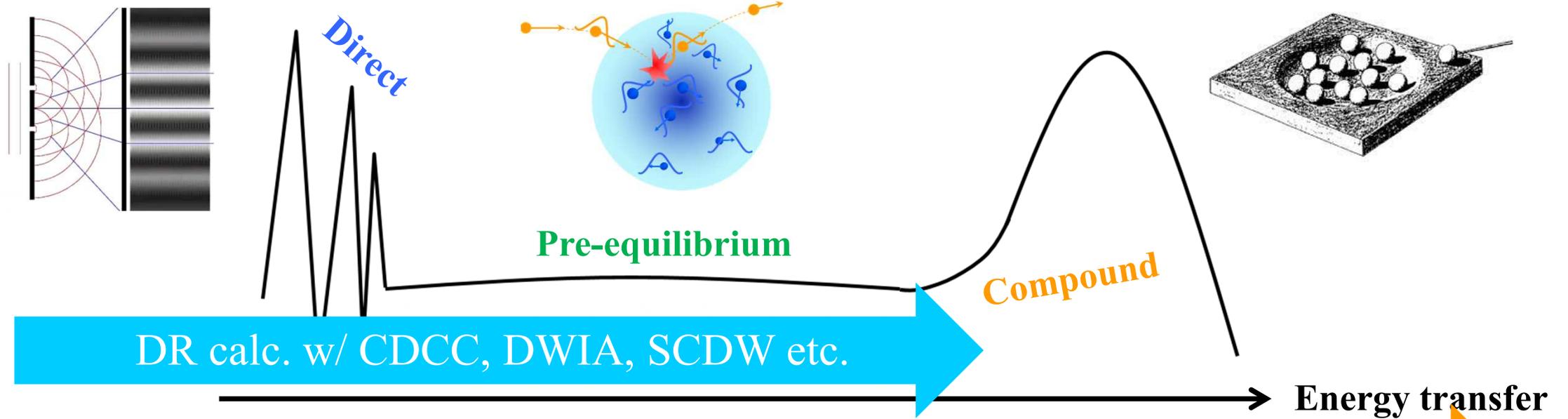
$^{93}\text{Nb}(p,p'x)$



$^{93}\text{Nb}(p,p'x)@300\text{MeV}$



Linking DR to CNR

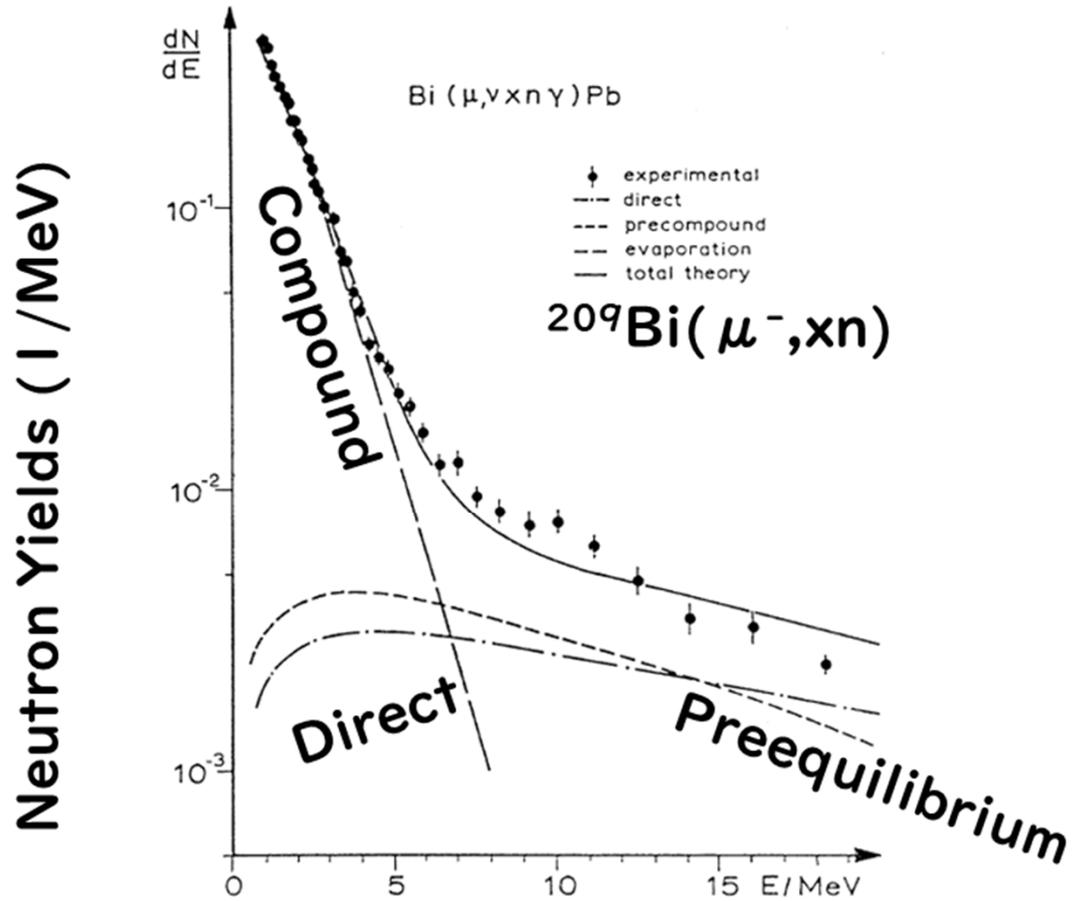


励起子模型(exciton model)

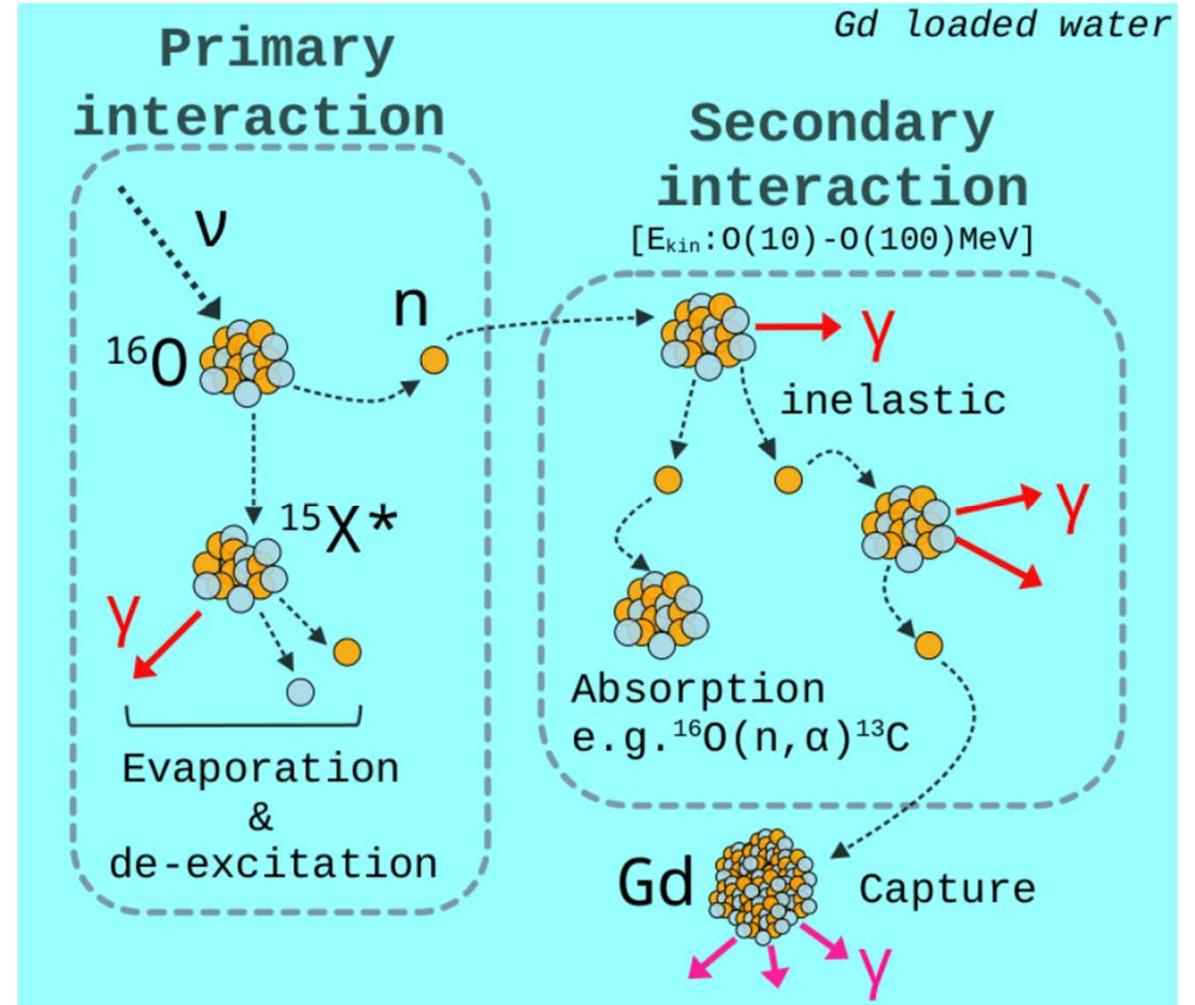
- 励起子模型の概要を説明(未準備)
 - 前平衡過程・複合核からの粒子放出を描ける。
 - 現象論的な模型であり、多数のパラメータを含む。
- 直接過程(や核構造論)の知見を励起子模型に取り入れたい。
 - ポイントは、原子核の励起エネルギー分布。
 - 第一歩として、1段階過程に対応するエネルギー分布をSCDWと励起子模型で計算した結果の比較が進行中。

Applications to muon and neutrino physics

Muon capture



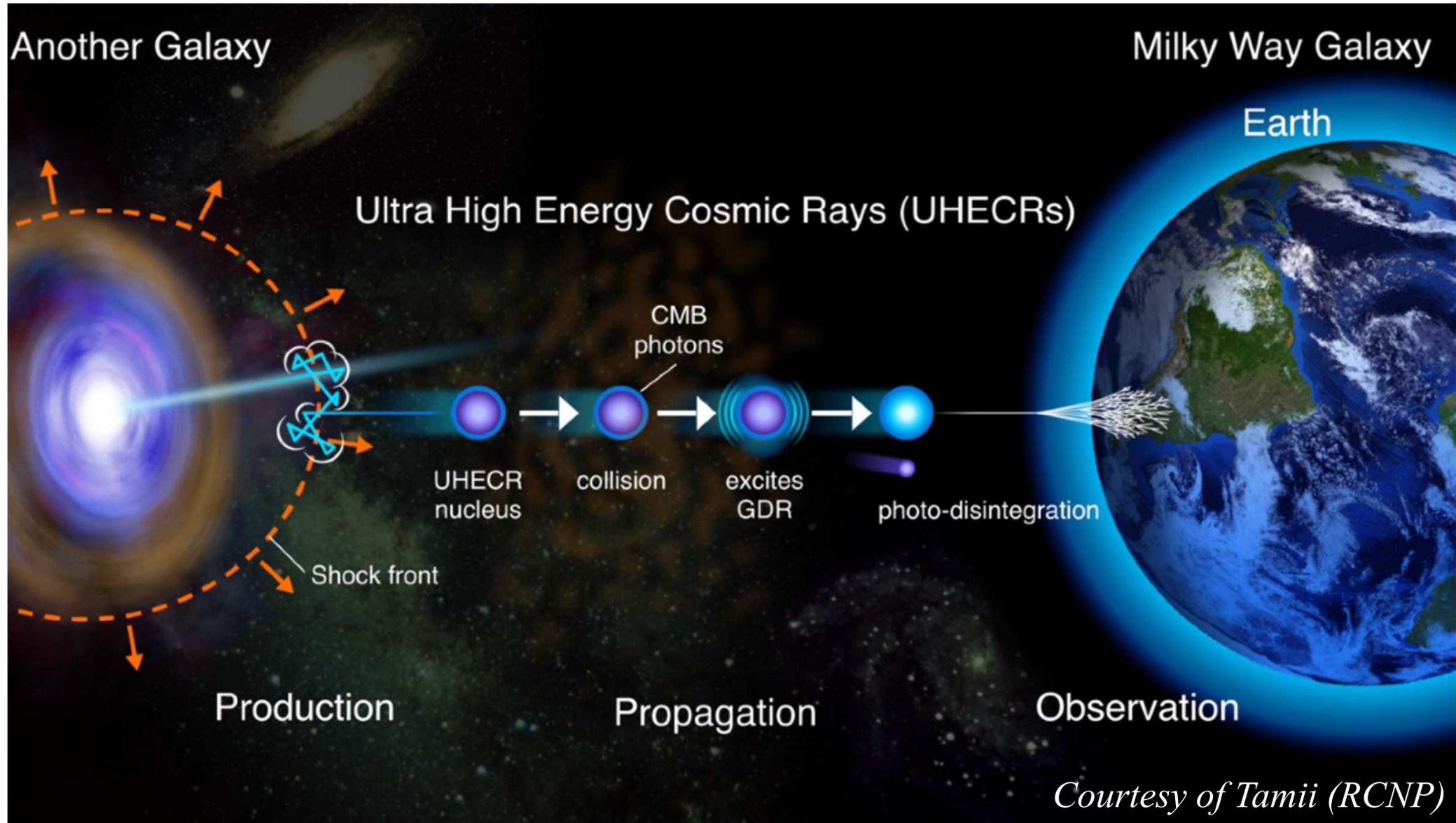
Neutrino detection (BG)



Courtesy of Nakajima (Tokyo)

The PANDORA PJ

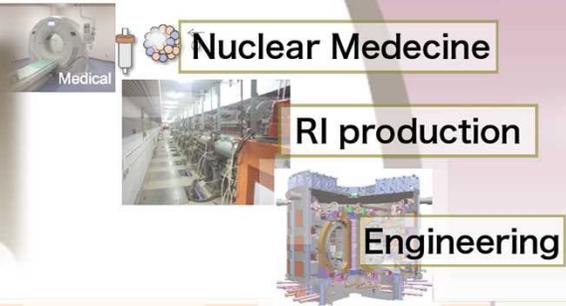
Photo-Absorption of Nuclei and Decay Observation for Reactions in Astrophysics



ERATO Sekiguchi Three-nucleon Forces PJ

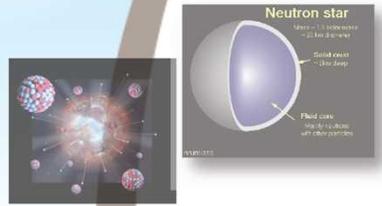


K. Sekiguchi
(Tokyo Tech.)



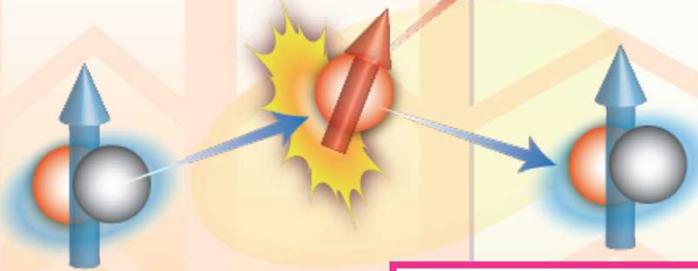
Applied Science
Evolution of Nuclear Data

Nuclear fusion & fission Nucleosynthesis Neutron star



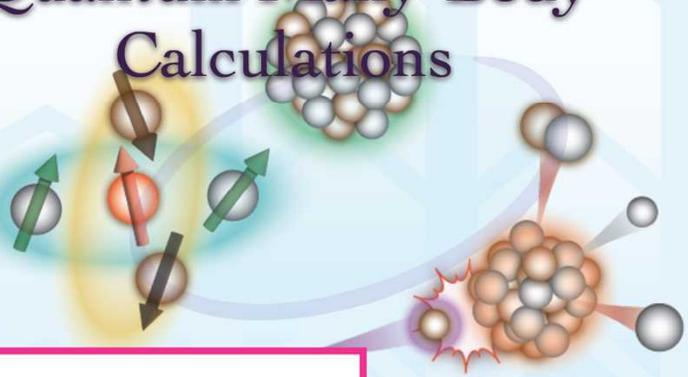
Erato

Polarization Experiment
- Few-Nucleon Systems -



Determination of
Three-Nucleon Force
Towards High Precision
Nuclear Force

High-Accuracy
Quantum Many-Body
Calculations



Fundamental Science
Descriptions of Nuclei from First Principles
Establishment of Quantum Many-Body Simulation Tool of Nuclear Phenomena
with High-predictive Power

まとめ

□ 核反応の進行の様子を概観した。

✓

✓

✓

□ 粒子放出を描く手法の改善案を提案した。

✓

✓

✓

□ 関連する物理のプロジェクトを紹介した。

✓