

# 核共鳴散乱UGからの 放射光2ビーム利用への期待

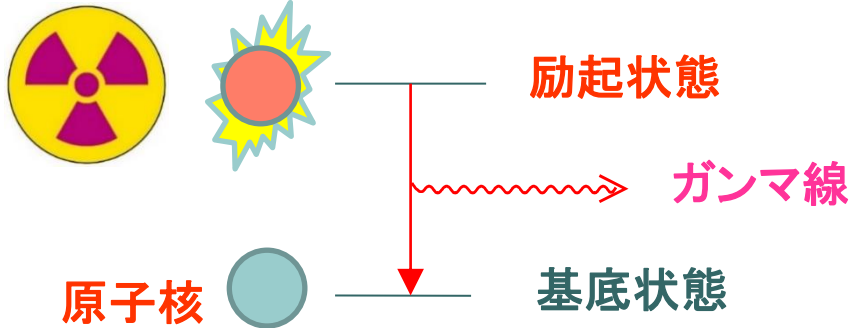
京都大学複合原子力科学研究所

北尾真司

# メスバウアー効果

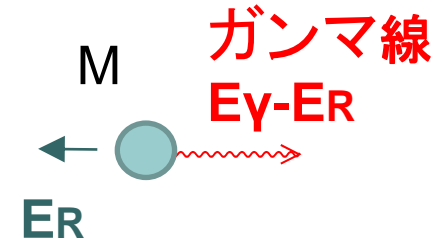
ガンマ崩壊

励起状態の原子核がガンマ線を出して崩壊する



反跳エネルギー

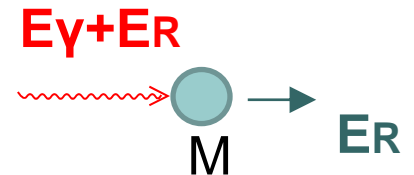
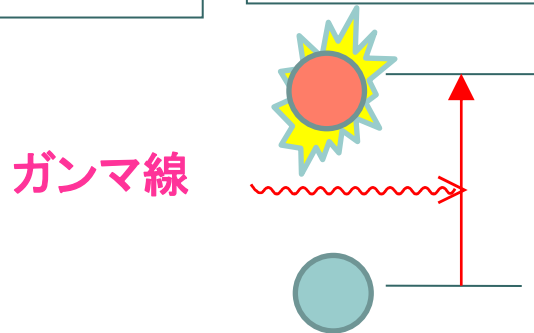
$$E_R = \frac{1}{2M} \left( \frac{E_\gamma}{c} \right)^2$$



一般には反跳を受ける

メスバウアー効果

同じエネルギーのガンマ線により原子核が無反跳に励起される



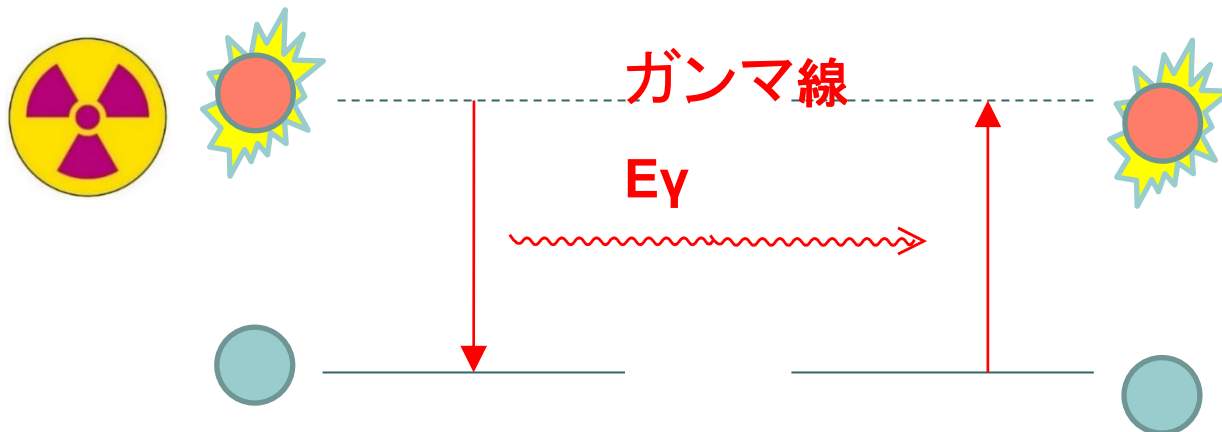
メスバウアー効果

- 固体中に原子が強く結合
- 励起エネルギーが小さい

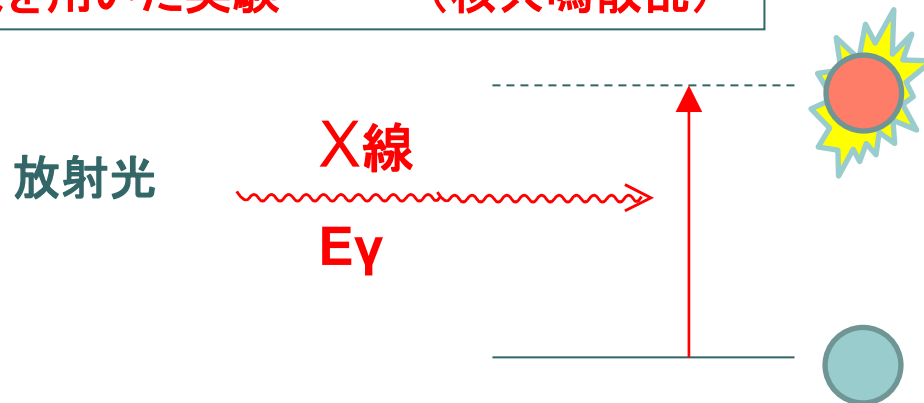
反跳なしに共鳴吸収が実現

# 核共鳴散乱とメスバウアー分光

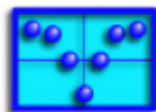
放射性同位元素のガンマ線を用いる実験 ～(メスバウアー分光)



放射光施設からのX線を用いた実験 ～(核共鳴散乱)



# メスバウアー核種



Mössbauer  
Effect  
Data  
Center

Directory

Database

Journal

Resources

Services

Contacts

## Properties of Isotopes Relevant to Mössbauer Spectroscopy

Select an element in the periodic table below by clicking in the box.

各元素の  
メスバウアー核種の数

メスバウアー準位の数

1A																	0		
1	H																	He	
2	Li	Be																	Ne
3	Na	Mg	III B	IV B	V B	VIB	VII B	VII		IB	IB	III A	IV A	V A	VIA	VII A	Ar		
4	<sup>1</sup> <sub>1</sub> K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	<sup>2</sup> <sub>1</sub> Fe	Co	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Ni	Cu	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Zn	Ga	<sup>2</sup> <sub>1</sub> Ge	As	Se	Br	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	<sup>2</sup> <sub>1</sub> Ru	Rh	Pd	<sup>2</sup> <sub>1</sub> Ag	Cd	In	<sup>2</sup> <sub>2</sub> Sn	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Sb	<sup>1</sup> <sub>2</sub> Te	<sup>2</sup> <sub>1</sub> I	<sup>2</sup> <sub>1</sub> Xe	
6	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Cs	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Ba	<sup>1</sup> <sub>1</sub> La	<sup>4</sup> <sub>1</sub> Hf	<sup>2</sup> <sub>1</sub> Ta	<sup>7</sup> <sub>1</sub> W	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Re	<sup>6</sup> <sub>1</sub> Os	<sup>4</sup> <sub>2</sub> Ir	<sup>2</sup> <sub>1</sub> Pt	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Au	<sup>2</sup> <sub>2</sub> Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac																
	Ce	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Pr	<sup>2</sup> <sub>1</sub> Nd	<sup>2</sup> <sub>2</sub> Pm	<sup>6</sup> <sub>1</sub> Sm	<sup>4</sup> <sub>2</sub> Eu	<sup>9</sup> <sub>1</sub> Gd	<sup>1</sup> <sub>4</sub> Tb	<sup>6</sup> <sub>1</sub> Dy	<sup>1</sup> <sub>5</sub> Ho	<sup>5</sup> <sub>1</sub> Er	<sup>1</sup> <sub>5</sub> Tm	<sup>6</sup> <sub>1</sub> Yb	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Lu					
	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Th	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Pa	<sup>3</sup> <sub>1</sub> U	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Np	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Pu	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Am	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Cm	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Bk	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Cf	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Es	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Fm	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Md	<sup>1</sup> <sub>1</sub> Nd	<sup>1</sup> <sub>1</sub> U					

密封放射性線源  
が入手可能な  
核種に限定

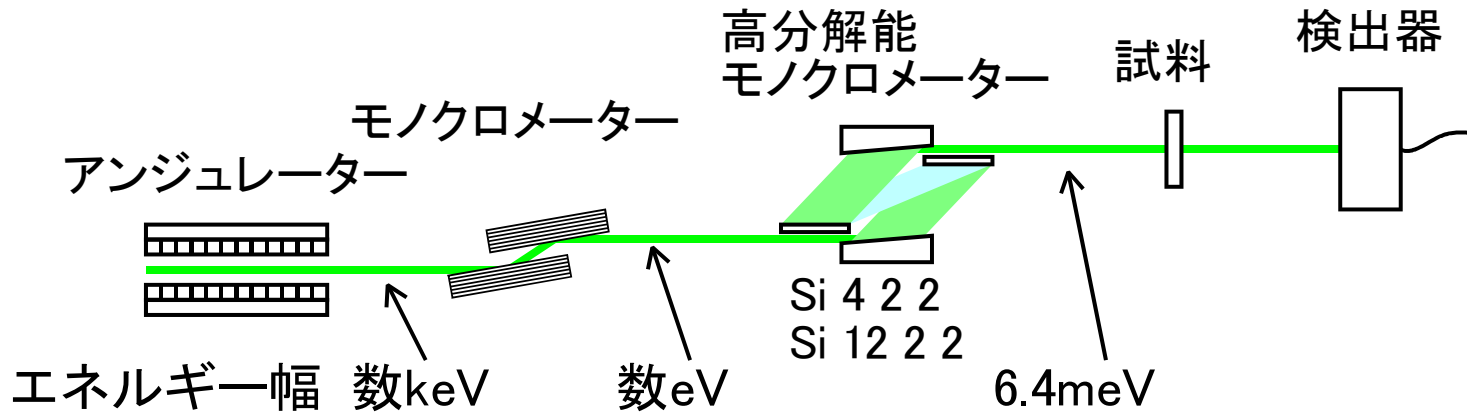
<sup>57</sup>Fe, <sup>119</sup>Sn, <sup>151</sup>Eu



放射光施設  
多様な核種に  
展開可

# 核共鳴散乱の実験配置

## (核共鳴前方散乱)



時間構造パルス運転

特定エネルギーに高輝度  
(アンジュレーター, ウィングラ)

PF-AR NE1A

エネルギー幅を絞る

(入れ子型チャンネル  
カットモノクロメーター)

$\Delta E \sim$  数meV

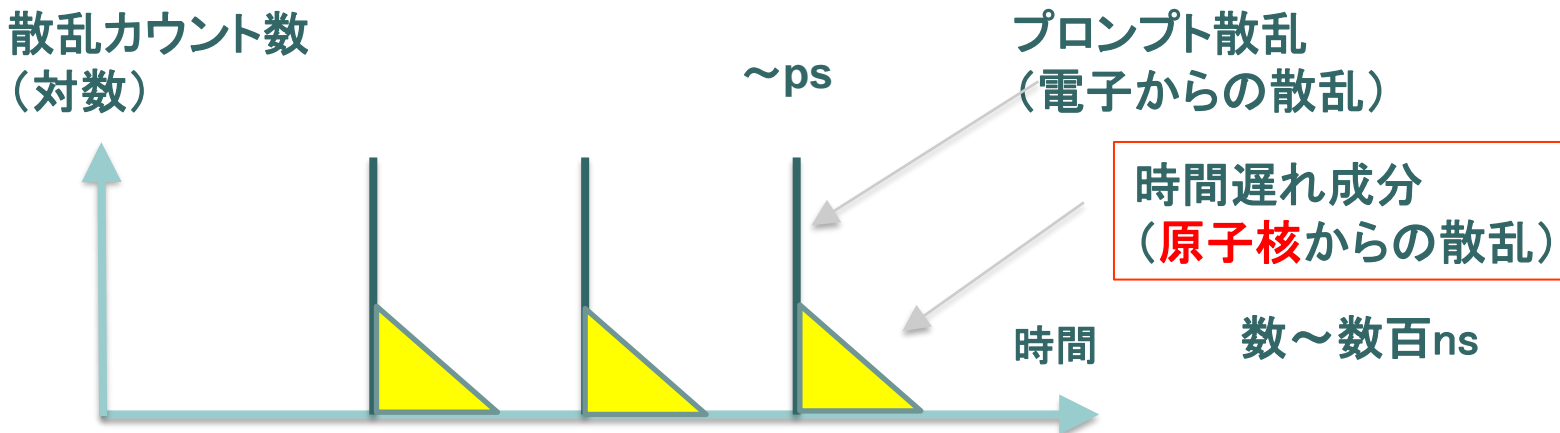
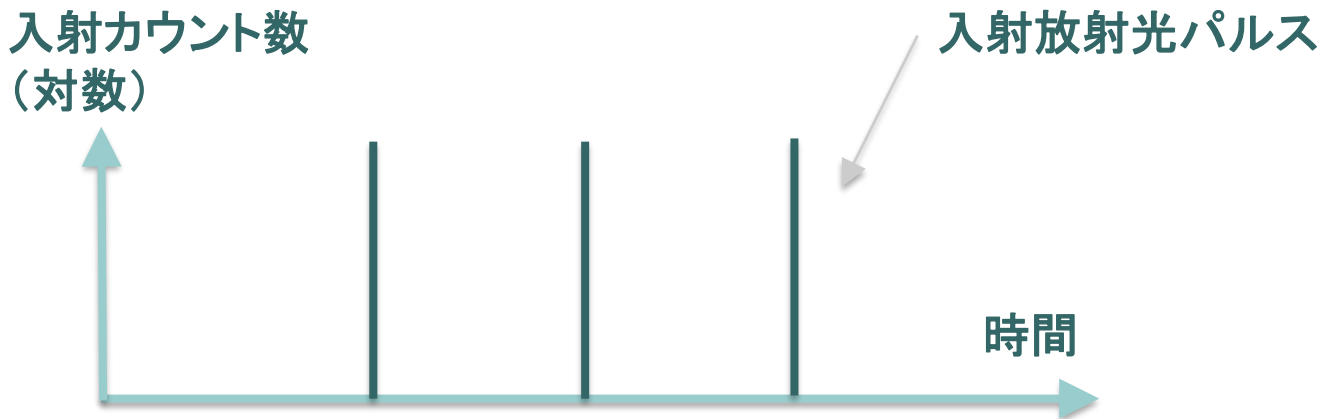
高速検出器

アバランシュフォトダイ  
オード(APD)検出器

時間分解能 $\sim$ サブns

# 放射光パルスの時間スペクトル

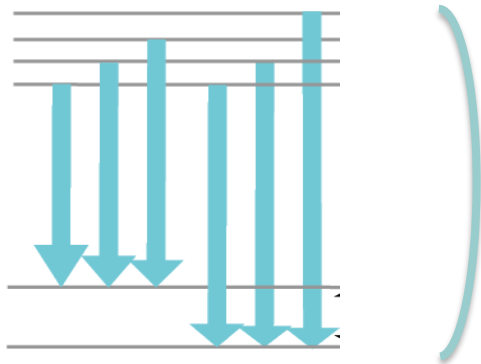
原子核を励起した後にガンマ崩壊する時間遅れの成分を観測する



# 時間スペクトルとエネルギースペクトル

励起状態

基底状態



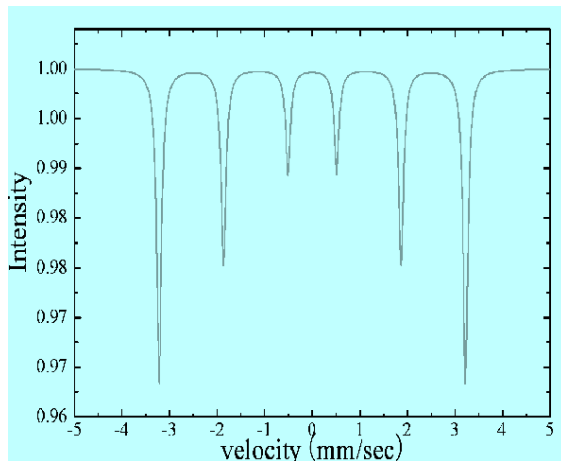
広いエネルギー幅で励起

複数の準位間の干渉が時間スペクトルで観測される

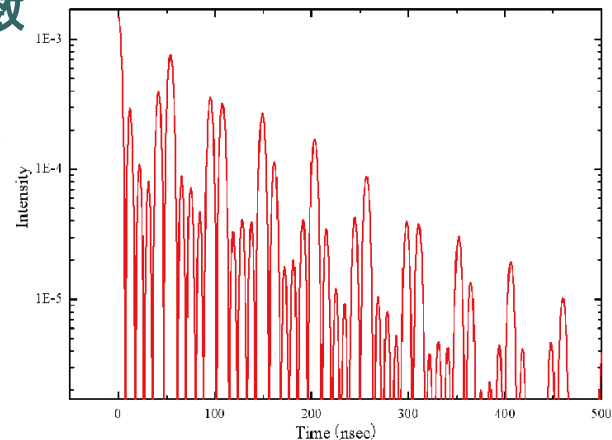
メスバウアースペクトル  
(エネルギースペクトル)

核共鳴前方散乱  
(時間スペクトル)

透過率



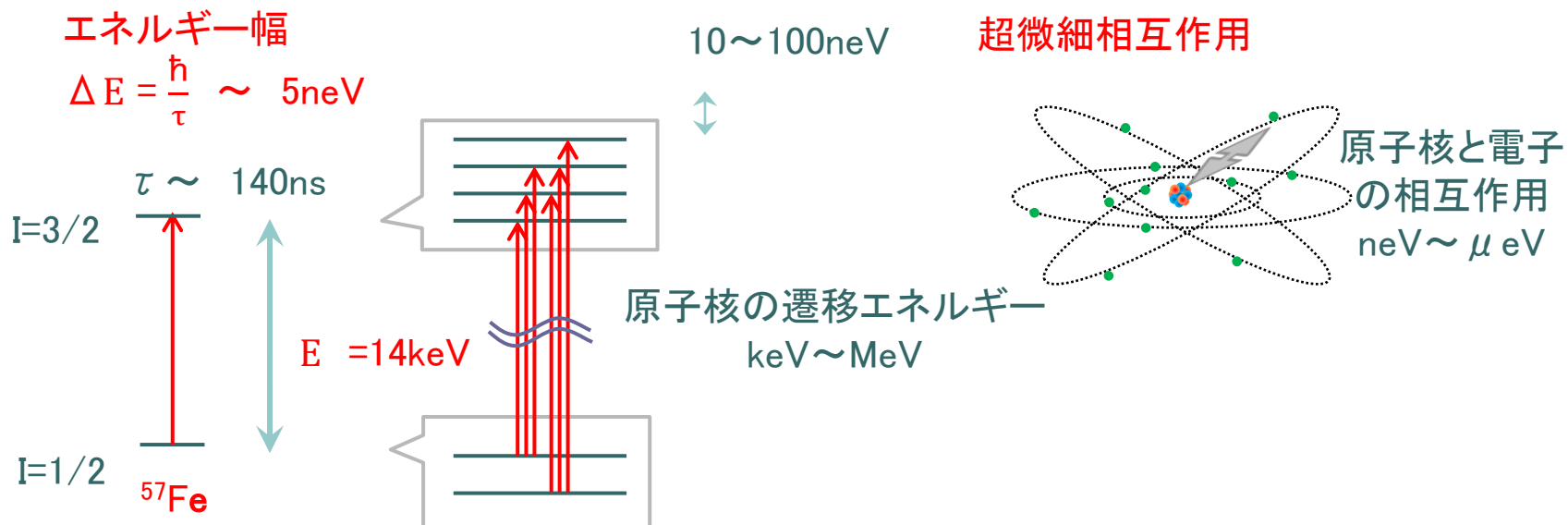
カウント数  
(対数)



時間

速度(~エネルギー)

# メスバウアー分光から得られる情報



超高エネルギー分解能の分光法  $\frac{\Delta E}{E} \sim 10^{-12}$

特定元素(核種)についてのみの情報が得られる

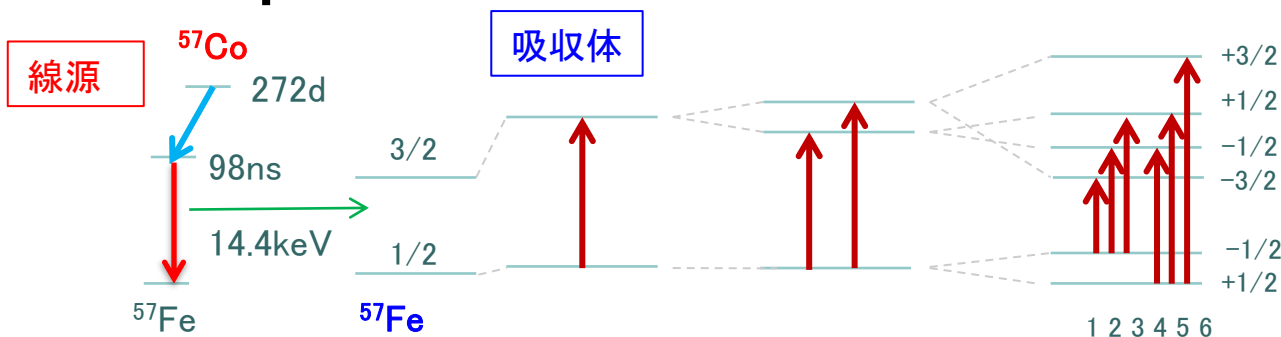
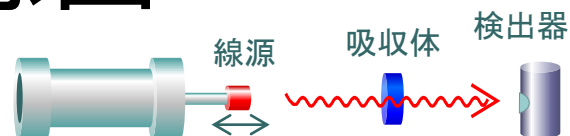
- 電子状態 — 原子価数、共有結合性(イオン性)、..
- 磁性 — 常磁性、(反)強磁性、磁気モーメント、..
- 格子振動 — デバイ温度、..

化合物の同定、価数の評価に利用

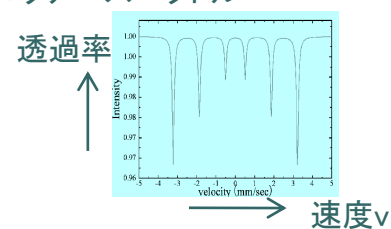
- $\alpha\text{-Fe}$ (金属鉄)
- $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (ヘマタイト) 3価
- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (マグネタイト) 2価、3価
- $\text{FeO}$ (ウスタイト) 2価



# メスバウアー分光概念図



メスバウアースペクトル



メスバウアーパラメータ

メスバウアー  
スペクトル

電子状態の概念図

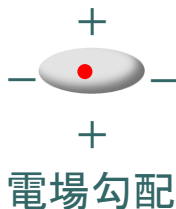
得られる情報

アイソマー  
シフト



s-電子密度

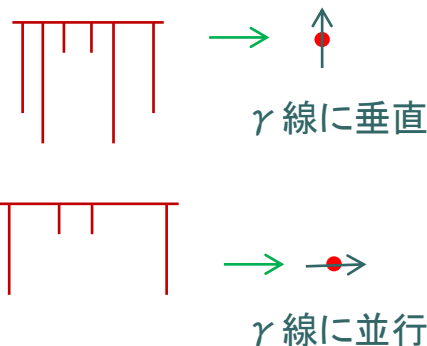
四極子分裂



磁気分裂



磁気モーメントの異方性



原子価数

$Fe^{2+}, Fe^{3+}$

配位の異方性

$p_x, p_z$   
 $d_{xy}, d_{z^2}$

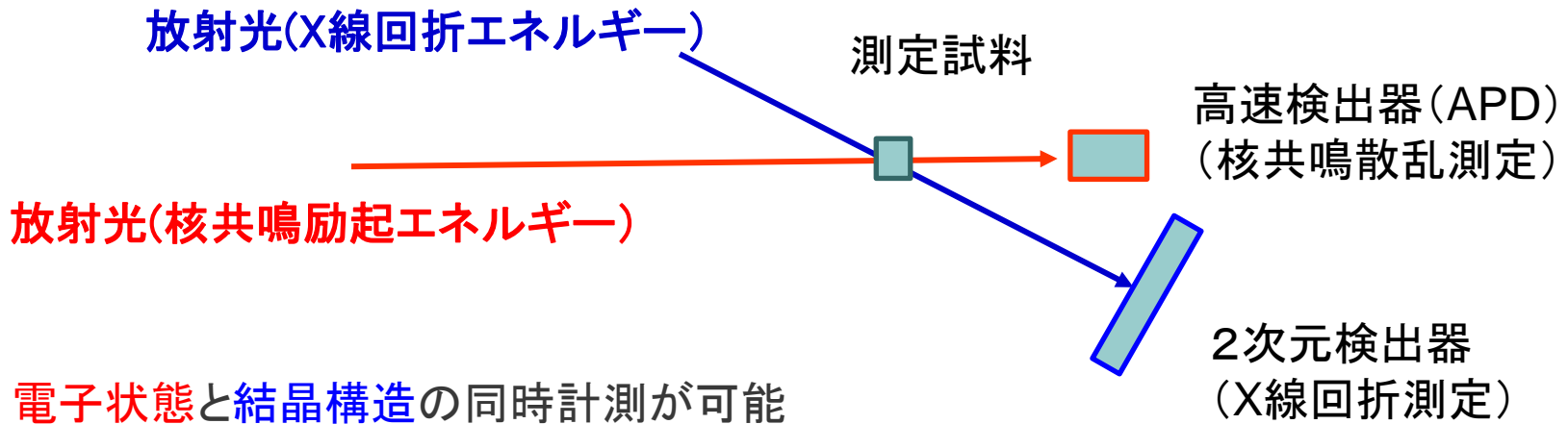
磁性

常磁性、強磁性

# 2ビーム実験案(1)

核共鳴散乱＋他の分光法の同時測定

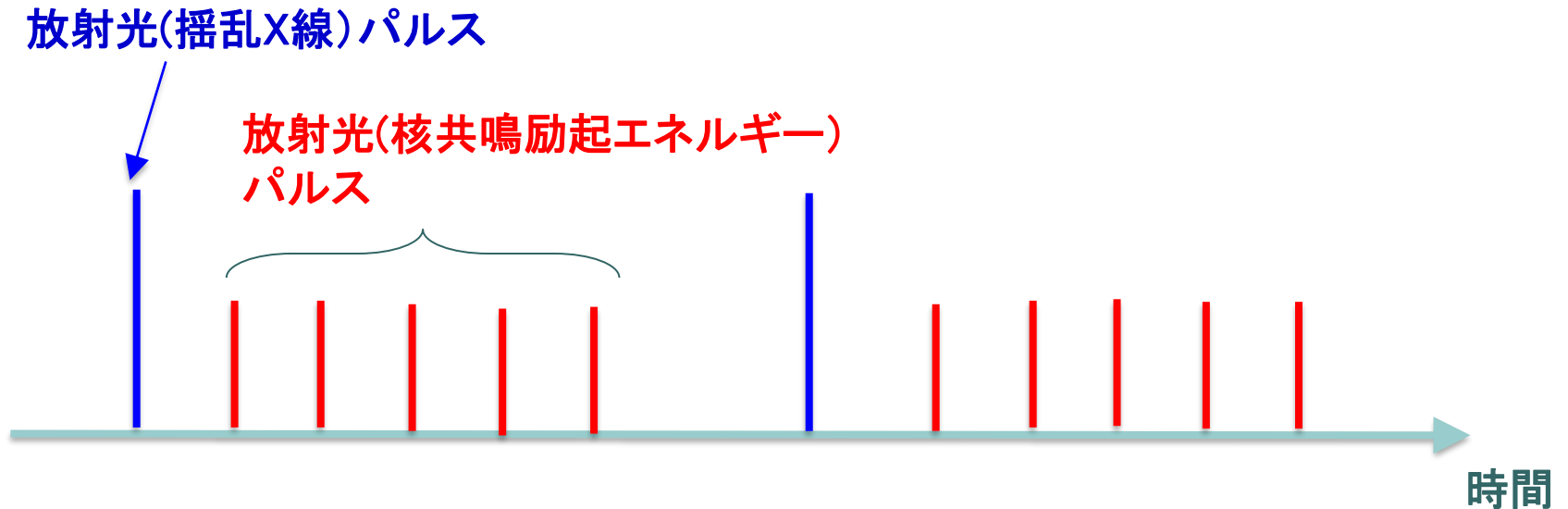
(例)X線回折による結晶構造解析



→磁気転移と構造相転移が同時に生じる系の精密温度変化測定など  
eg 鉄系超伝導体 母物質

# 2ビーム実験案(2)

X線照射による揺乱に対する核共鳴散乱の時間変化測定  
(ポンププローブ的な利用)



X線照射により時間変化する系の電子状態の時間変化を測定可能( $\text{ns} \sim \mu\text{s}$ 以上)

eg 蛍光物質のX線照射による電子状態変化



# 核共鳴散乱の特徴

- ・時分割測定が必須であり、既存の実験技術にて時分割実験可能。
- ・特定エネルギーのみを利用。時間遅れ成分を利用。  
(他のエネルギーによる同時測定の影響を受けにくい)
- ・対象となる核種(元素)のみの情報が得られる。(核種が限られる)
- ・核共鳴散乱強度は電子散乱に比べて非常に小さい。  
(アンジュレータ、高分解能モノクロメータが必要)

⇒2ビーム実験により、多様な応用実験への展開が期待できる。