

名古屋大学加速器中性子源(NUANS)と 新中性子源検討

Hirohiko. M. SHIMIZU

Department of Physics, Nagoya University

hirohiko.shimizu@nagoya-u.jp

名古屋大学加速器中性子源

NUANS: Nagoya University Accelerator-driven Neutron Source



IBA社製静電型BNCT装置の構成と主要仕様

(a) 加速器

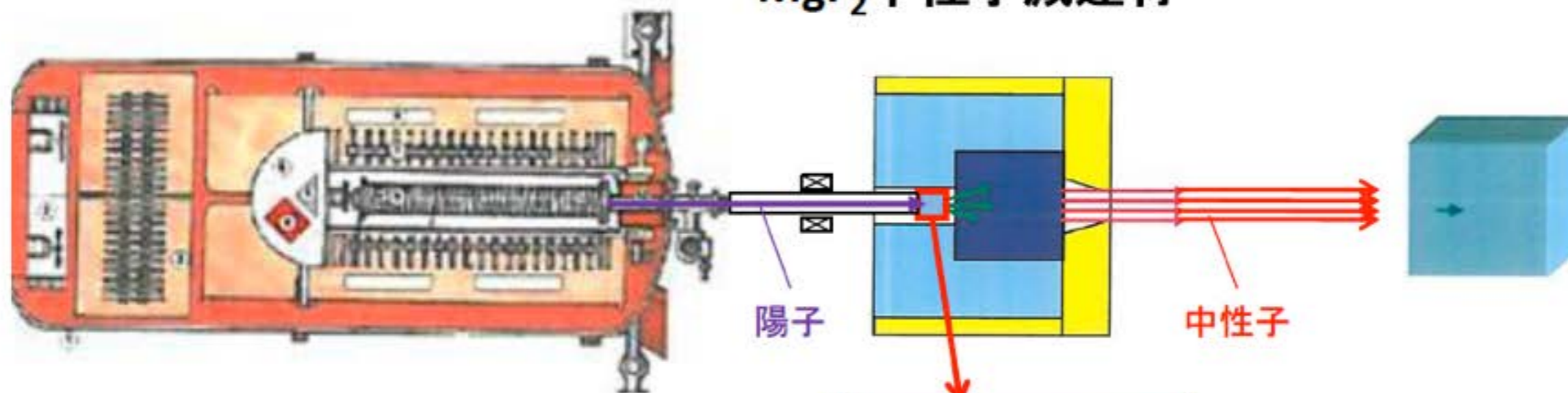
(b) 中性子発生・減速装置

(c) 中性子照射域

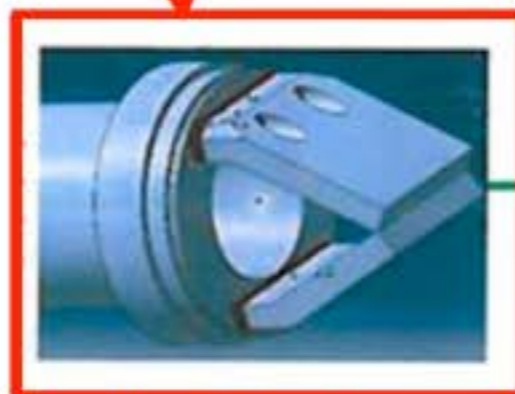
ECRイオン源+静電型加速器
(Dynamitron)

Liターゲット
+
MgF₂中性子減速材

ファントム、
患者様



陽子エネルギー; 2.8 ~ 1.9 MeV
(可変)
ビーム電流 ; 15 mA以上



Liターゲット

目標中性子束
① 熱外中性子
② 2×10^9 n/cm²s
at 2.5 cm skin depth

IBA社製静電型BNCT装置の構成と主要仕様

(a) 加速器

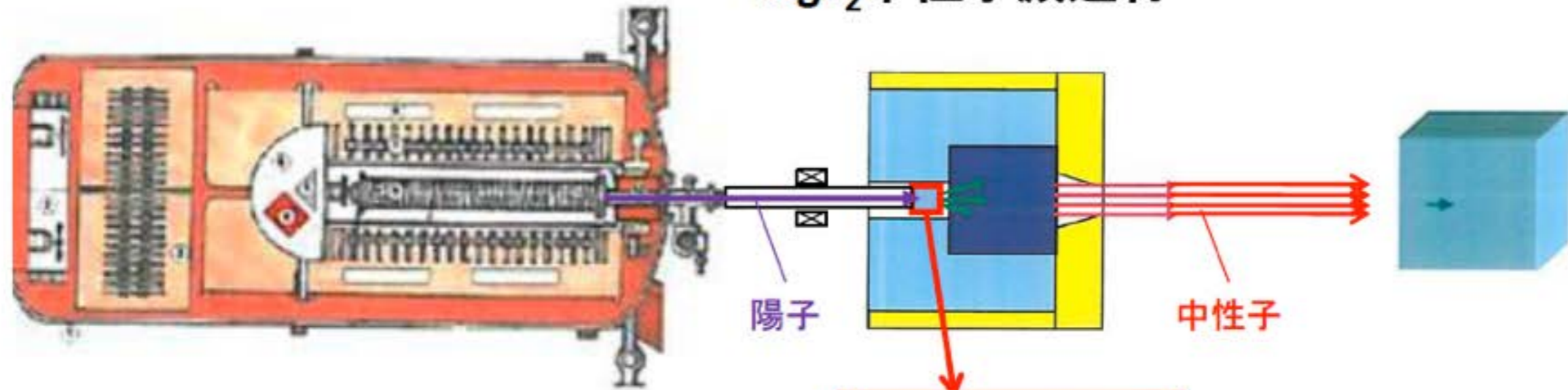
(b) 中性子発生・減速装置

(c) 中性子照射域

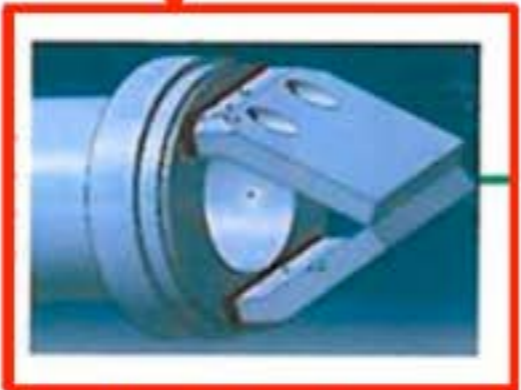
ECRイオン源+静電型加速器
(Dynamitron)

Liターゲット
+
MgF₂中性子減速材

ファントム、
患者様



陽子エネルギー; 2.8 ~ 1.9 MeV
(可変)
ビーム電流 ; 15mA以上



Liターゲット

目標中性子束
① 熱中性子
② 2×10^9 n/cm²s
at 2.5cm skin depth

IBA社製静電型BNCT装置の構成と主要仕様

(a) 加速器

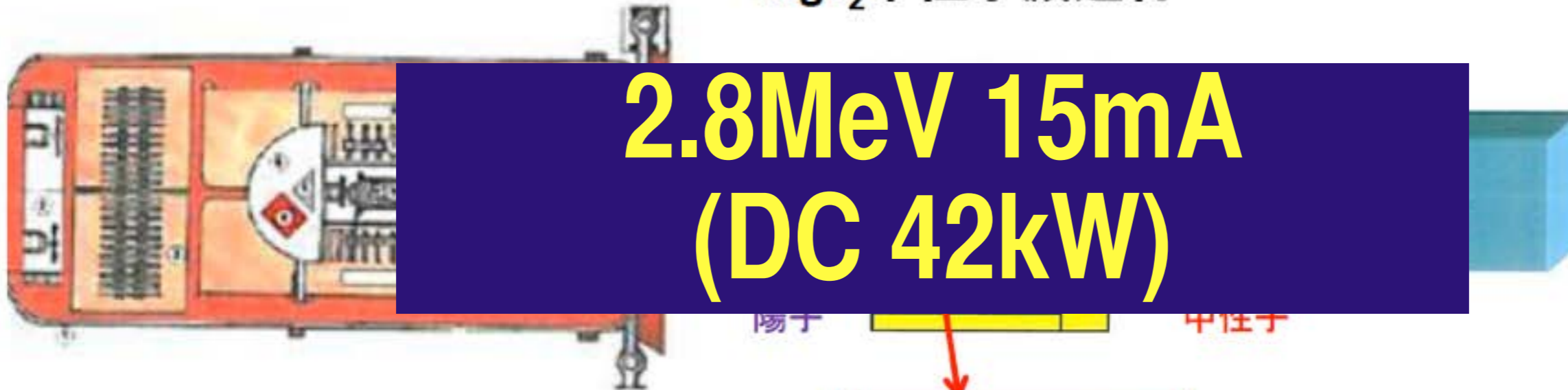
(b) 中性子発生・減速装置

(c) 中性子照射域

ECRイオン源+静電型加速器
(Dynamitron)

Liターゲット
+
MgF₂中性子減速材

ファントム、
患者様



2.8MeV 15mA
(DC 42kW)

陽子エネルギー; 2.8 ~ 1.9MeV
(可変)
ビーム電流 ; 15mA以上



Liターゲット

目標中性子束
① 熱外中性子
② 2×10^9 n/cm²s
at 2.5cm skin depth

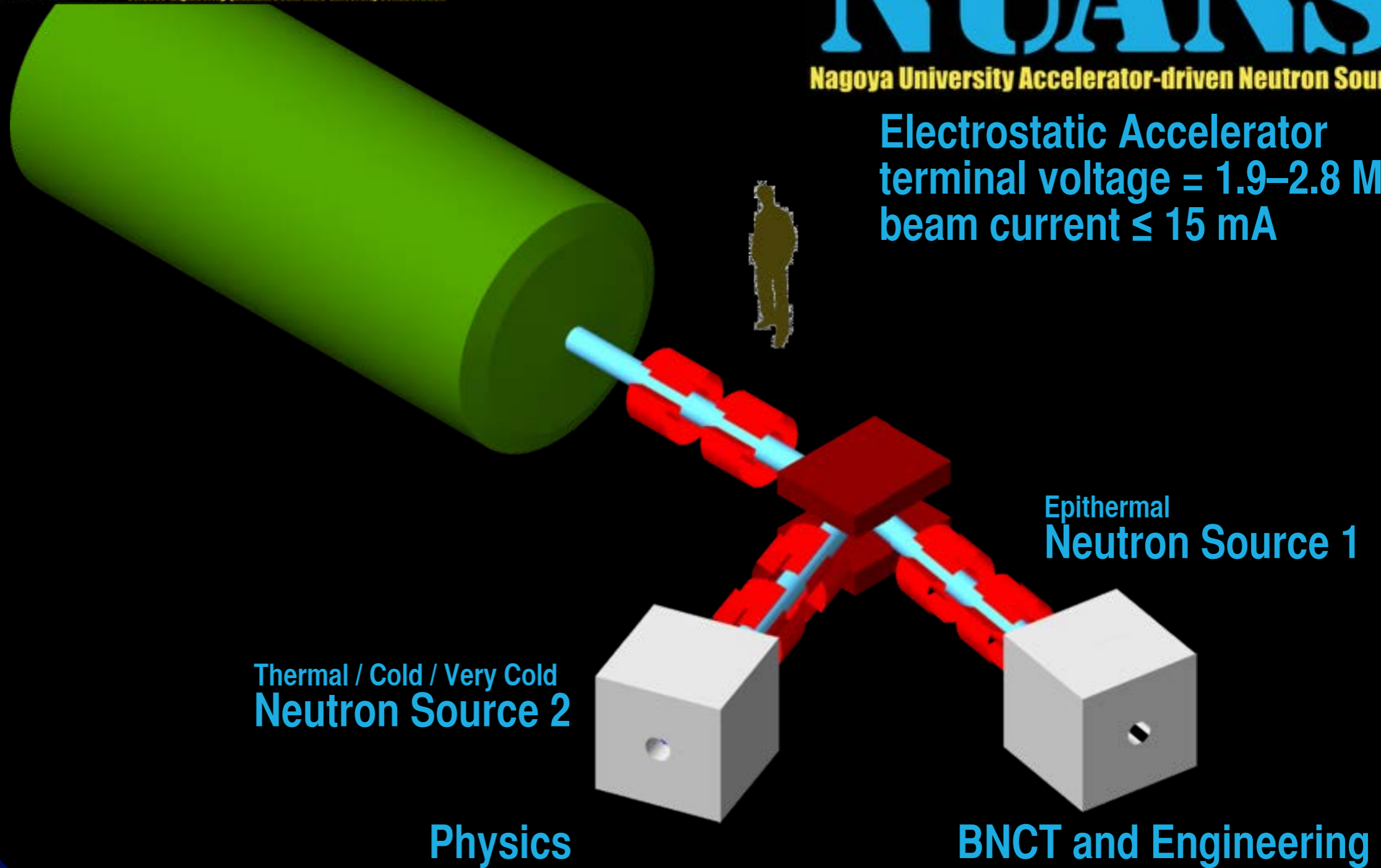
Science-Engineering Quantum Beam Intra-university Collaboration



NUANS

Nagoya University Accelerator-driven Neutron Source

Electrostatic Accelerator
terminal voltage = 1.9–2.8 MV
beam current ≤ 15 mA



Thermal / Cold / Very Cold
Neutron Source 2

Epithermal
Neutron Source 1

Physics

BNCT and Engineering

Science-Engineering Quantum Beam Intra-university Collaboration

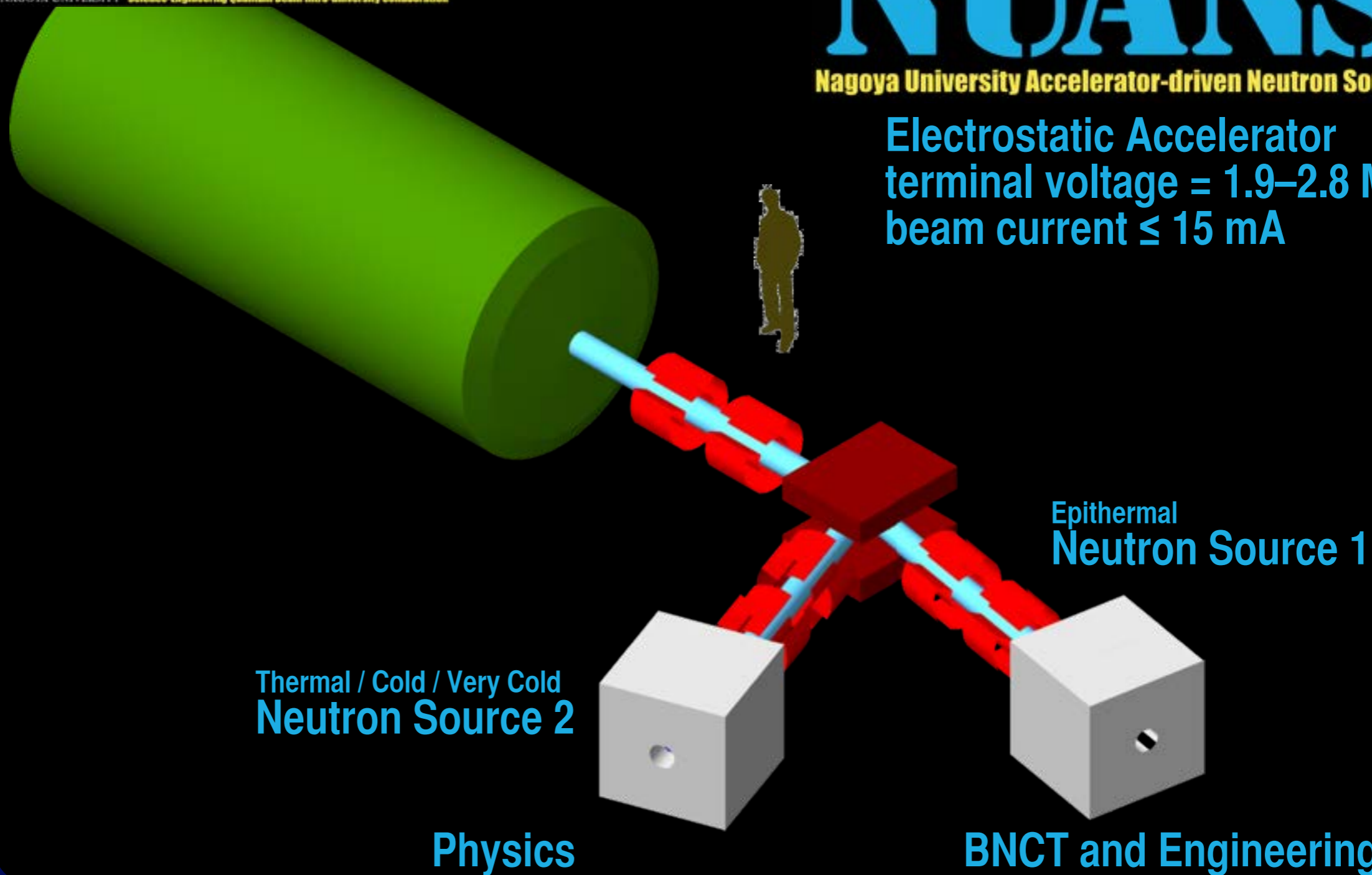
理工連携

NAGOYA UNIVERSITY Science-Engineering Quantum Beam Intra-university Collaboration

NUANS

Nagoya University Accelerator-driven Neutron Source

Electrostatic Accelerator
terminal voltage = 1.9–2.8 MV
beam current ≤ 15 mA

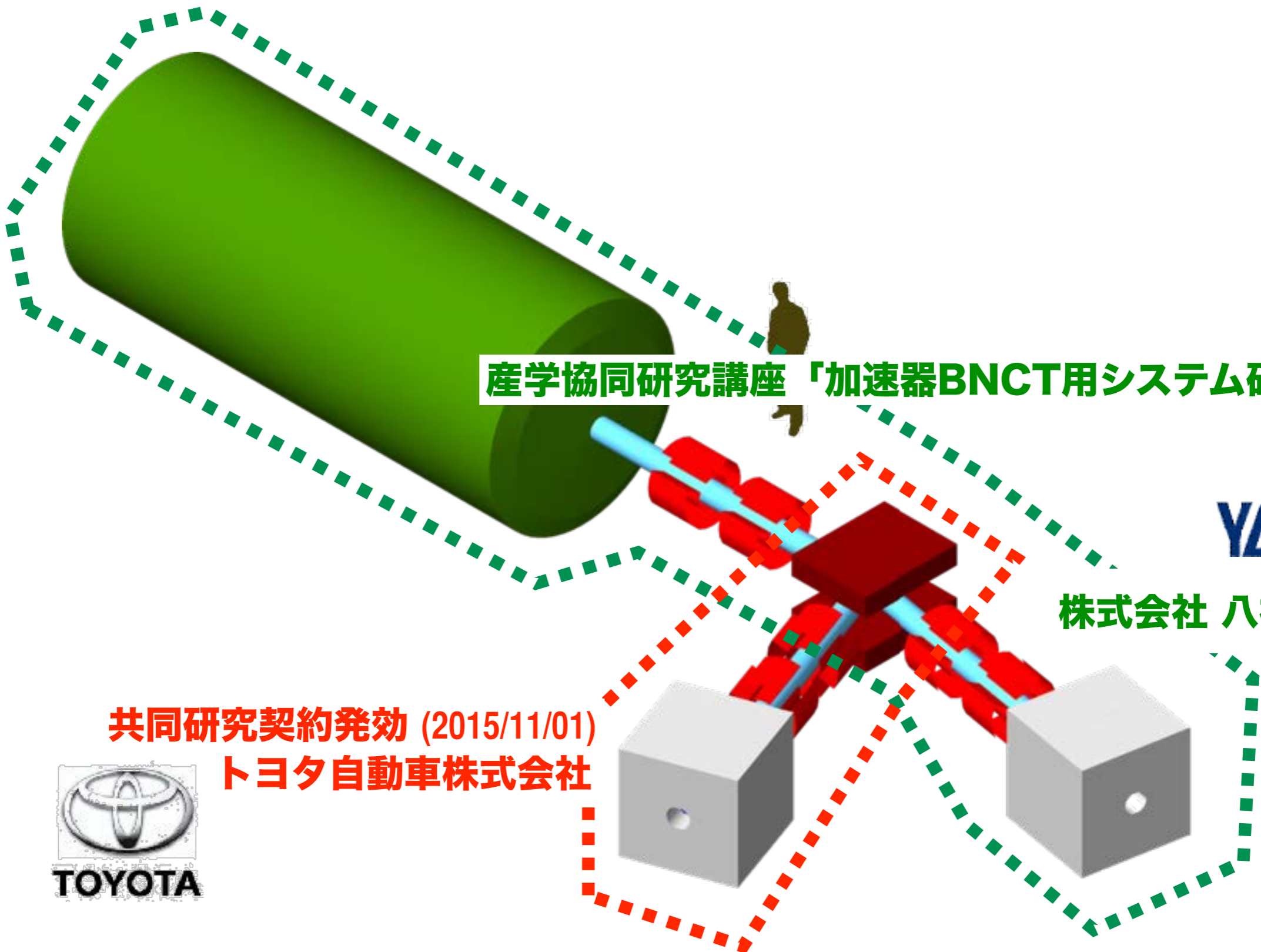


Thermal / Cold / Very Cold
Neutron Source 2

Epithermal
Neutron Source 1

Physics

BNCT and Engineering



産学協同研究講座「加速器BNCT用システム研究講座」

YAGAMI

株式会社 八神製作所

共同研究契約発効 (2015/11/01)
トヨタ自動車株式会社



名古屋大学：理工連携による放射線科学の推進

— 加速器小型中性子源による基礎物理・学際利用・産業実用の架橋 —

発展モデル

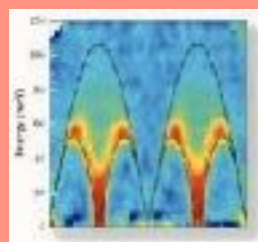
学際利用

物性物理・化学・生物・工学

回折

分光

透視



波及学際利用

薬学・医学・医療

産業実用

製品開発・生産

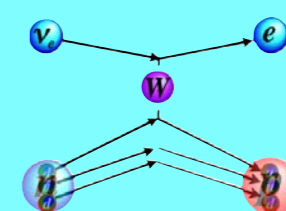
基礎物理

$$\frac{\Delta O_{NEW}}{\Delta O_{SM}} = \frac{\alpha}{\pi} \left[\frac{M}{\tilde{M}} \right]^2$$

CP非保存

崩壊

重力



共同研究拠点

コンソーシアム

真の産学連携

新発想の先端と生産現場の直接連携

加速器小型中性子源

イオン源

加速器

中性子源
核標的 減速体

輸送光学系

検出器 信号処理 解析

計測装置

知識を支える若手世代の涵養

本物を使った教育現場と教育現場の有機的連携

原子核物理学

天文学

素粒子物理学

真の理工連携

原子力工学

熱工学

精密加工学

理学
工学

名古屋大学：理工連携による放射線科学の推進

— 加速器小型中性子源による基礎物理・学際利用・産業実用の架橋 —

発展モデル

学際利用

物性物理・化学・生物工学

回折



波及学際利用

基礎物理

$$g = \frac{\alpha}{\pi} \left[\frac{M}{\tilde{M}} \right]^2$$

表

重力



Katsuya HIROTA



Masaaki KITAGUCHI



Yusuke TSUCHIKAWA



Sohei IMAJO

Kazuki TSUCHIDA



Akira URITANI



Yoshiaki KIYANAGI



Ikuya ITOH

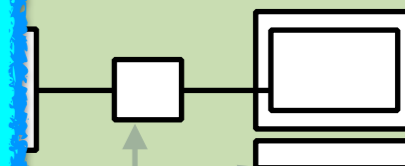


Kenichi WATANABE



Sachiko YOSHIHASHI

信号処理 解析



教育現場の有機的連携

物理学

加速器小型中性

学部・大学院

理学

工学

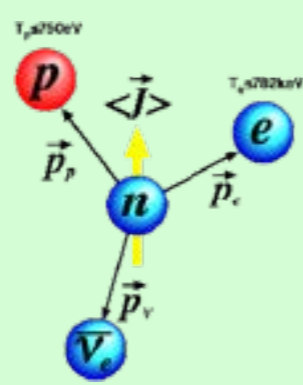
原子力工学

熱工学

精密加工学

Neutron Lifetime

β崩壊寿命



β-decay

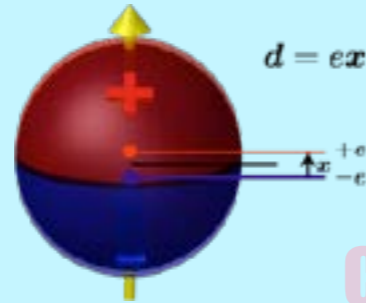
Correlation Terms in Neutron β-decay

Next-leading Order Contribution

New Physics Search

Neutron Electric Dipole Moment

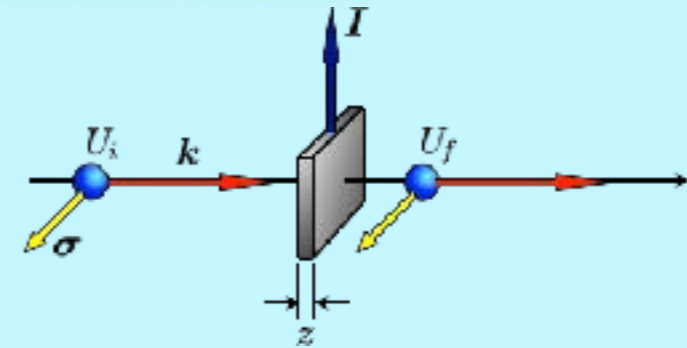
電気双極子能率



CP-violation

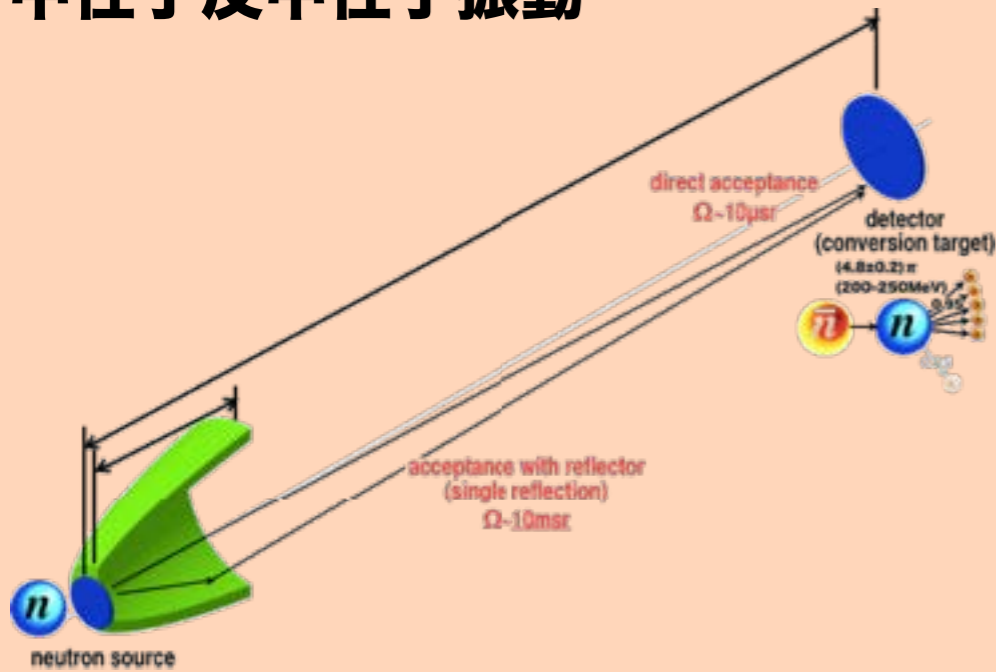
T-violating in Compound States

熱外中性子光学



Neutron Antineutron Oscillation

中性子反中性子振動

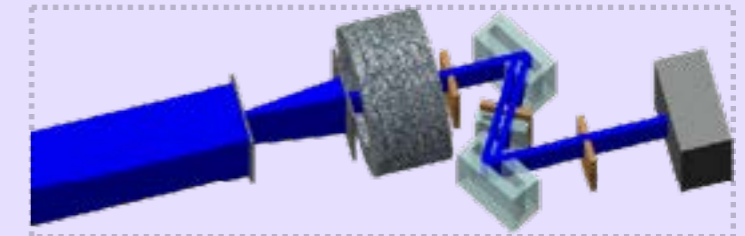
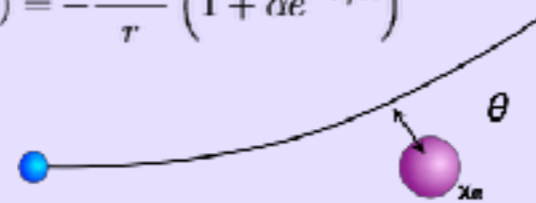


B, B-L violation

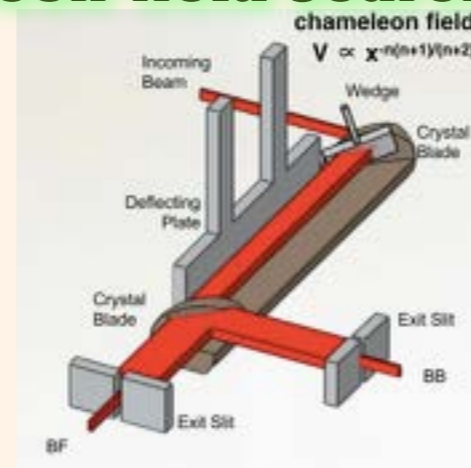
Large Extra-dimension / New Interaction

gravity ...

$$U(r) = -\frac{GM}{r} \left(1 + \alpha e^{-r/\lambda} \right)$$



Chameleon-field Search in Neutron Interferometry



dark energy

名古屋大学の現在の立ち位置

JST光量子推進プログラム

産学協同研究講座

共同研究



TOYOTA

大学等連携推進事業

研究協力協定

RIKEN

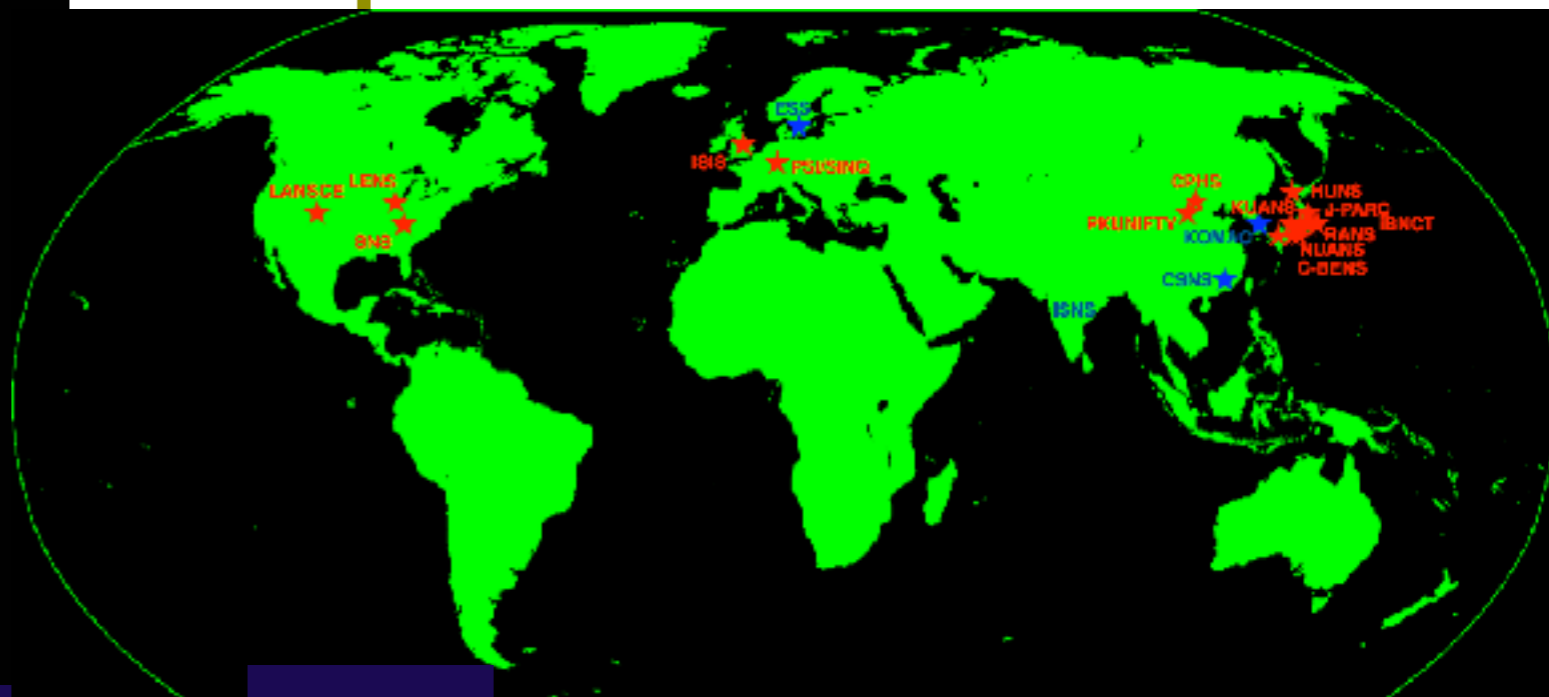
頭脳循環プログラム



日本加速器中性子源協議会

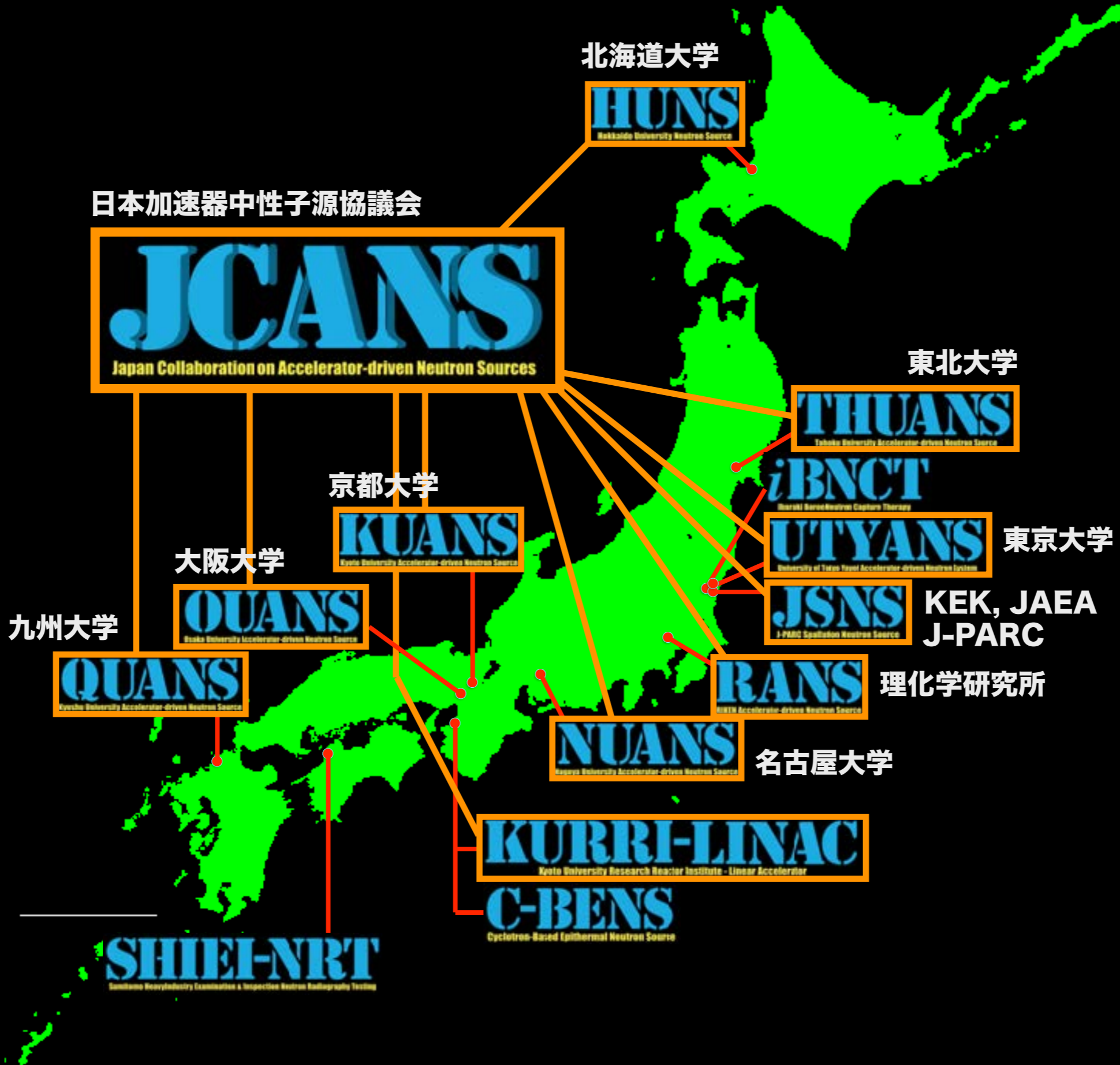


Japan Collaboration on Accelerator-driven Neutron Source



UCANS

Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources



コンソーシアム形成の動き

2015/03/16

JCANS

Japan Collaboration on Accelerator-driven Neutron Source

JCANS Core



JCANS Academia



JCANS Sectors

JCANS Industry



コンソーシアム形成の動き

2015/03/16

JCANS

Japan Collaboration on Accelerator-driven Neutron Source

JCANS Core



JCANS Academia



JCANS Industry



JCANS Sectors

Consortium



研究成果最適展開支援プログラム

A-STEP

ステージⅠ

産業ニーズ対応タイプ

技術テーマ名：コンパクト中性子源とその産業応用に向けた基盤技術の構築

AS272I001c

小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像

清水 裕彦

名古屋大学 大学院 理学研究科 物理学教室

素粒子宇宙物理学専攻 素粒子物性研究室

shimizu@phi.phys.nagoya-u.ac.jp

研究成果最適展開支援プログラム

A-STEP

ステージⅠ

産業ニーズ対応タイプ

技術テーマ名：コンパクト中性子源とその産業応用に向けた基盤技術の構築

小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像

プロジェクトリーダー

清水 裕彦

名古屋大学 大学院 理学研究科 物理学教室

素粒子宇宙物理学専攻 素粒子物性研究室

shimizu@phi.phys.nagoya-u.ac.jp

小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像

燃料電池から排出される水が、安定的かつ継続的に排出されるような排水機構の設計に必要な、気液混合流の振る舞いの実機レベルでの実用的な検査手法の開拓を目的とし、製品開発において随時利用可能な中性子透過撮像システムの基礎の確立を目標とする

燃料電池評価に特化したラジオグラフィ

優先事項

ユーザーの近くにある

名古屋大学

いつでも使える

専用中性子源

すぐ使える

過度の開発を避ける

付帯事項

メンテナンスが容易

製品化を見越した簡略化

初期投資が少ない

小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像

燃料電池から排出される水が、安定的かつ継続的に排出されるような排水機構の設計に必要な、気液混合流の振る舞いの実機レベルでの実用的な検査手法の開拓を目的とし、製品開発において随時利用可能な中性子透過撮像システムの基礎の確立を目標とする

燃料電池評価に特化したラジオグラフィ

優先事項

ユーザーの近くにある

名古屋大学

いつでも使える

専用中性子源

すぐ使える

過度の開発を避ける

付帯事項

メンテナンスが容易

製品化を見越した簡略化

初期投資が少ない

小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像

燃料電池から排出される水が、安定的かつ継続的に排出されるような排水機構の設計に必要な、気液混合流の振る舞いの実機レベルでの実用的な検査手法の開拓を目的とし、製品開発において随時利用可能な中性子透過撮像システムの基礎の確立を目標とする

燃料電池評価に特化したラジオグラフィ

優先事項

ユーザーの近くにある

いつでも使える

すぐ使える

名古屋大学
名古屋大学加速器中性子源
専用中性子源

連続ビーム
被写体と検出器を密着配置

付帯事項

メンテナンスが容易

初期投資が少ない

製品化を見越した簡略化

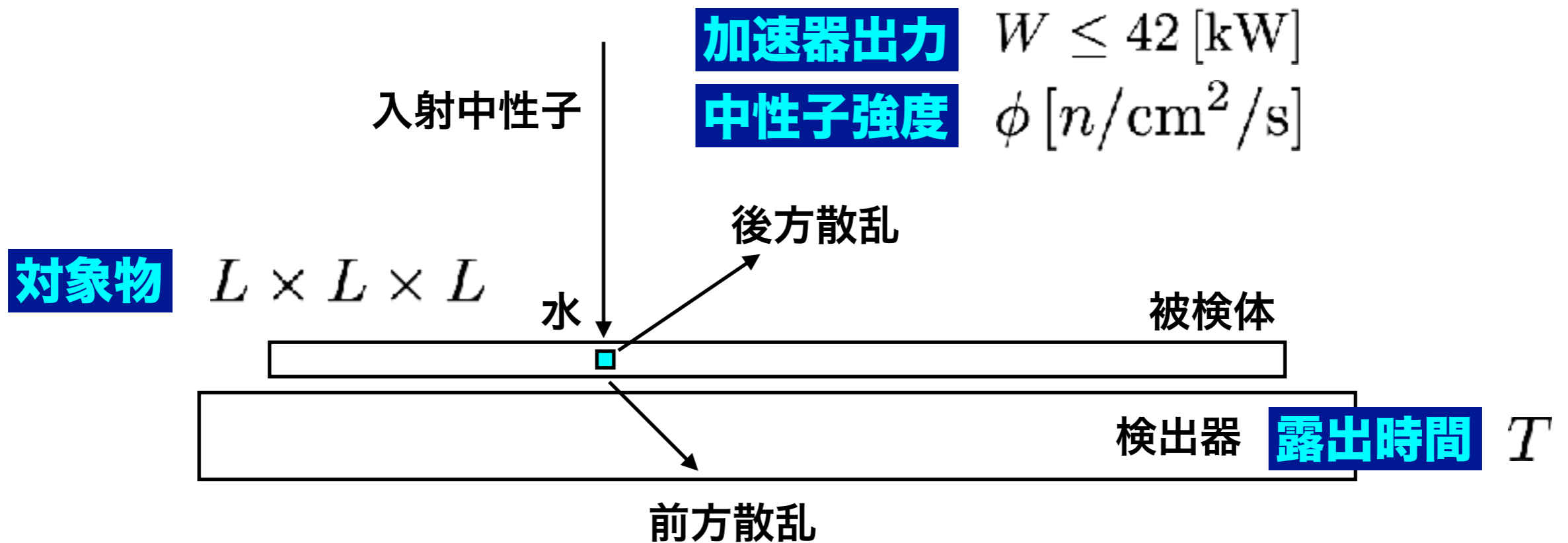
企業と緊密に連携

小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像

燃料電池から排出される水が、安定的かつ継続的に排出されるような排水機構の設計に必要な、気液混合流の振る舞いの実機レベルでの実用的な検査手法の開拓を目的とし、製品開発において随時利用可能な中性子透過撮像システムの基礎の確立を目標とする

燃料電池評価に特化したラジオグラフィ

被写体と検出器を密着配置



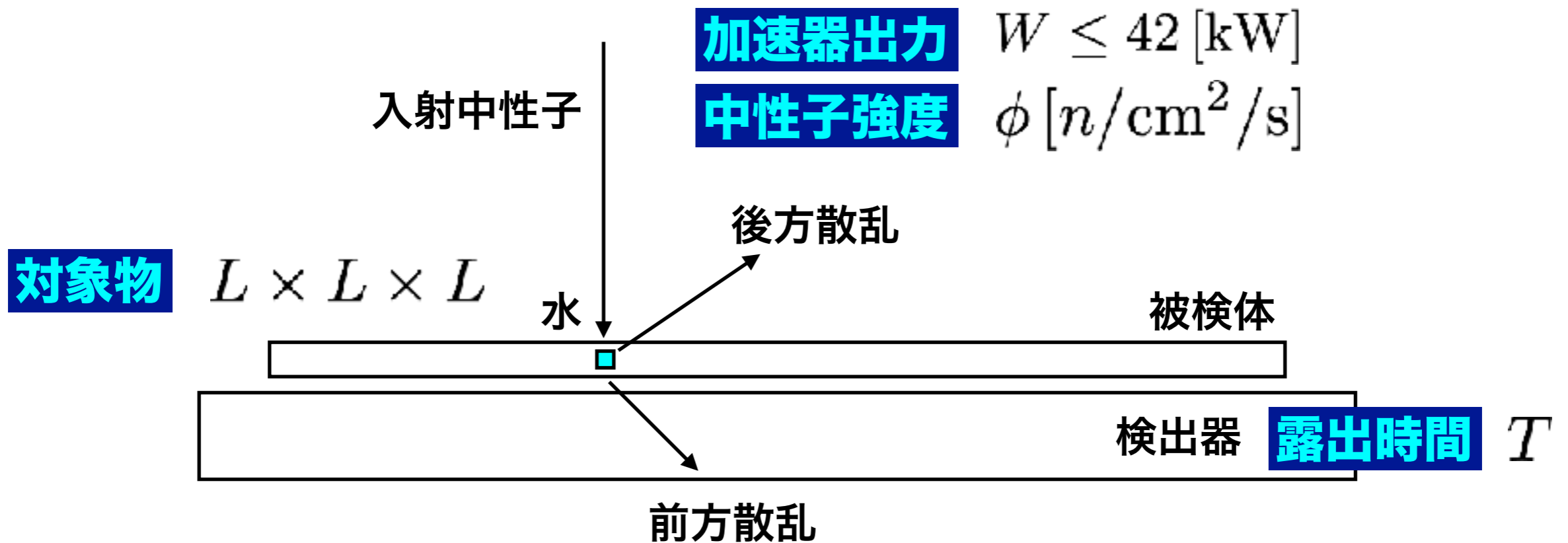
画質
$$p = 20 \log_{10} \frac{N}{\Delta N} = 10 \log_{10} \left(\epsilon \phi L^2 T \frac{(1 - e^{-n\sigma_{\text{eff}} L})^2}{1 + e^{-n\sigma_{\text{off}} L}} \right)$$

小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像

燃料電池から排出される水が、安定的かつ継続的に排出されるような排水機構の設計に必要な、気液混合流の振る舞いの実機レベルでの実用的な検査手法の開拓を目的とし、製品開発において随時利用可能な中性子透過撮像システムの基礎の確立を目標とする

燃料電池評価に特化したラジオグラフィ

被写体と検出器を密着配置



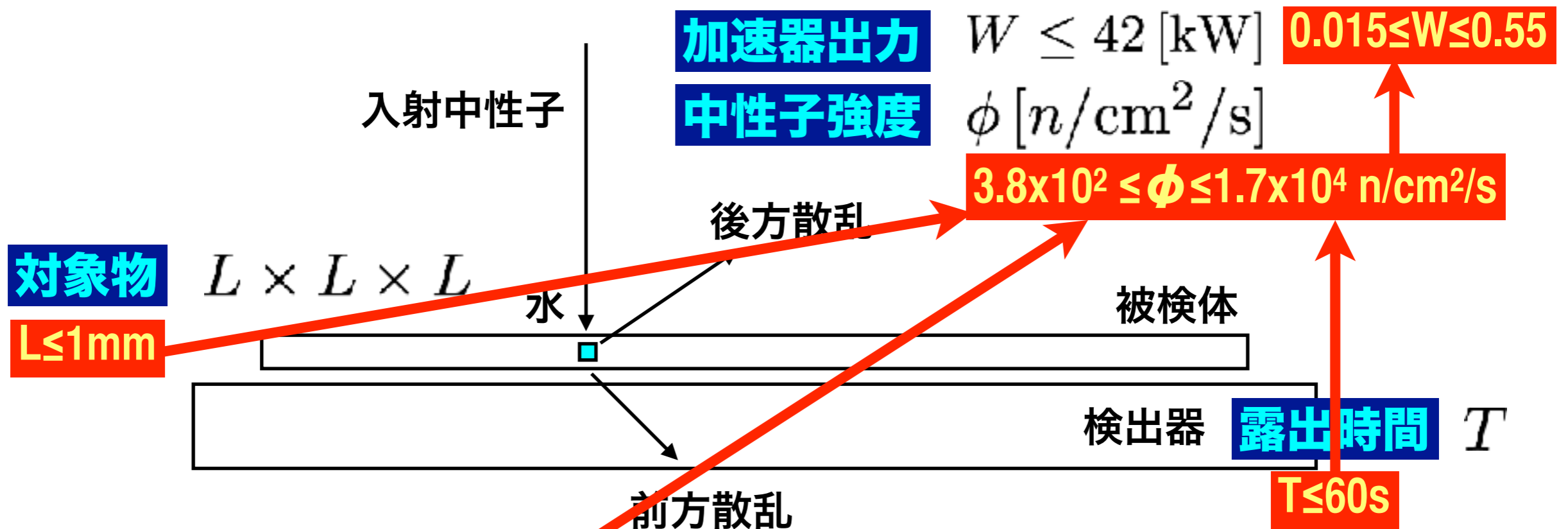
画質
$$p = 20 \log_{10} \frac{N}{\Delta N} = 10 \log_{10} \left(\epsilon \phi L^2 T \frac{(1 - e^{-n\sigma_{\text{eff}} L})^2}{1 + e^{-n\sigma_{\text{off}} L}} \right)$$

小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像

燃料電池から排出される水が、安定的かつ継続的に排出されるような排水機構の設計に必要な、気液混合流の振る舞いの実機レベルでの実用的な検査手法の開拓を目的とし、製品開発において随時利用可能な中性子透過撮像システムの基礎の確立を目標とする

燃料電池評価に特化したラジオグラフィ

被写体と検出器を密着配置



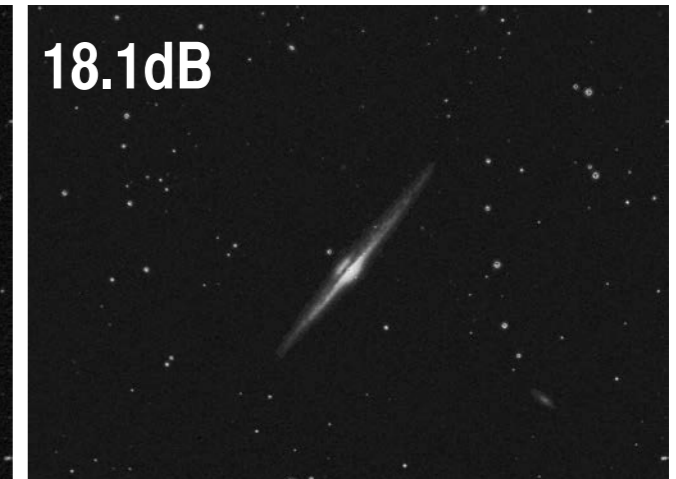
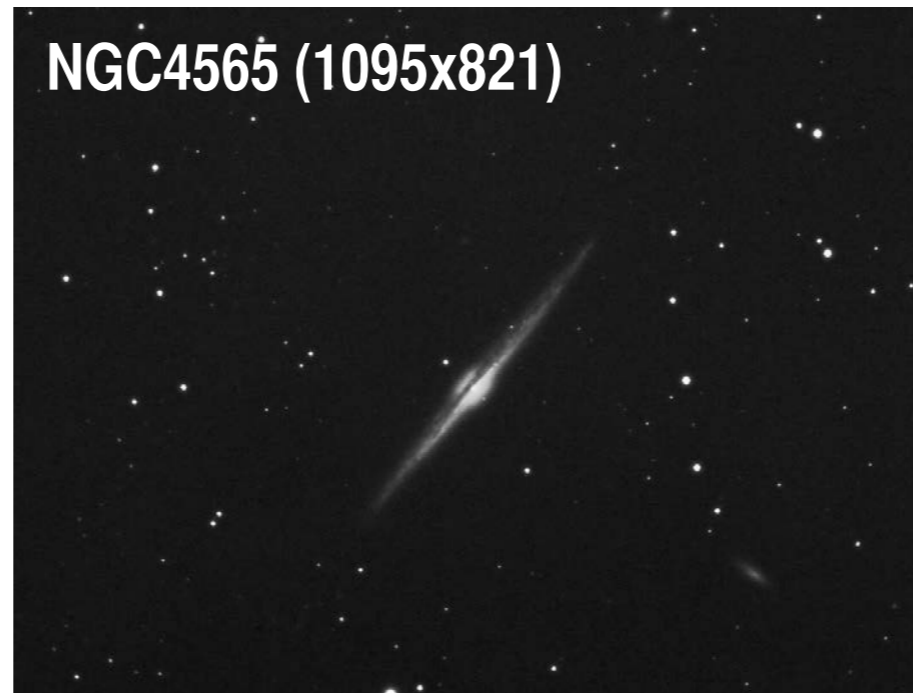
画質

$$p = 20 \log_{10} \frac{N}{\Delta N} = 10 \log_{10} \left(\epsilon \phi L^2 T \frac{(1 - e^{-n\sigma_{\text{eff}} L})^2}{1 + e^{-n\sigma_{\text{off}} L}} \right)$$

$6\text{dB} \leq p \leq 20\text{dB}$

画質

$$p = 20 \log_{10} \frac{N}{\Delta N} = 10 \log_{10} \left(\epsilon \phi L^2 T \frac{(1 - e^{-n\sigma_{\text{eff}}L})^2}{1 + e^{-n\sigma_{\text{off}}L}} \right)$$



画質

$$p = 20 \log_{10} \frac{N}{\Delta N} = 10 \log_{10} \left(\epsilon \phi L^2 T \frac{(1 - e^{-n\sigma_{\text{eff}}L})^2}{1 + e^{-n\sigma_{\text{off}}L}} \right)$$

NGC4565 (1095x821)

「見える」とは？
画質の定量化

0dB



24.1dB



30.1dB



36.1dB



42.1dB



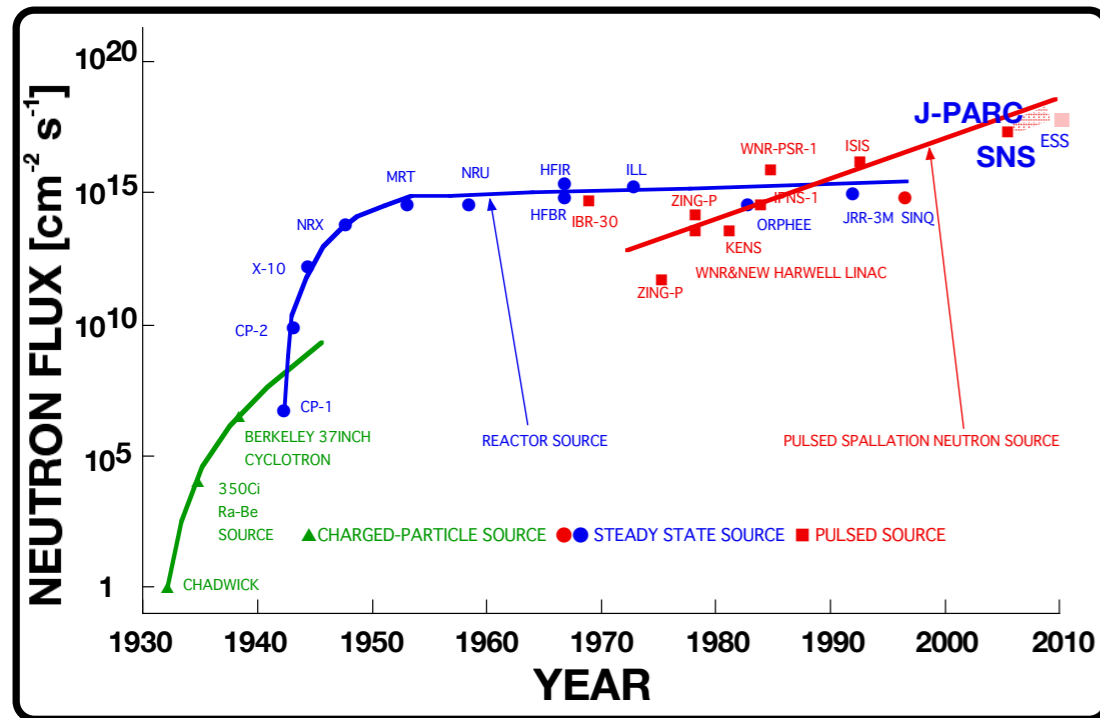
小型中性子源という発想の原点

Optics, Detectors, Methodologies

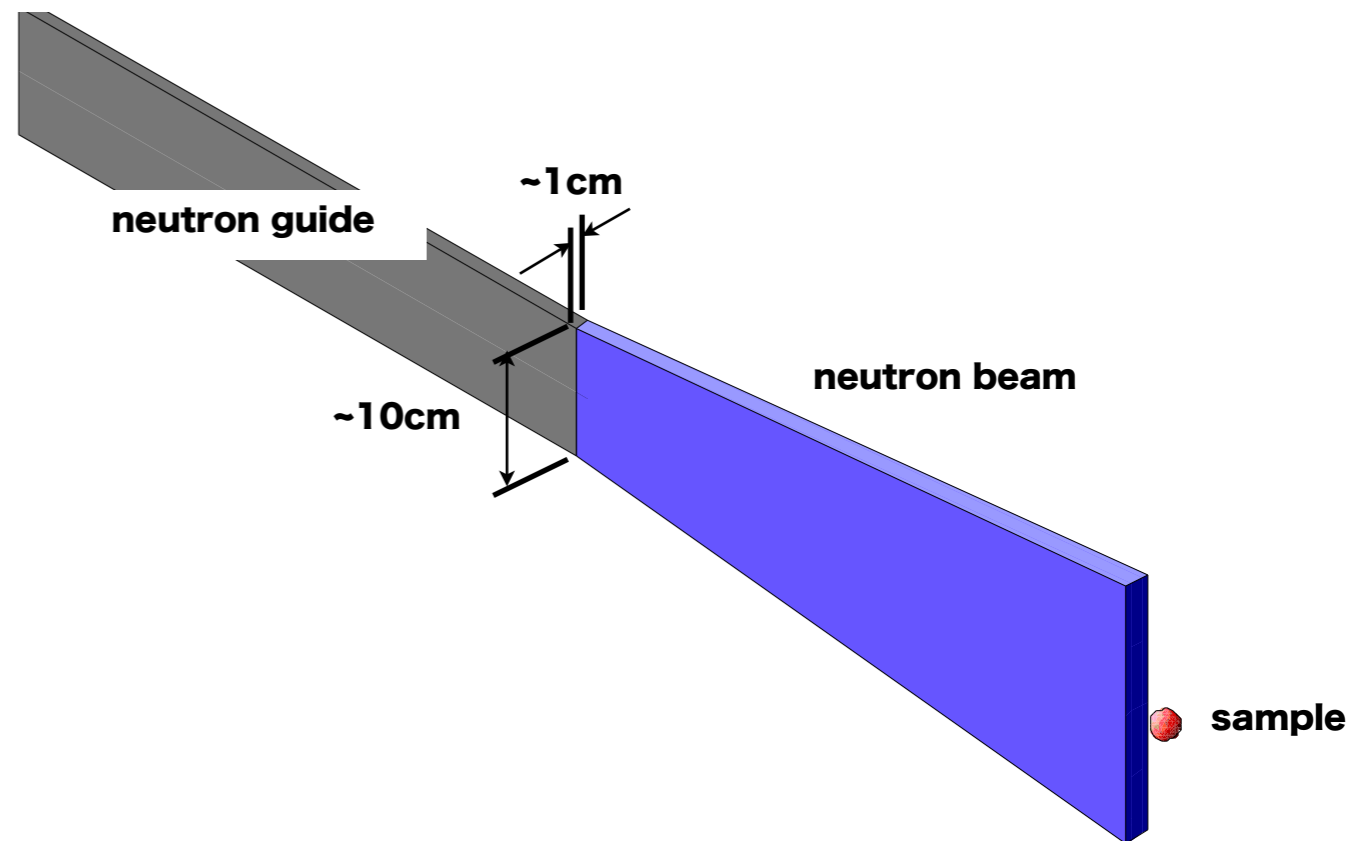
(Analyzing Capability) \propto **(Source Power)** x **(‘Efficacy’)**

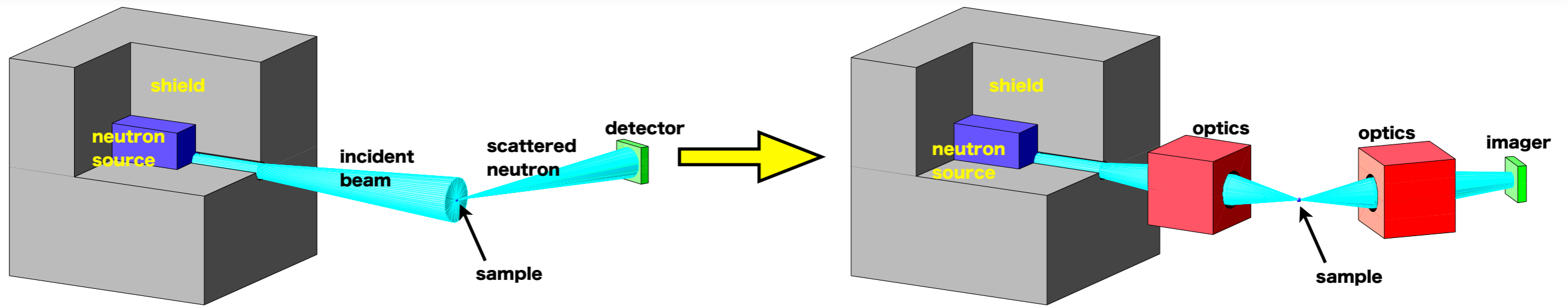
spallation sources

saving unused neutrons



moderator, optics, detector, sample environment, signal processing, analysis algorithm, theoretical models, ,, etc.





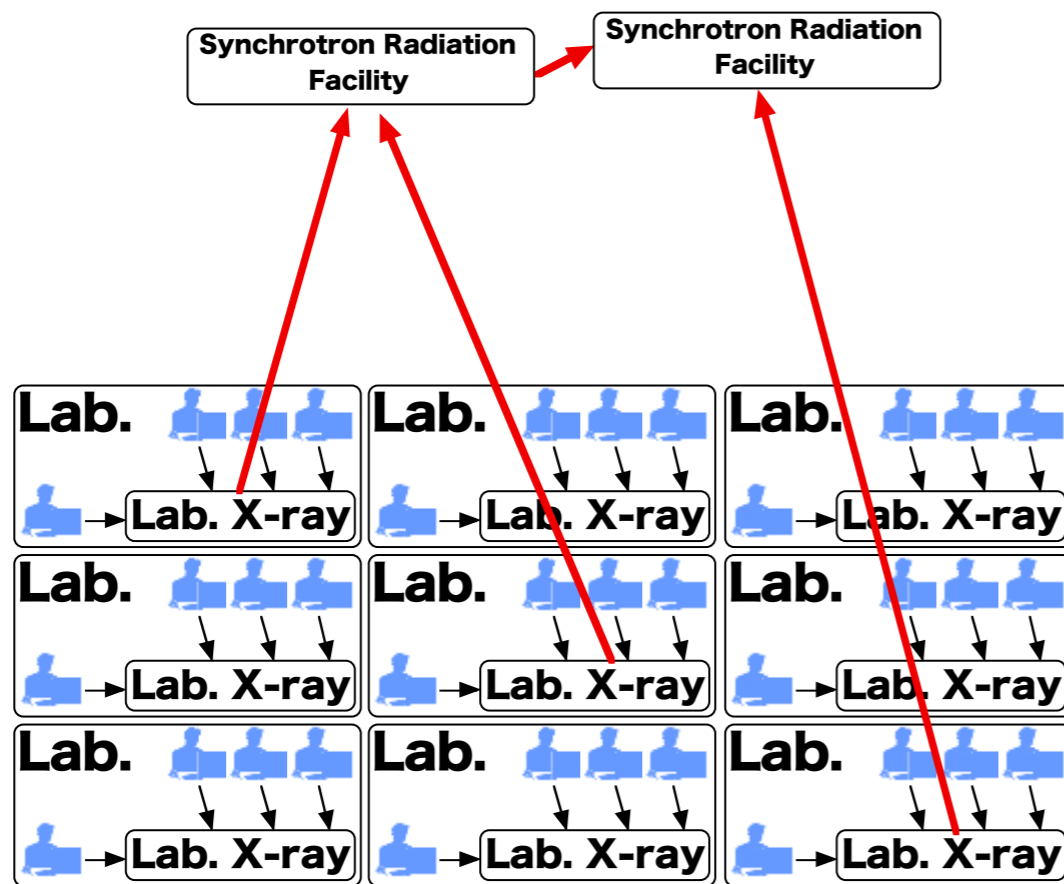
	従来		中性子光学
中性子利用効率	低	→	高
大規模中性子施設	○	→	◎
中小規模中性子源	×	→	⊙

当面の応用先

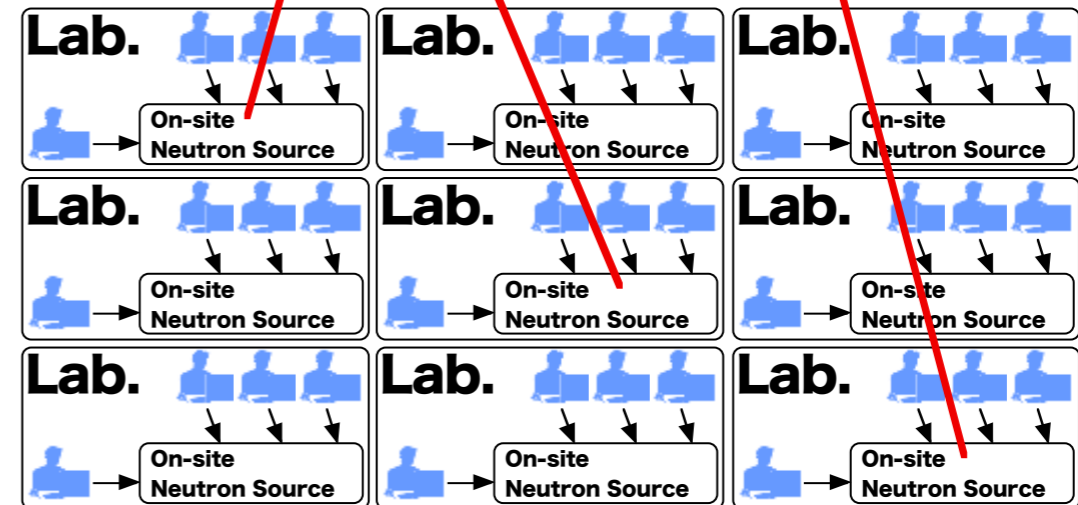
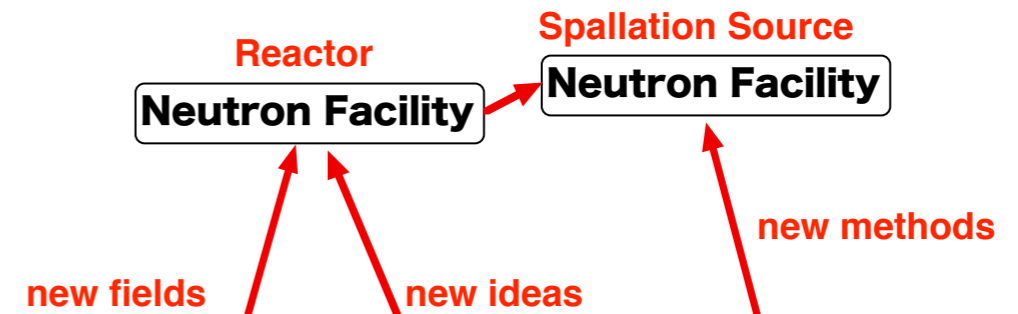
新たに開拓された可能性

X-ray

Synchrotron Radiation



neutron



共通言語の確立

名古屋大学：理工連携による放射線科学の推進

—加速器小型中性子源による基礎物理・学際利用・産業実用の架橋—

発展モデル

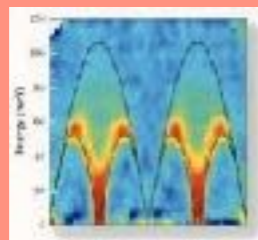
学際利用

物性物理・化学・生物・工学

回折

分光

透視



波及学際利用

薬学・医学・医療

産業実用

製品開発・生産

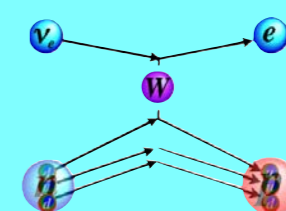
基礎物理

$$\frac{\Delta O_{NEW}}{\Delta O_{SM}} = \frac{\alpha}{\pi} \left[\frac{M}{\tilde{M}} \right]^2$$

CP非保存

崩壊

重力



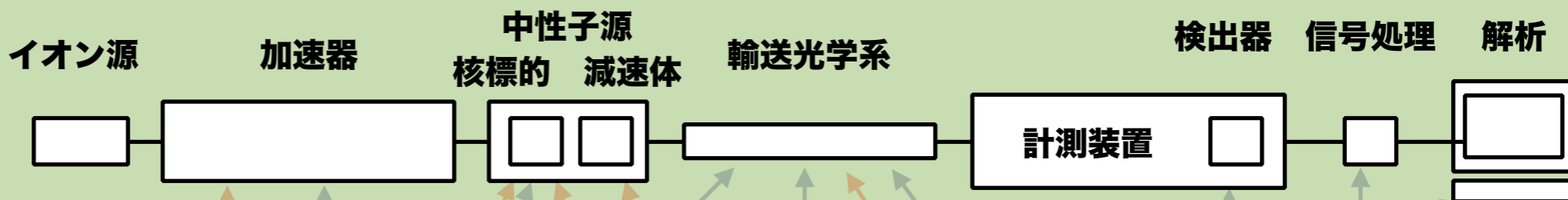
共同研究拠点

コンソーシアム

真の産学連携

新発想の先端と生産現場の直接連携

加速器小型中性子源



知識を支える若手世代の涵養

本物を使った教育現場と教育現場の有機的連携

原子核物理学

天文学

素粒子物理学

真の理工連携

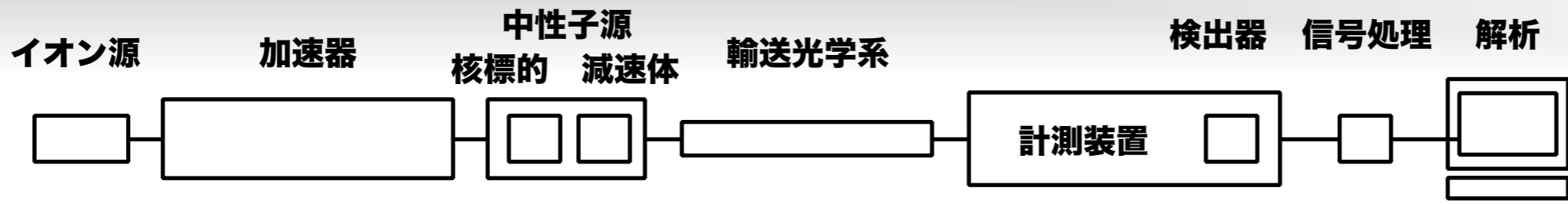
原子力工学

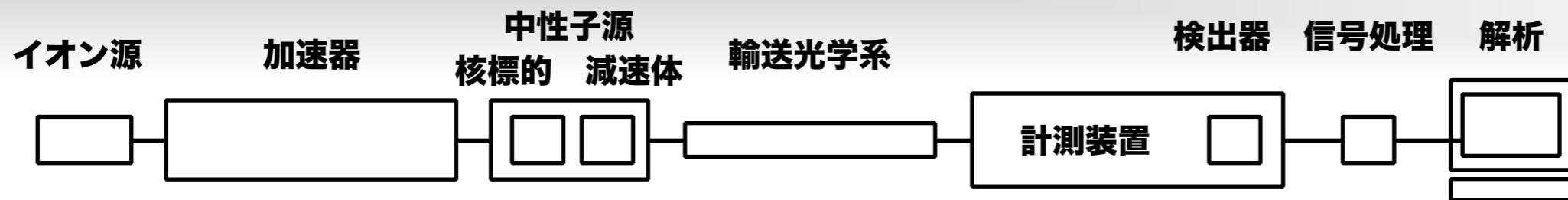
熱工学

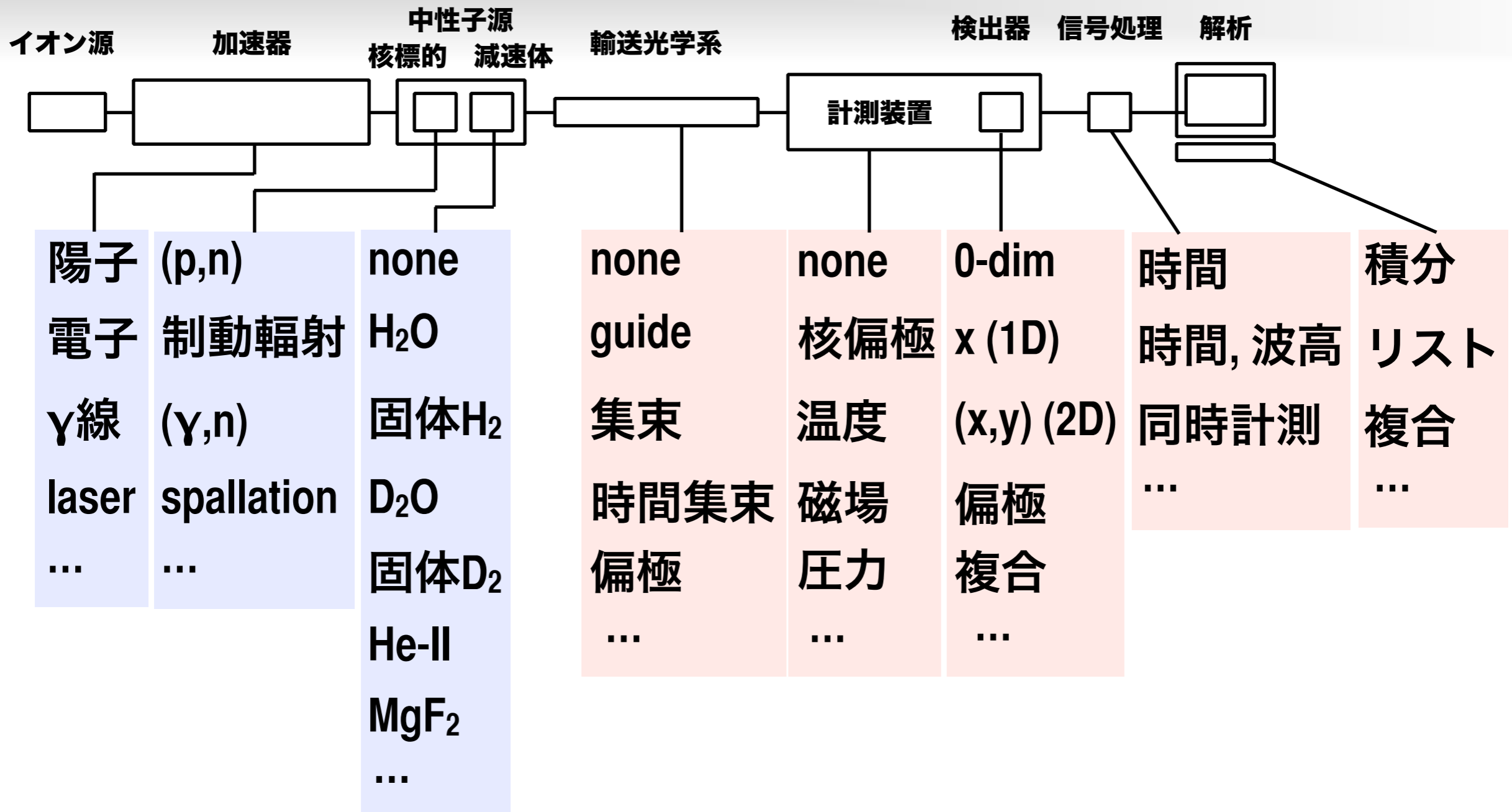
精密加工学

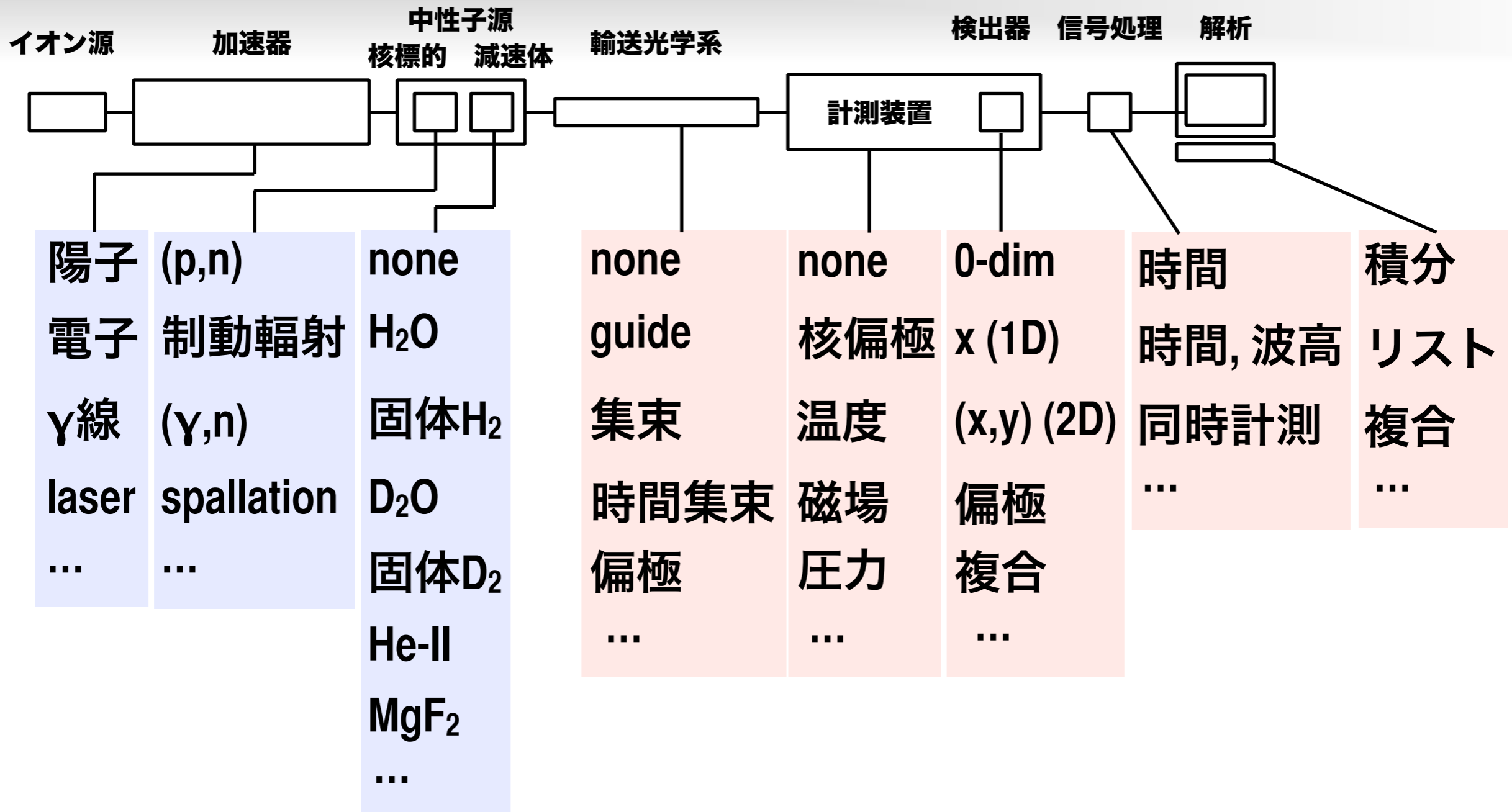
理学
工学

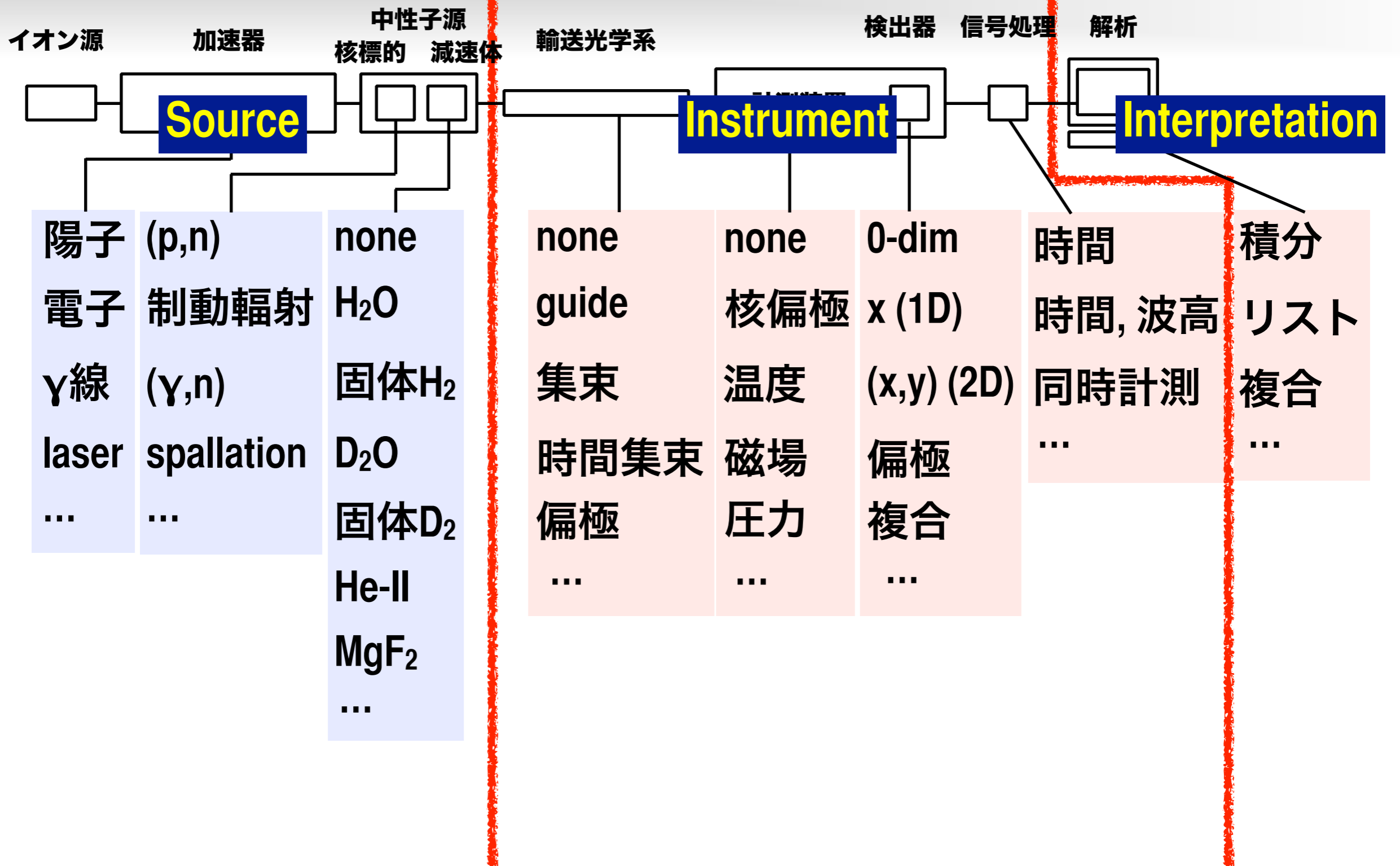
学部・大学院教育

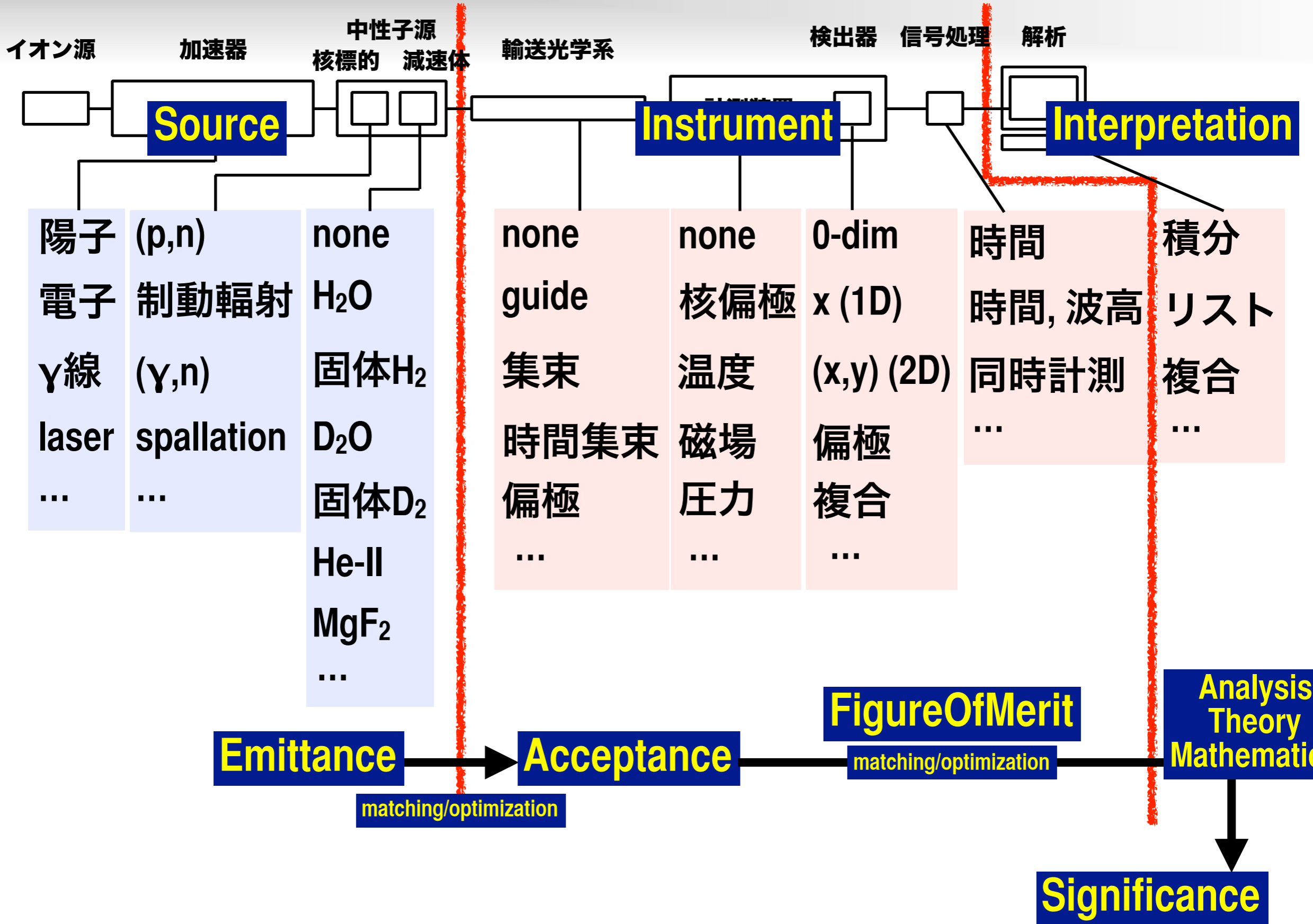


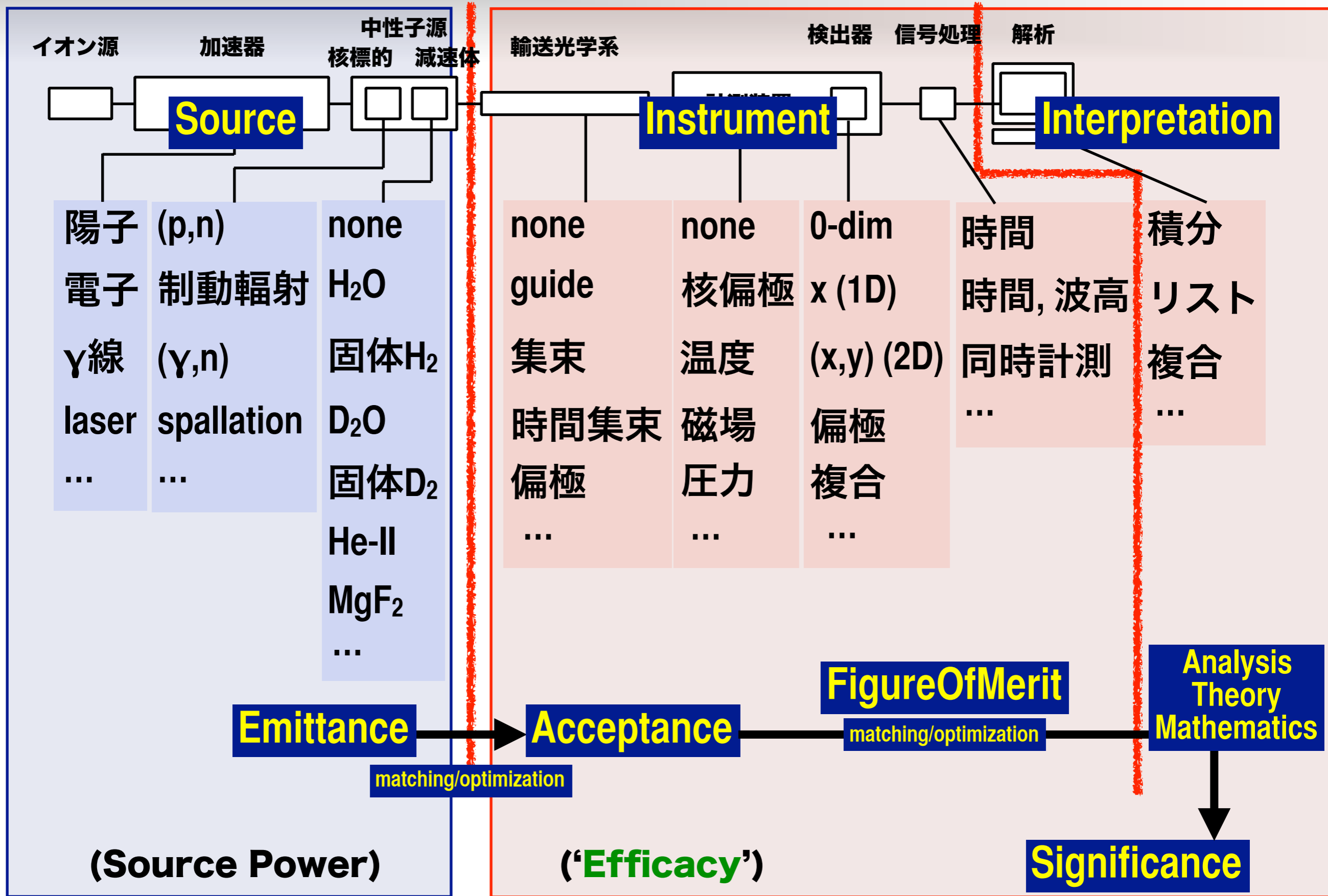




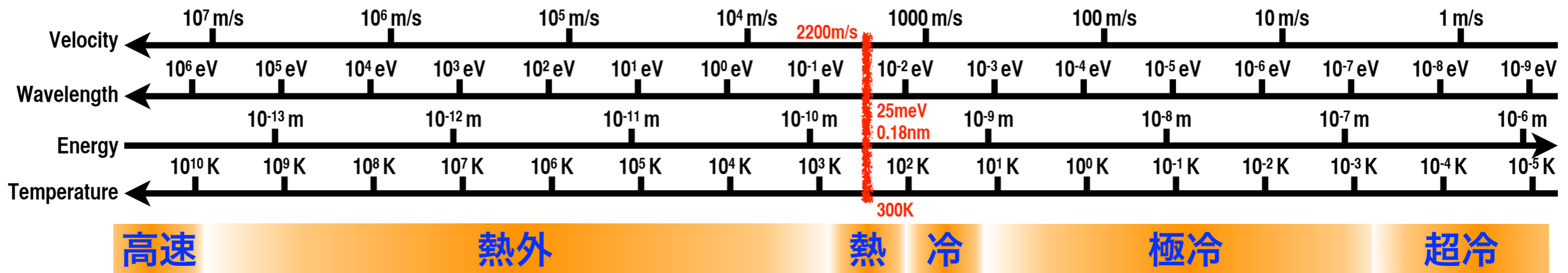




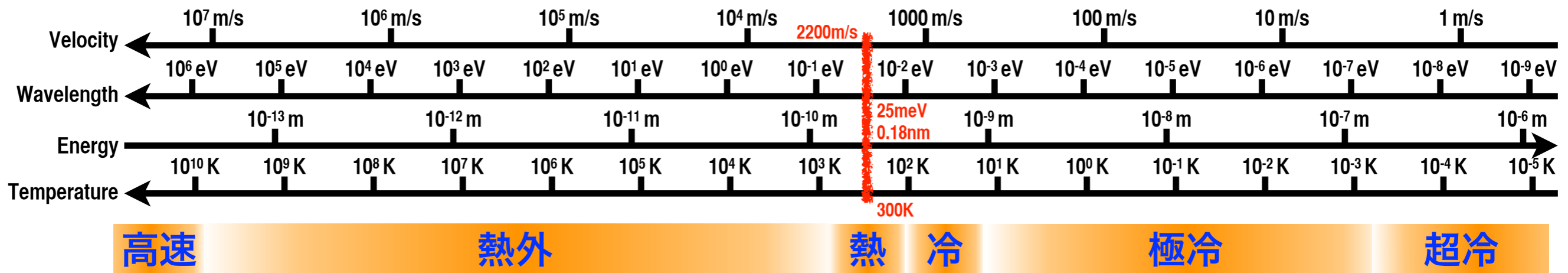




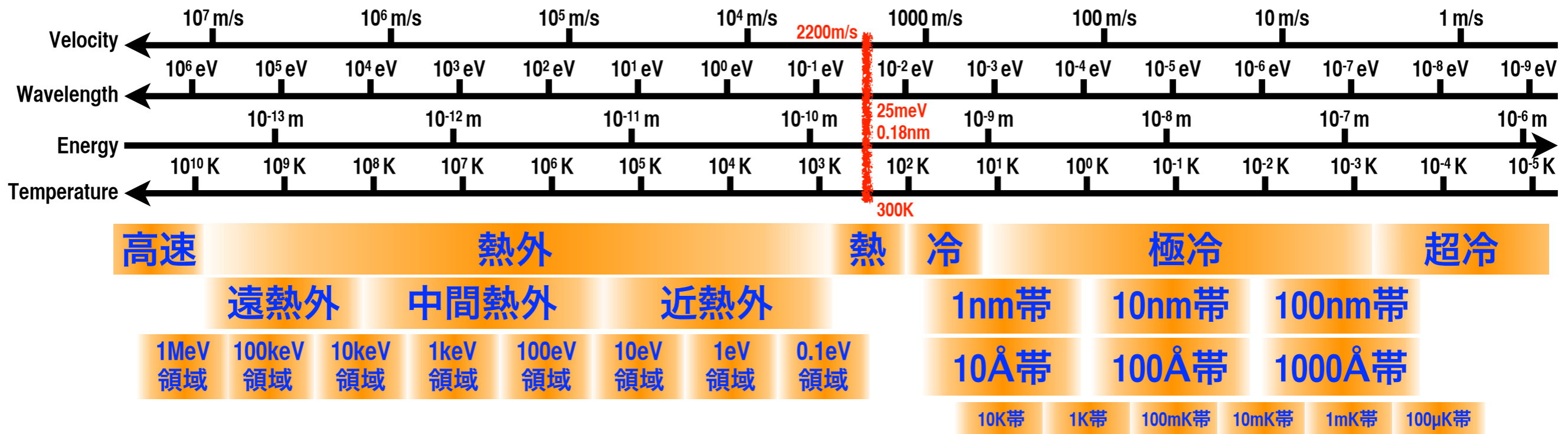
(例) エネルギー帯の名称



(例) エネルギー帯の名称 (試案)



(例) エネルギー帯の名称 (試案)



(例) 中性子強度

(例) 中性子強度

専門家の間でさえ、とても重要

一次粒子の個数 N_0 一次粒子の位相空間 $\Gamma_0 = (\mathbf{r}_0, \mathbf{p}_0)$

一次粒子の時刻 t , 位相空間座標 Γ_0 における分布数

$$\frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0} = \frac{\partial^2 N_0}{\partial \Gamma_0 \partial t}(\Gamma_0, t)$$

一次粒子の瞬間強度

$$\dot{N}_0(t) = \int \frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t) d\Gamma'_0$$

一次粒子の平均強度

$$\langle N_0 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \dot{N}_0(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \int \frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t) d\Gamma'_0 dt$$

一次粒子のビームパワー

$$\langle W_0 \rangle = \langle N_0 E_0 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \int \frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t') E_0 d\Gamma'_0 dt'$$

中性子の個数 N_n 中性子の位相空間 $\Gamma_n = (\mathbf{r}_n, \mathbf{p}_n)$

一つの一次粒子が Γ_0 にあった時に、 Γ_n に中性子が生成される確率 $R(\Gamma_0, \Gamma_n)$

中性子の時刻 t , 位相空間座標 Γ_n における分布数 $\frac{\partial \dot{N}_n}{\partial \Gamma_n}(\Gamma_n, t) = \int \left[\frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t) \right] R(\Gamma'_0, \Gamma_n) d\Gamma'_0$

中性子の瞬間強度

$$\dot{N}_n(t) = \int_{\Gamma} \frac{\partial \dot{N}_n}{\partial \Gamma_n}(\Gamma'_n, t) d\Gamma'_n = \int \left[\frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t) \right] R(\Gamma'_0, \Gamma'_n) d\Gamma'_0 d\Gamma'_n$$

中性子の平均強度

$$\langle \dot{N}_n \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \dot{N}_n(t) dt$$

一次粒子の個数 N_0 一次粒子の位相空間 $\Gamma_0 = (\mathbf{r}_0, \mathbf{p}_0)$

一次粒子の時刻 t , 位相空間座標 Γ_0 における分布数

$$\frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0} = \frac{\partial^2 N_0}{\partial \Gamma_0 \partial t}(\Gamma_0, t)$$

一次粒子の瞬間強度

$$\dot{N}_0(t) = \int \frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t) d\Gamma'_0$$

一次粒子の平均強度

$$\langle N_0 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \dot{N}_0(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \int \frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t) d\Gamma'_0 dt$$

一次粒子のビームパワー

$$\langle W_0 \rangle = \langle N_0 E_0 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t') E_0 d\Gamma'_0 dt'$$

中性子の個数 N_n 中性子の位相空間 $\Gamma_n = (\mathbf{r}_n, \mathbf{p}_n)$

一つの一次粒子が Γ_0 にあった時に、 Γ_n に中性子が生成される確率 $R(\Gamma_0, \Gamma_n)$

中性子の時刻 t , 位相空間座標 Γ_n における分布数 $\frac{\partial \dot{N}_n}{\partial \Gamma_n}(\Gamma_n, t) = \int \left[\frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t) \right] R(\Gamma'_0, \Gamma_n) d\Gamma'_0$

中性子の瞬間強度

$$\dot{N}_n(t) = \int_{\Gamma} \frac{\partial \dot{N}_n}{\partial \Gamma_n}(\Gamma'_n, t) d\Gamma'_n = \int \left[\frac{\partial \dot{N}_0}{\partial \Gamma_0}(\Gamma'_0, t) \right] R(\Gamma'_0, \Gamma'_n) d\Gamma'_0 d\Gamma'_n$$

中性子の平均強度

$$\langle \dot{N}_n \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \dot{N}_n(t) dt$$

一次粒子のビームパワー

$$\langle W_0 \rangle$$

中性子の平均強度

$$\langle \dot{N}_n \rangle$$

一つの中性子が (Γ_{n1}, t_1) にあった時に、 (Γ_{n2}, t_2) に中性子を生じる確率 $M(\Gamma_{n1}, t_1; \Gamma_{n2}, t_2)$

$$\text{規格化} \int M(\Gamma_{n1}, t_1; \Gamma_{n2}, t_2) d\Gamma_{n2} dt_2 = 1$$

$$(\Gamma_n, t) \text{に生じる中性子数 } N_{n'} \quad \frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \Gamma_{n'}}(\Gamma_{n'}, t') = \int_{t \leq t'} \left[\frac{\partial \dot{N}_n}{\partial \Gamma_n}(\Gamma_n, t) \right] M(\Gamma_n, t; \Gamma_{n'}, t') d\Gamma_n dt$$

$$\dot{N}_{n'}(t') = \int \frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \Gamma_{n'}}(\Gamma_{n'}, t') d\Gamma_{n'}$$

面S上での中性子位相空間分布関数

$$\frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \Gamma_{n'S}}(\Gamma_{n'S}, t) = \frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \Gamma_{n'S}}(\mathbf{r}_{n'S}, \mathbf{p}_{n'S}, t) = \int_{(\mathbf{r}_{n'S} \in S) \cap (\mathbf{p}_{n'S} \cdot \mathbf{S} > 0)} \frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \Gamma_{n'}}(\Gamma_{n'}, t) d\Gamma_{n'}$$

面S上での中性子流速分布関数

$$\frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \mathbf{r}_{n'S}}(\mathbf{r}_{n'S}, t) = \int \left[\frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \Gamma_{n'S}}(\Gamma_{n'S}, t) \right] \left[\mathbf{v}_{n'S} \cdot \frac{\mathbf{S}}{S} \right] d\mathbf{p}_{n'S}$$

$$\frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \mathbf{r}_{n'S}}(E_{n'}, \mathbf{r}_{n'S}, t) = \int_{E_{n'} = \mathbf{p}_{n'S}^2 / 2m_n} \left[\frac{\partial \dot{N}_{n'}}{\partial \Gamma_{n'S}}(\Gamma_{n'S}, t) \right] \left[\mathbf{v}'_{n'S} \cdot \frac{\mathbf{S}}{S} \right] d\mathbf{p}'_{n'S}$$

減速体の表面S上での中性子流速 (S上での平均)

パルス特性を含んだ中性子エネルギーの関数としての中性子流速

$$\frac{\partial^3 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'} \partial t} (E_{n'}, t) = \frac{1}{S} \int_S \frac{\partial^2 \dot{N}_{n'}}{\partial r_{n'S} \partial \Omega_{p'}} (E_{n'}, r_{n'S}, t) dr_{n'S} \quad [\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{eV}^{-1}]$$

中性子エネルギーの関数としての中性子流速

$$\frac{\partial^2 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'}} (E_{n'}) = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial^3 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'} \partial t} (E_{n'}, t) dt \quad [\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{eV}^{-1}]$$

ε 領域の中性子の流速

$$\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_{\varepsilon} = \int_{E_{n'} \in \varepsilon} \frac{\partial^2 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'}} (E_{n'}) dE_{n'} \quad [\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}]$$

ε 領域の中性子の流速の立体角積分

$$\langle \phi_S \rangle_{\varepsilon} = \int \left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_{\varepsilon} d\Omega_{p'} \quad [\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

ε 領域の中性子発生率

$$\langle \dot{N}_{n'} \rangle_{\varepsilon} = \sum_{S_i, \cup_i S_i = \partial V, S_i \cap S_j = \emptyset} \langle \phi_{S_i} \rangle_{\varepsilon} S_i \quad [\text{n s}^{-1}]$$

減速効率

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{\langle \dot{N}_{n'} \rangle_{\varepsilon}}{\langle \dot{N}_n \rangle}$$

減速体の表面S上での中性子流速 (S上での平均)

パルス特性を含んだ中性子エネルギーの関数としての中性子流速

$$\frac{\partial^3 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'} \partial t} (E_{n'}, t) = \frac{1}{S} \int_S \frac{\partial^2 \dot{N}_{n'}}{\partial r_{n'S} \partial \Omega_{p'}} (E_{n'}, r_{n'S}, t) dr_{n'S} \quad [\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{eV}^{-1}]$$

中性子エネルギーの関数としての中性子流速

$$\frac{\partial^2 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'}} (E_{n'}) = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial^3 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'} \partial t} (E_{n'}, t) dt \quad [\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{eV}^{-1}]$$

ε 領域の中性子の流速

$$\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_{\varepsilon} = \int_{E_{n'} \in \varepsilon} \frac{\partial^2 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'}} (E_{n'}) dE_{n'} \quad [\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}]$$

ε 領域の中性子の流速の立体角積分

$$\langle \phi_S \rangle_{\varepsilon} = \int \left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_{\varepsilon} d\Omega_{p'} \quad [\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

ε 領域の中性子発生率

$$\langle \dot{N}_{n'} \rangle_{\varepsilon} = \sum_{S_i, \cup_i S_i = \partial V, S_i \cap S_j = \emptyset} \langle \phi_{S_i} \rangle_{\varepsilon} S_i \quad [\text{n s}^{-1}]$$

減速効率

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{\langle \dot{N}_{n'} \rangle_{\varepsilon}}{\langle \dot{N}_n \rangle}$$

パルス特性を含んだ中性子エネルギーの関数としての中性子流速

$$\frac{\partial^3 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'} \partial t} (E_{n'}, t)$$

ε 領域の中性子の流速

$$\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_{\varepsilon}$$

ε 領域の中性子発生率

$$\langle \dot{N}_{n'} \rangle_{\varepsilon}$$

減速効率

$$\eta \varepsilon$$

パルス特性を含んだ中性子エネルギーの関数としての中性子流速

$$\frac{\partial^3 \phi_S}{\partial E_{n'} \partial \Omega_{p'} \partial t} (E_{n'}, t)$$

ε 領域の中性子の流速

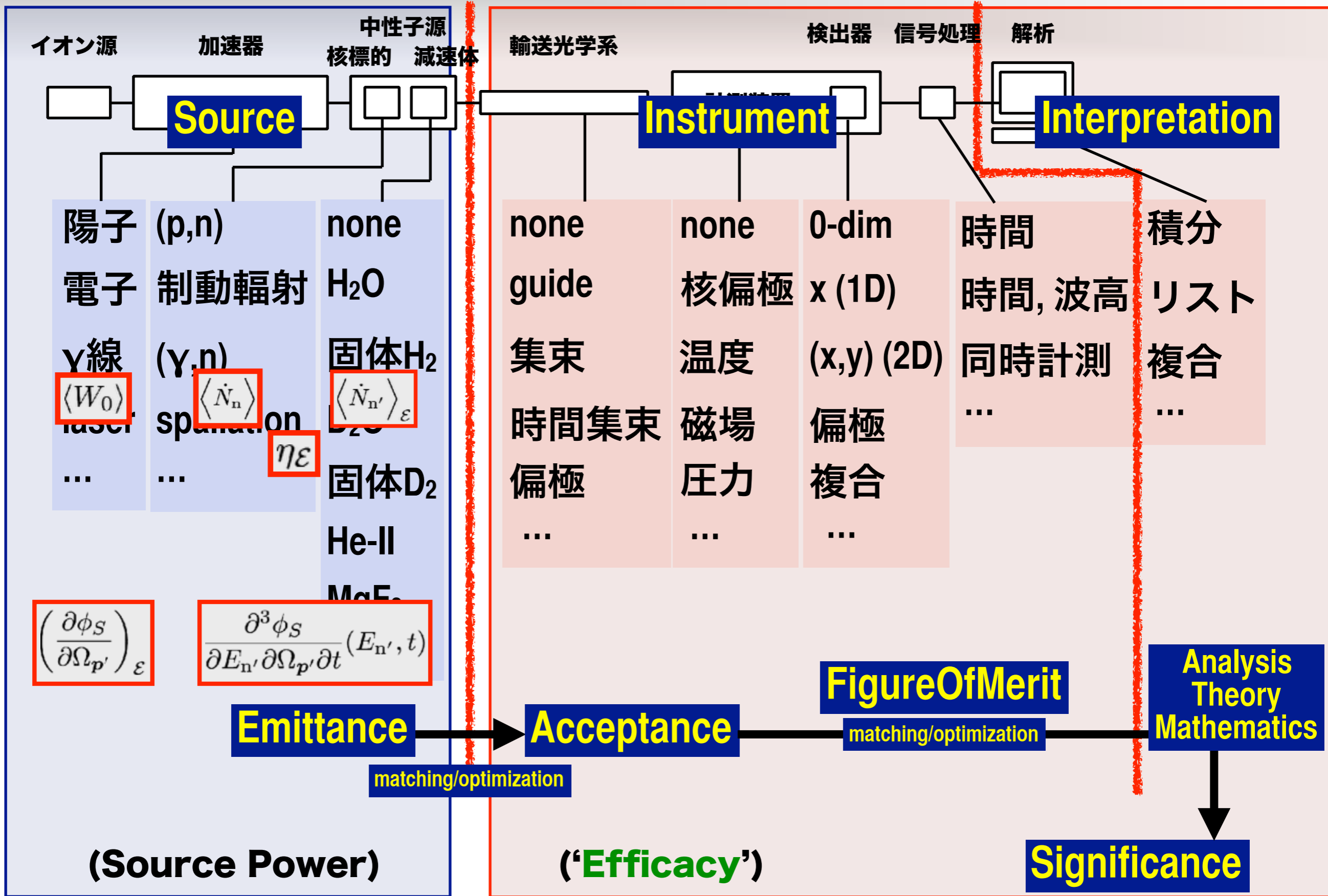
$$\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_{\varepsilon}$$

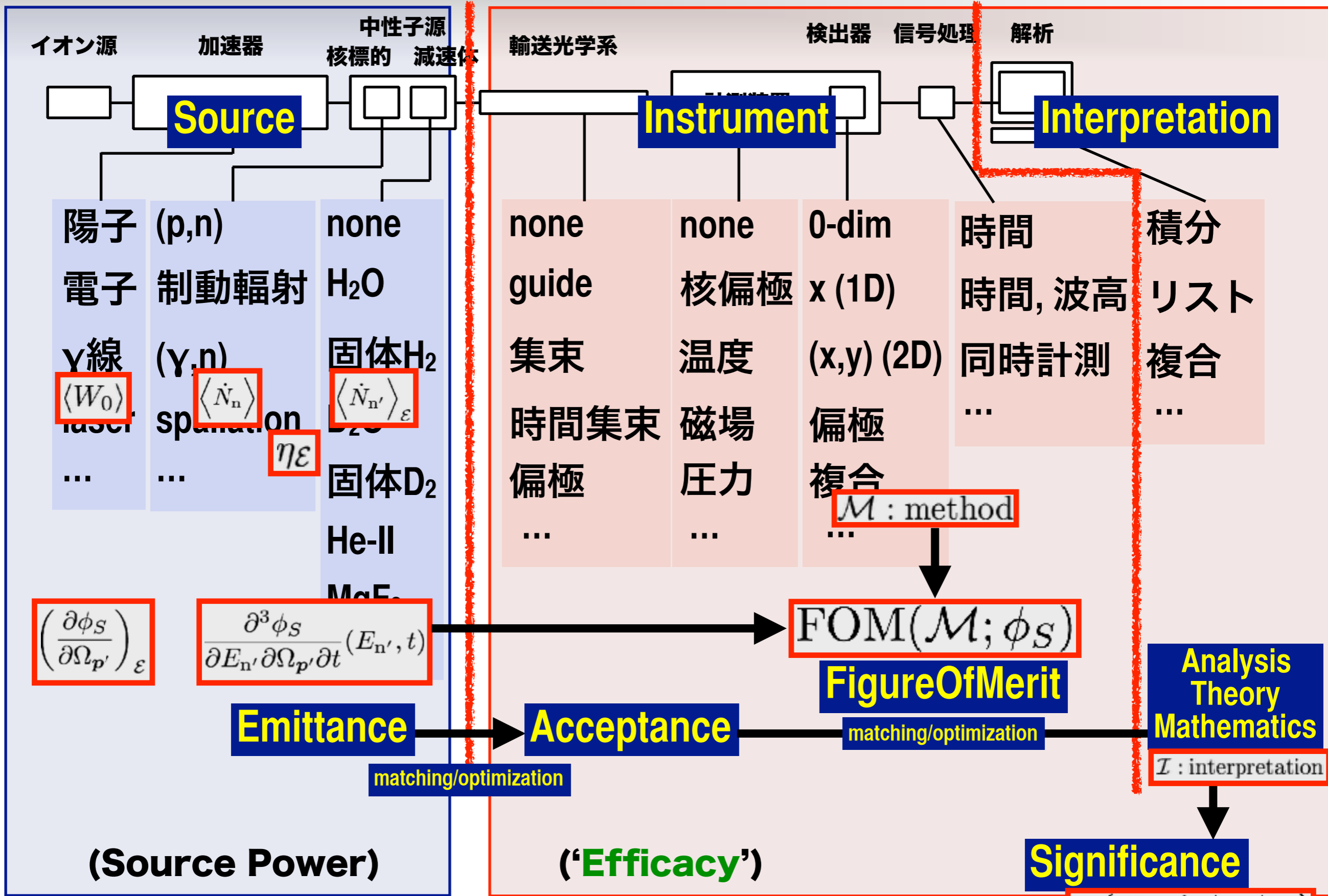
ε 領域の中性子発生率

$$\langle \dot{N}_{n'} \rangle_{\varepsilon}$$

減速効率

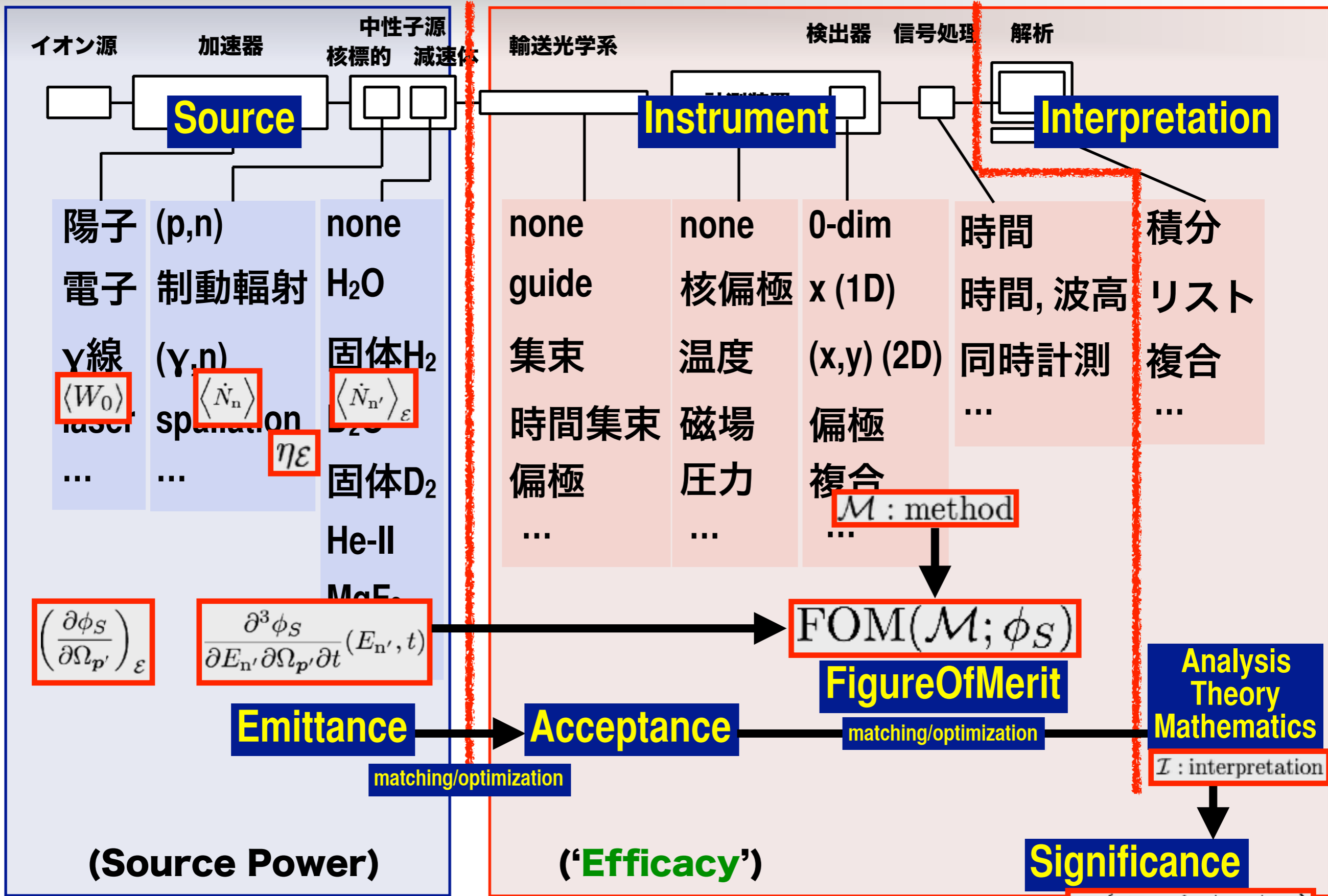
$$\eta \varepsilon$$

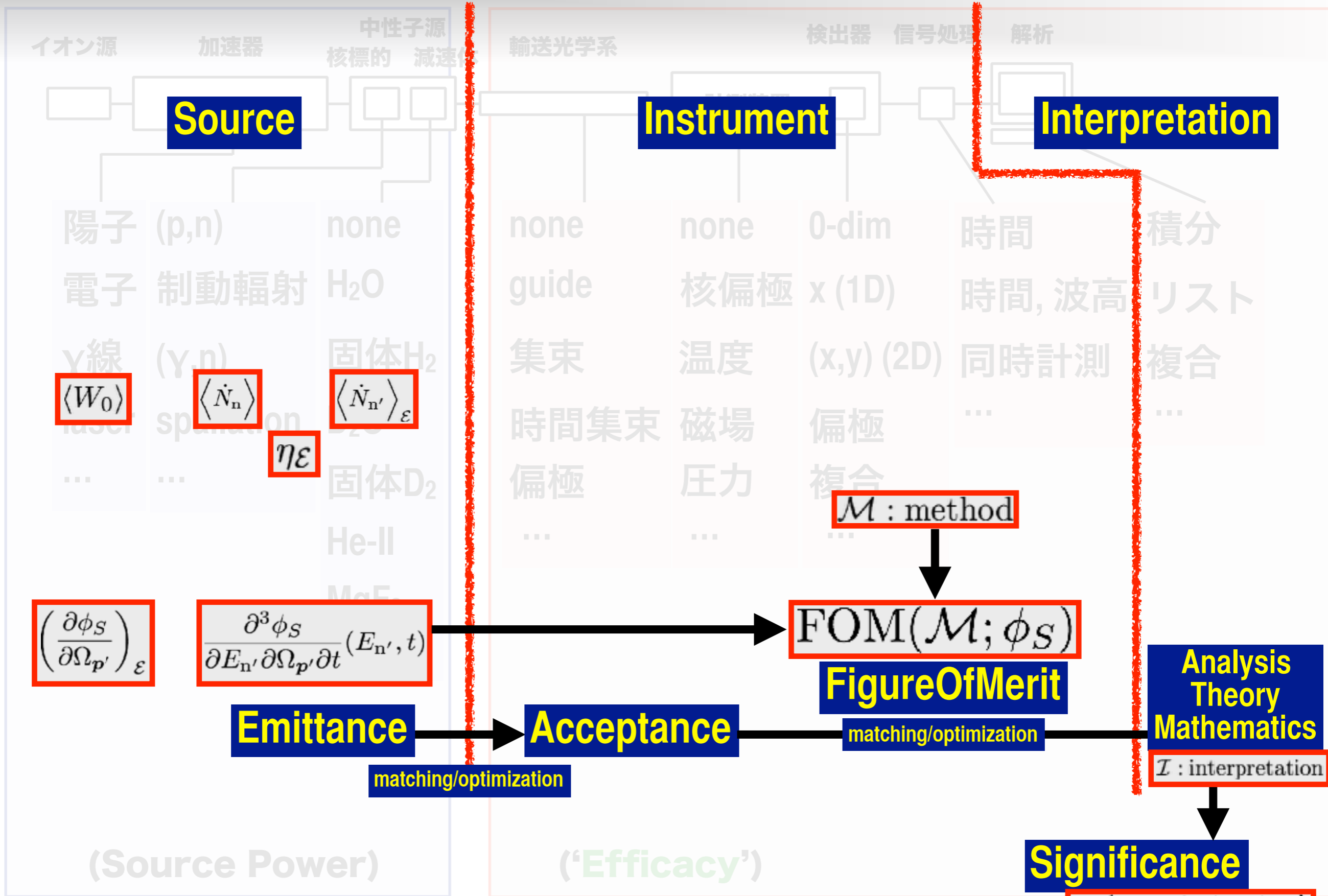




Title(名古屋大学加速器中性子源(NUANS)と新中性子源検討)
 Conf(京大炉におけるビーム利用のための次期中性子源検討IV)
 Date(2016/12/27) At(Kumatori)

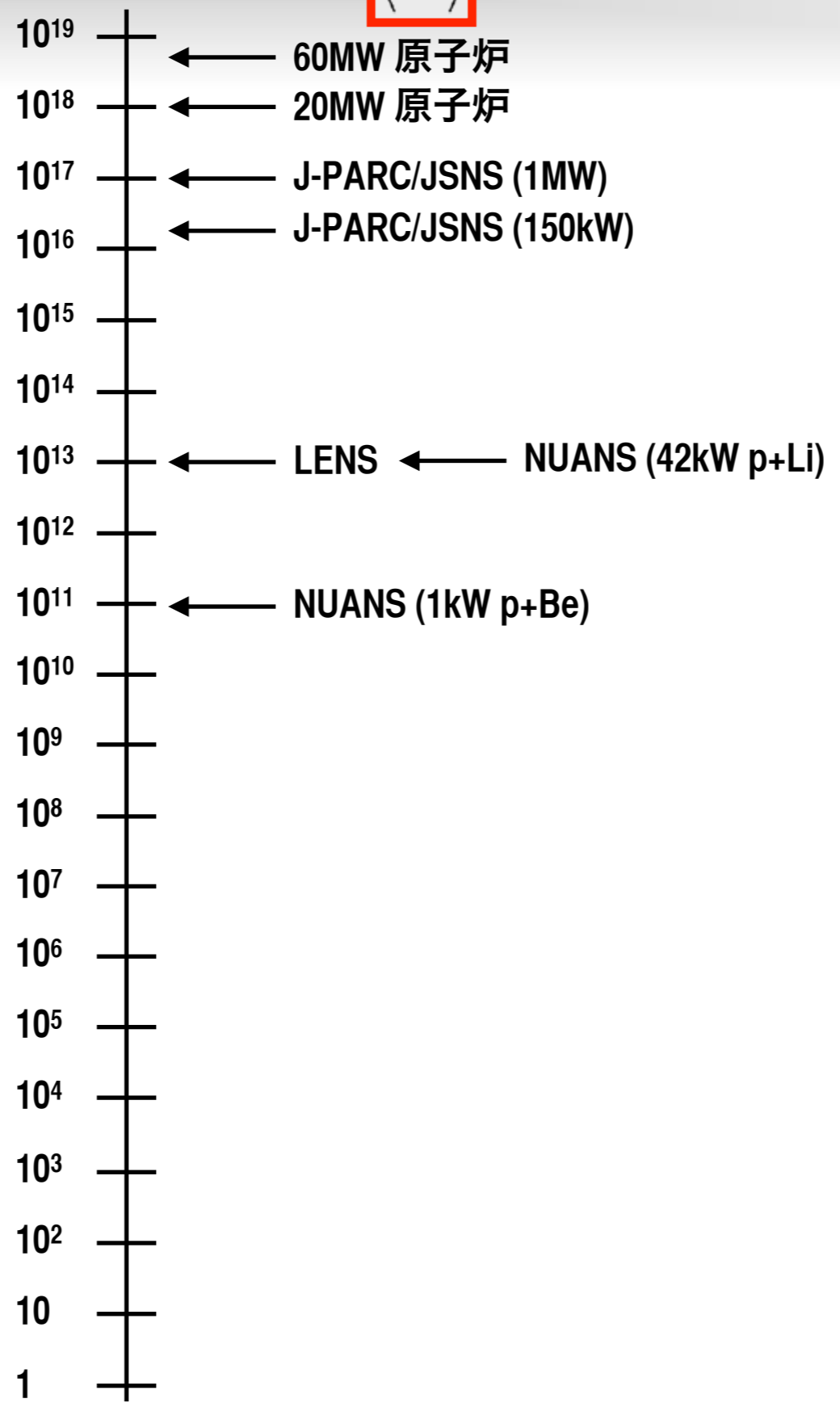




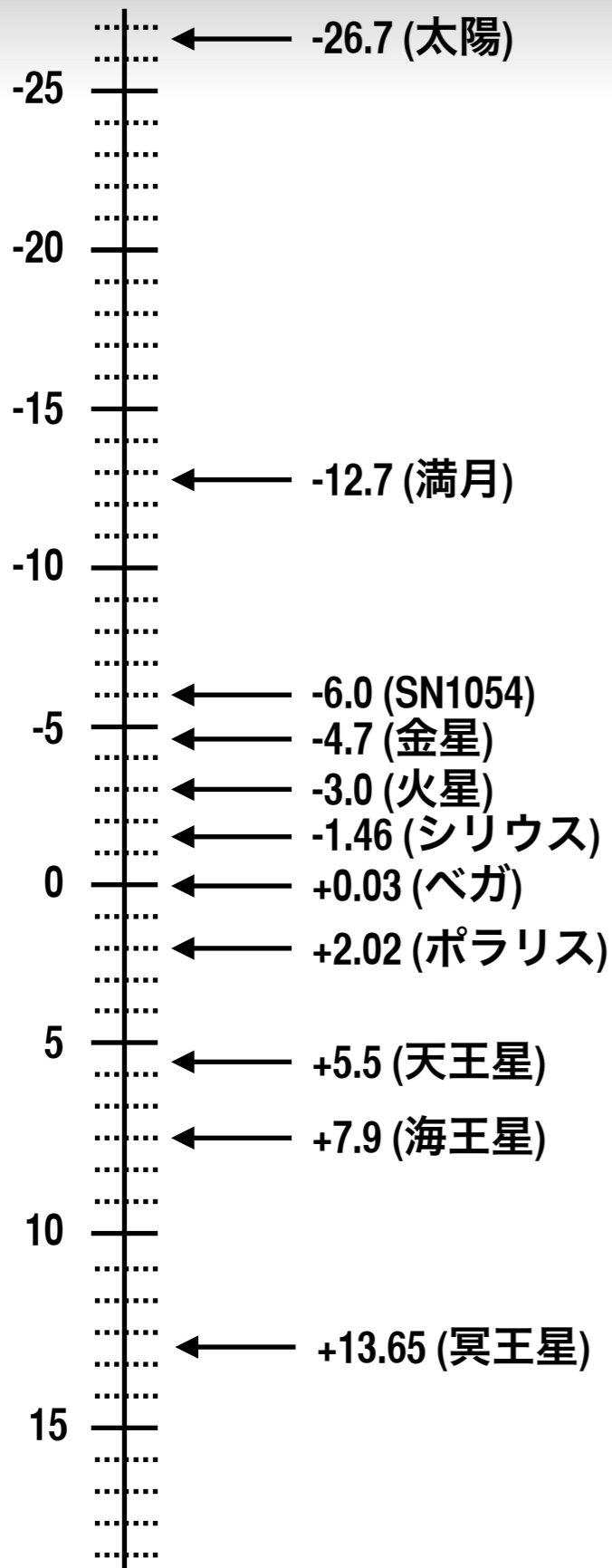


(例) 一般人にもわかりやすい表現

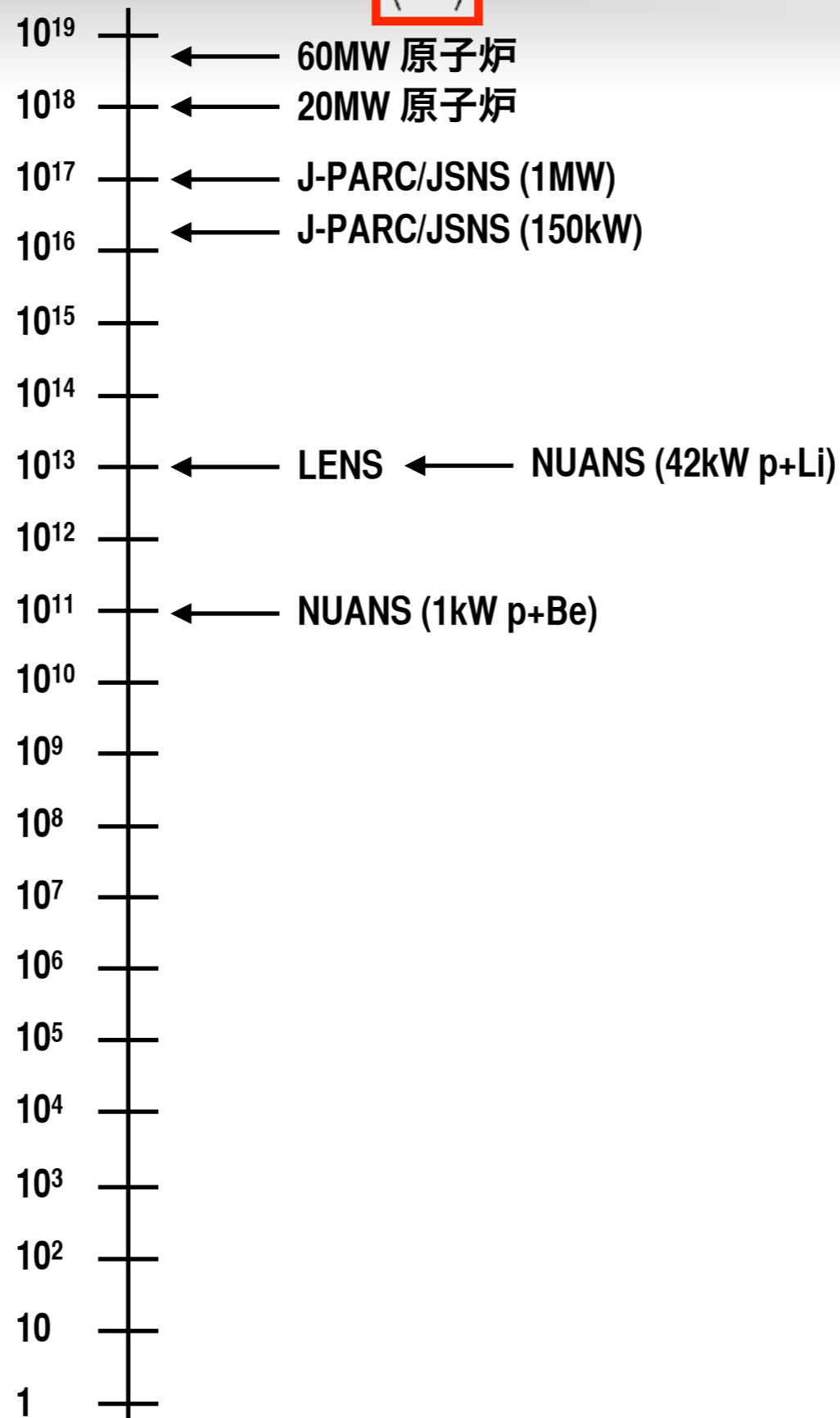
中性子発生率 [n s⁻¹] $\langle \dot{N}_n \rangle$



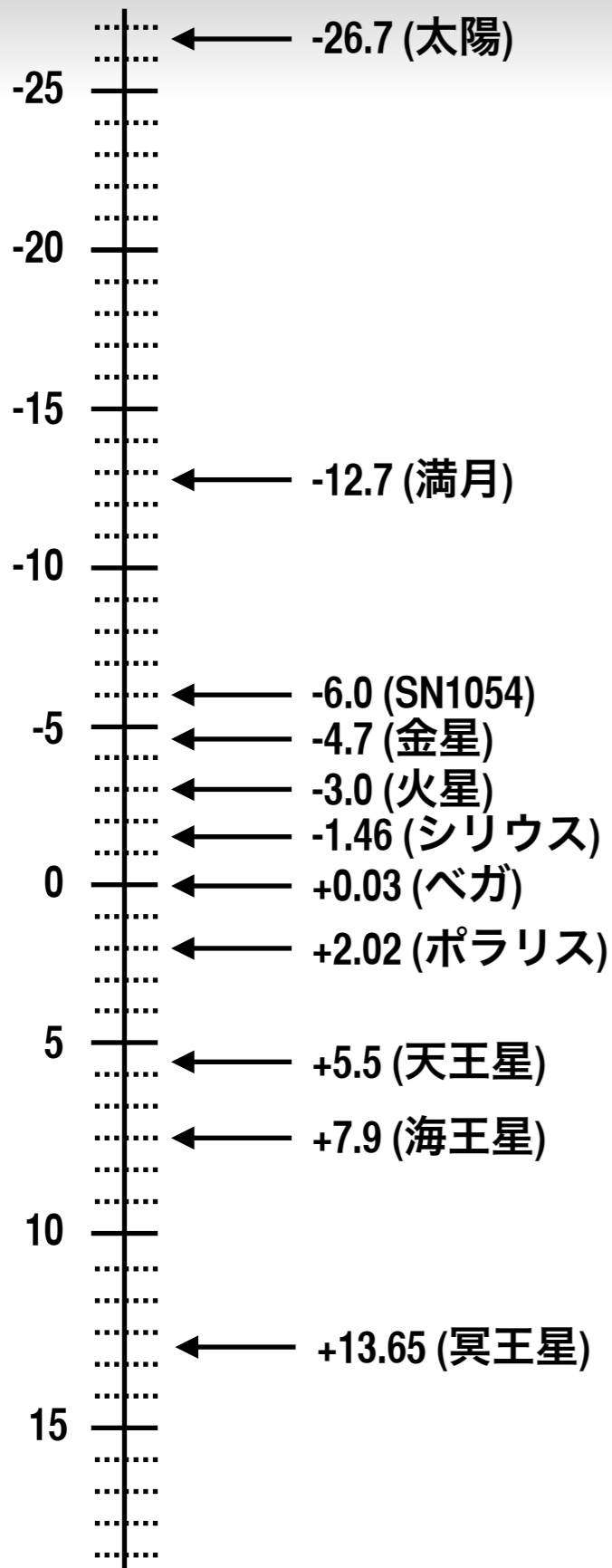
見かけの実視等級



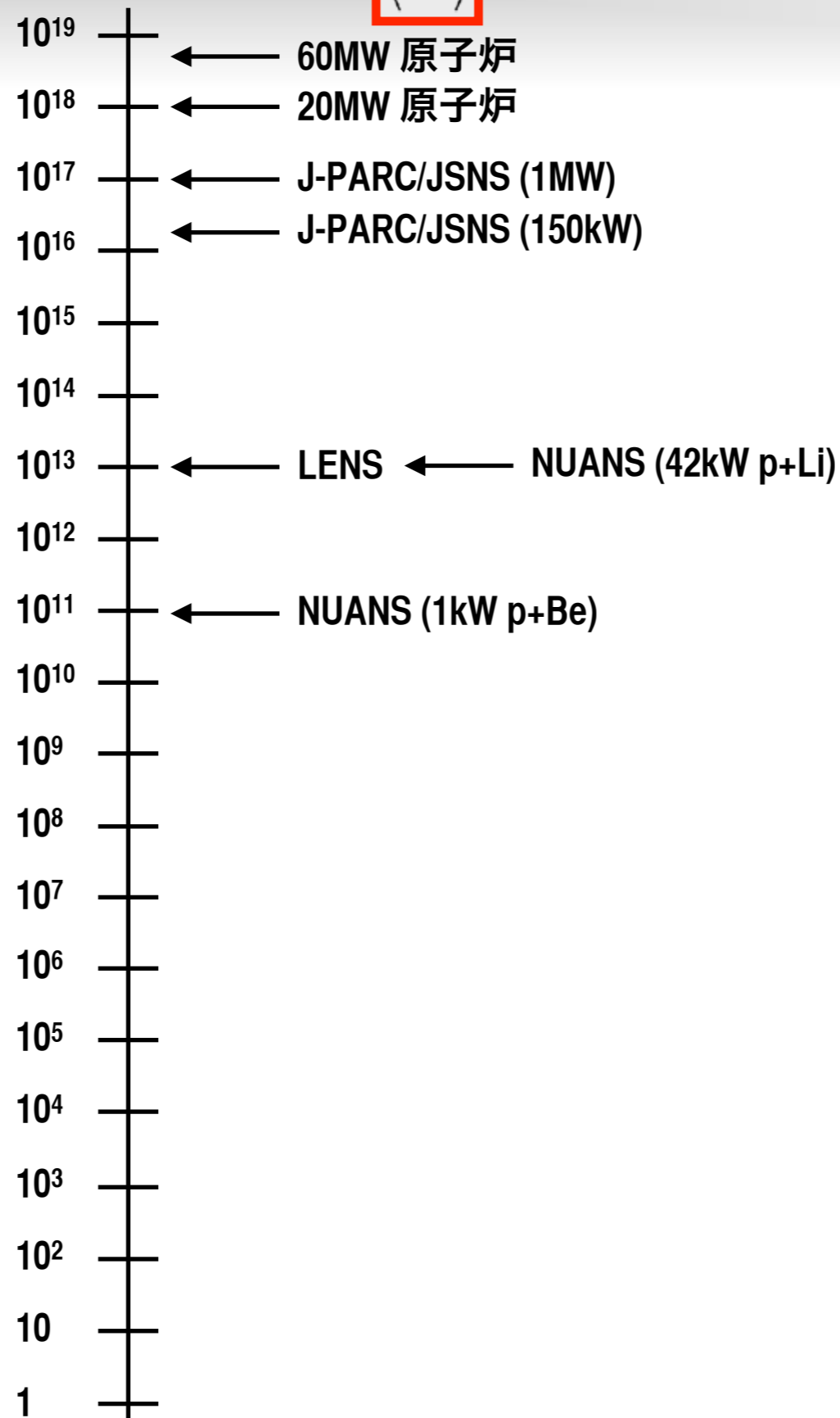
中性子発生率 [$n s^{-1}$] $\langle \dot{N}_n \rangle$



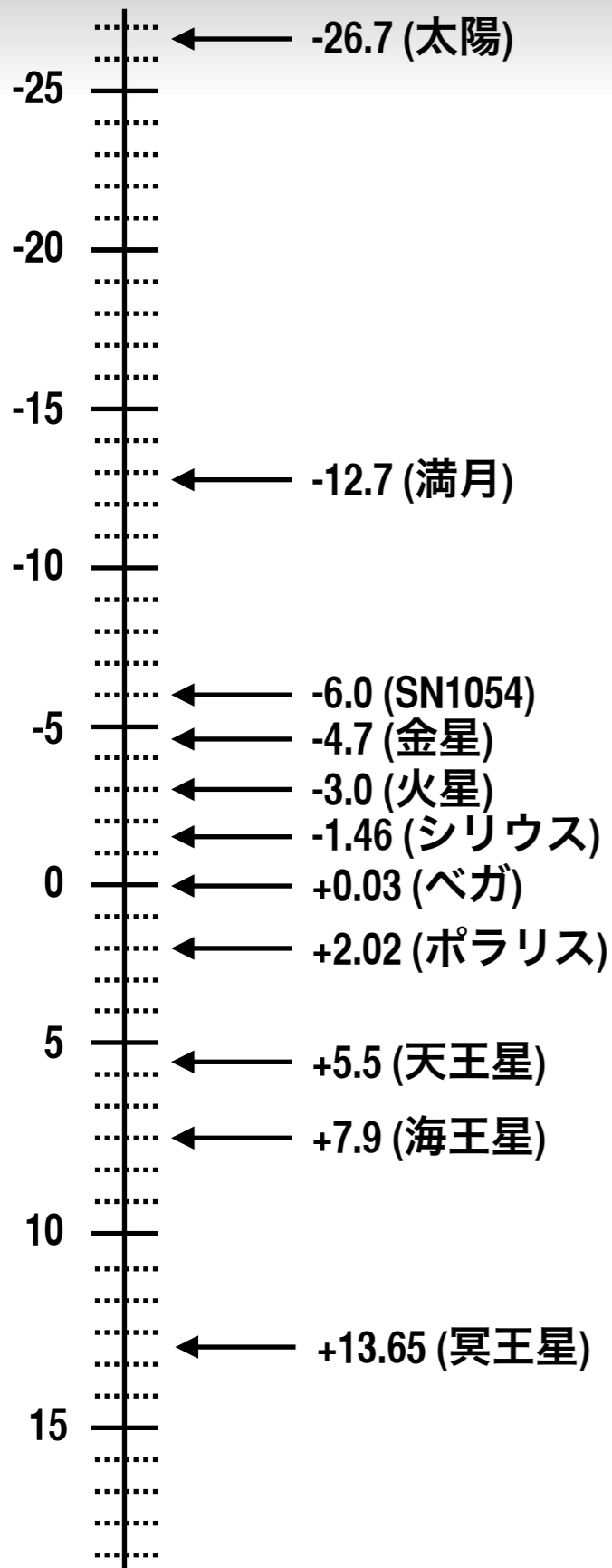
見かけの実視等級



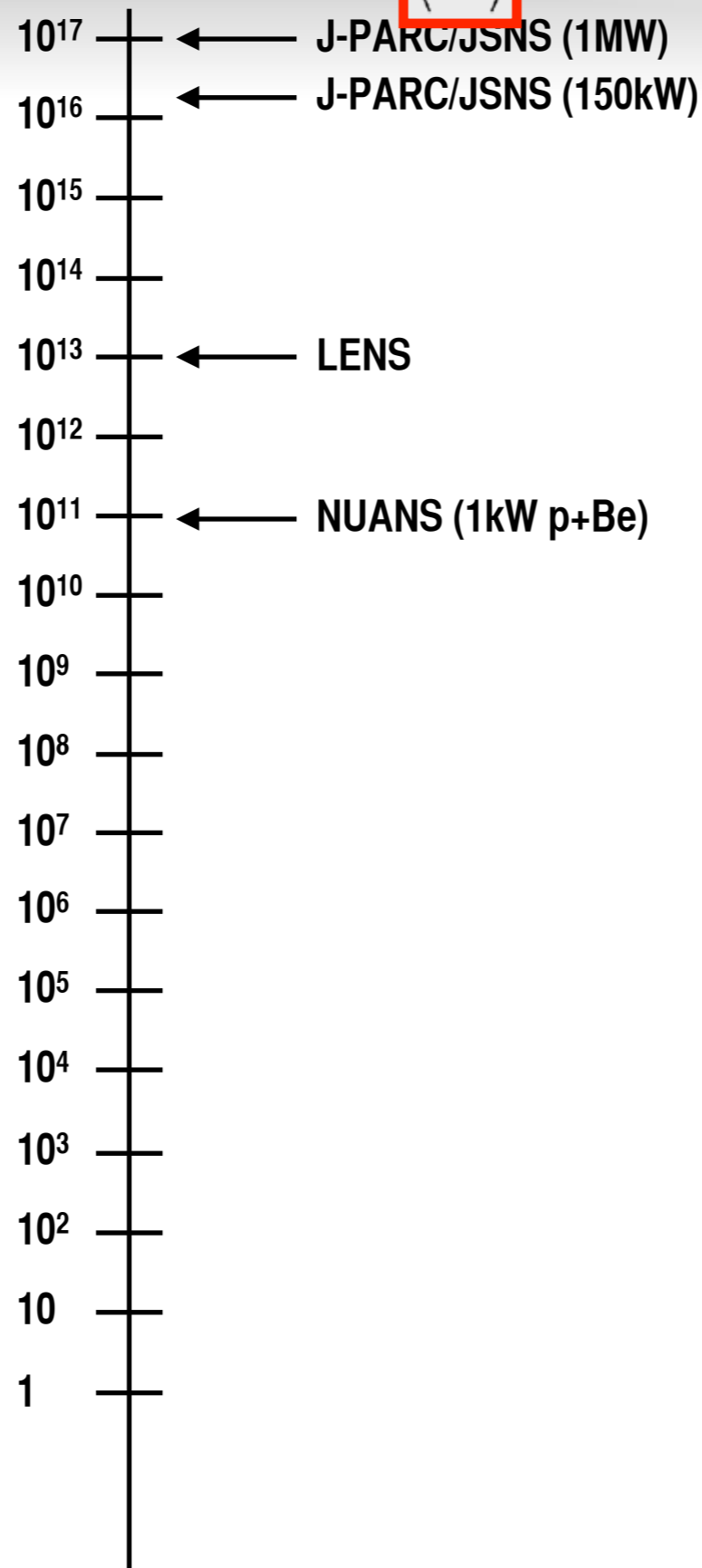
中性子発生率 [$n s^{-1}$] $\langle \dot{N}_n \rangle$



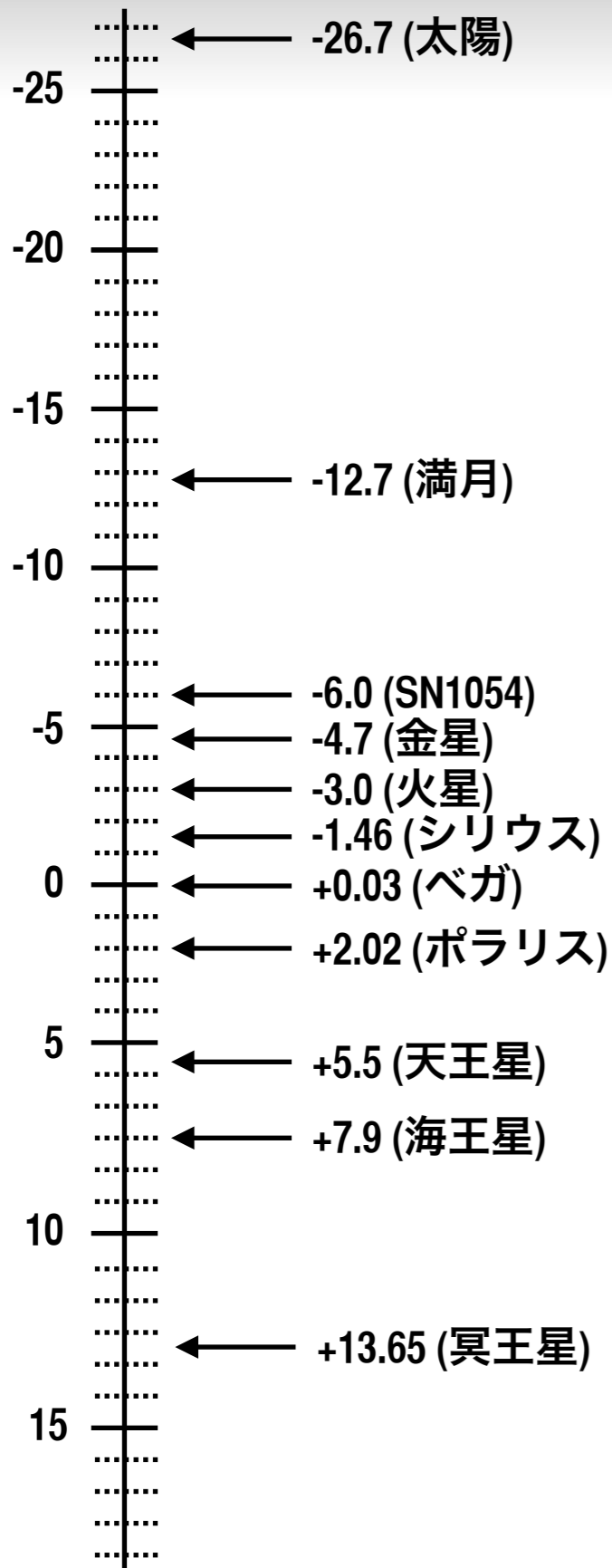
見かけの実視等級



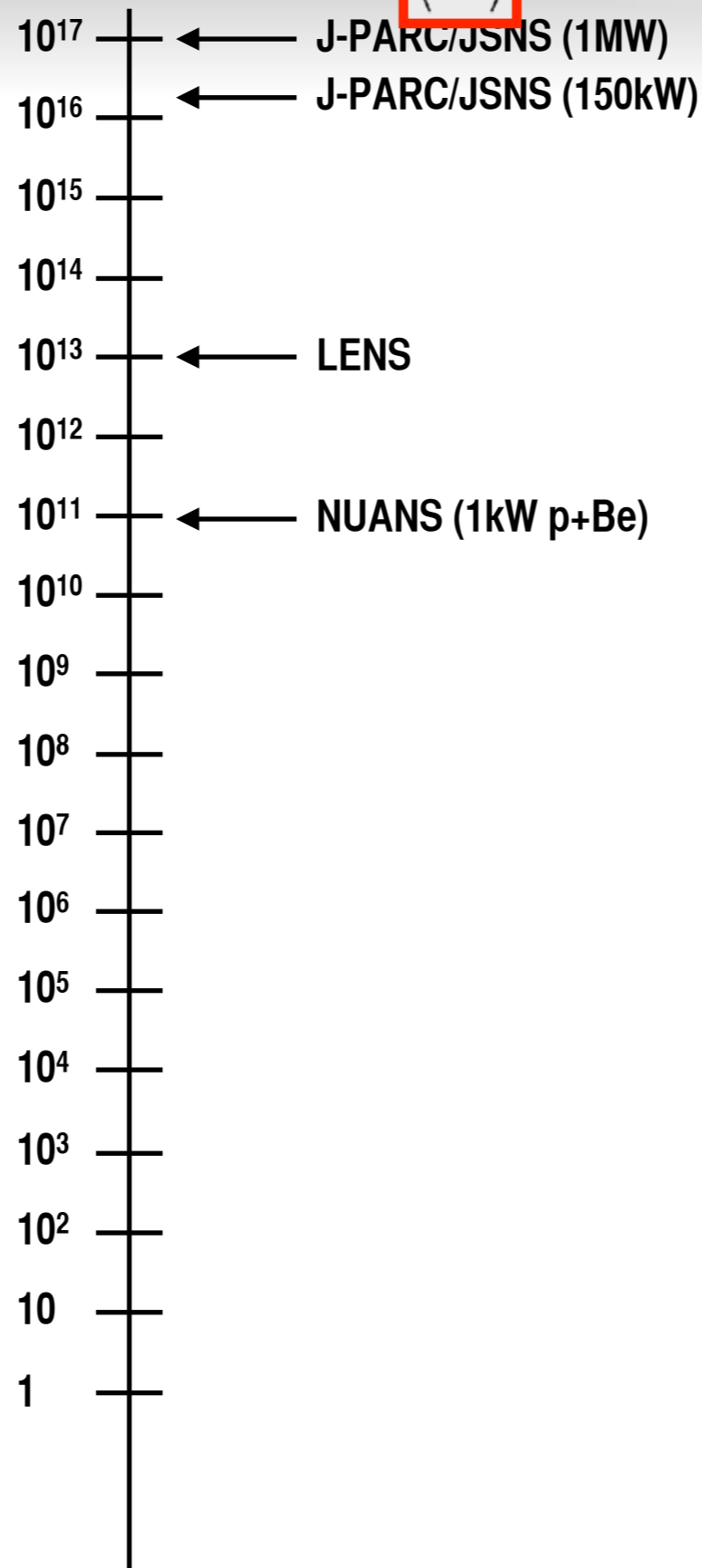
中性子発生率 [$n s^{-1}$] $\langle \dot{N}_n \rangle$



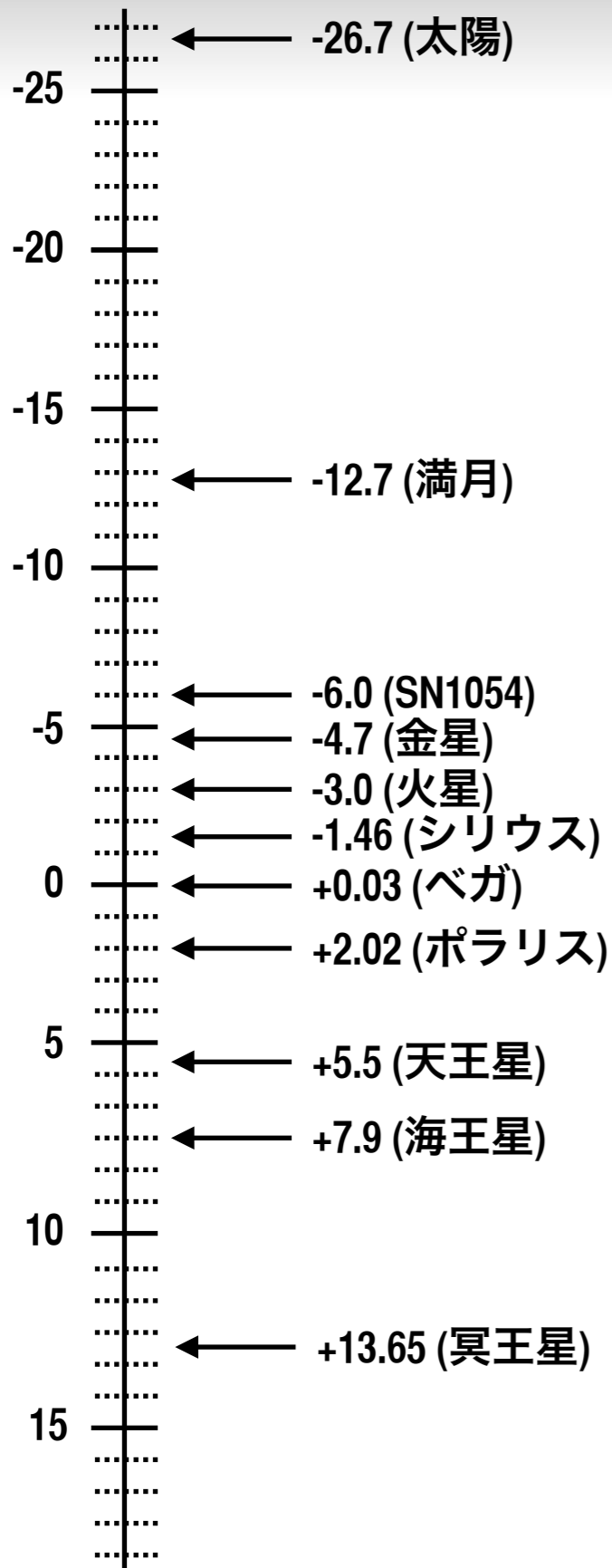
見かけの実視等級



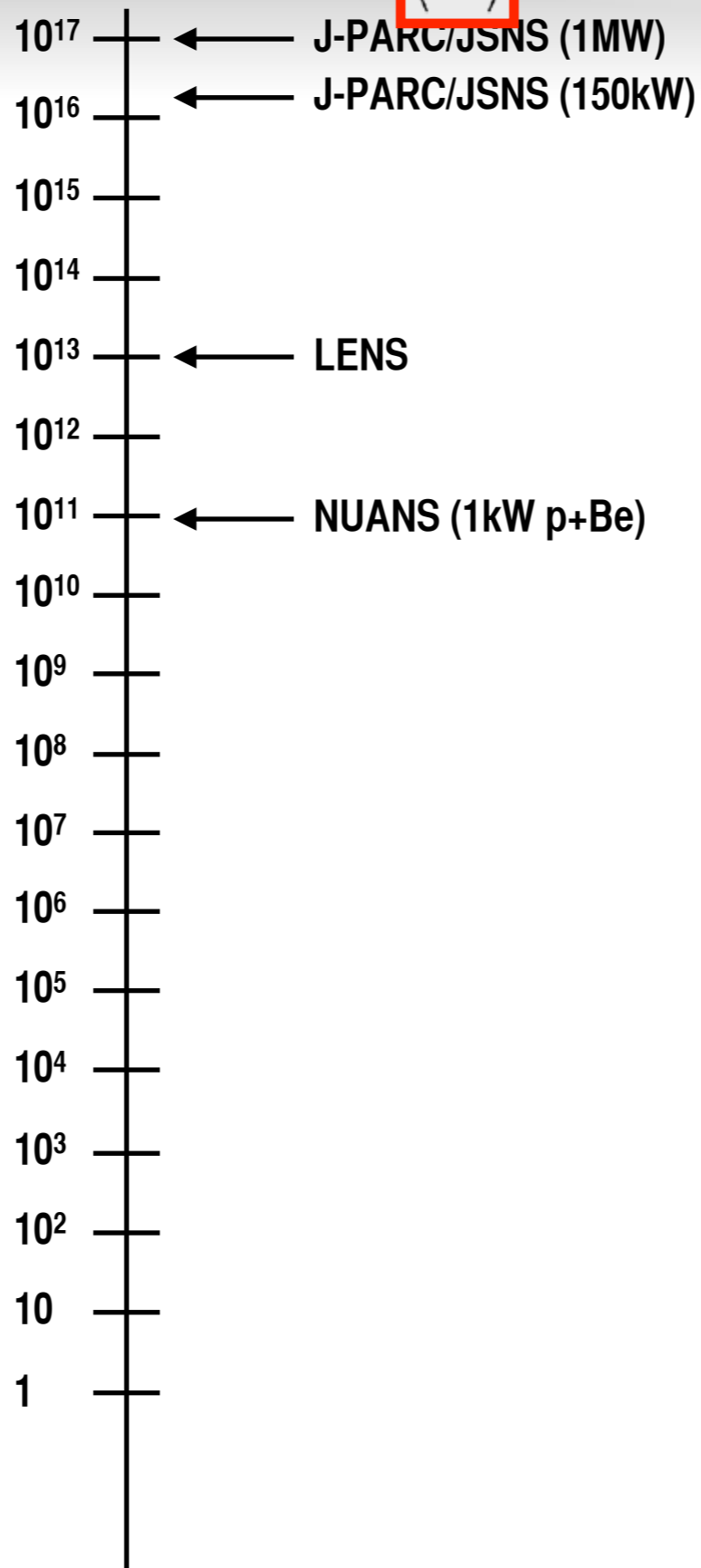
中性子発生率 [$n s^{-1}$] $\langle \dot{N}_n \rangle$



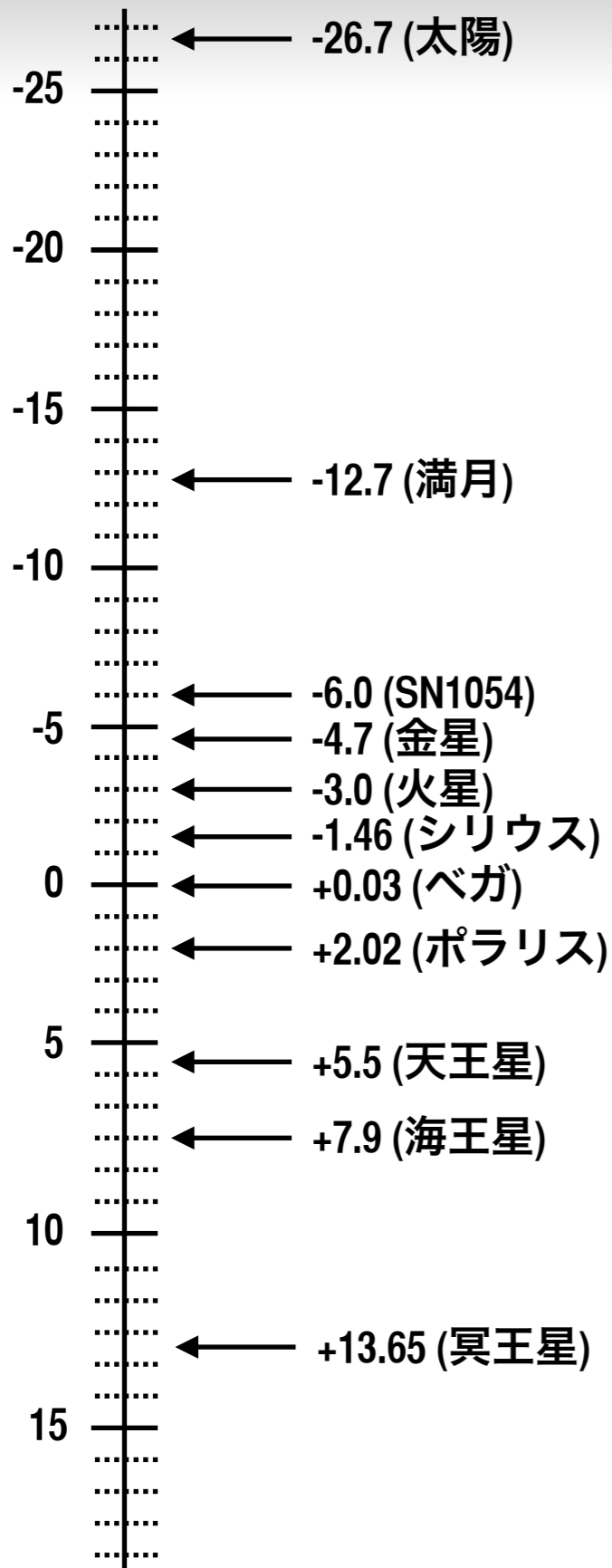
見かけの実視等級



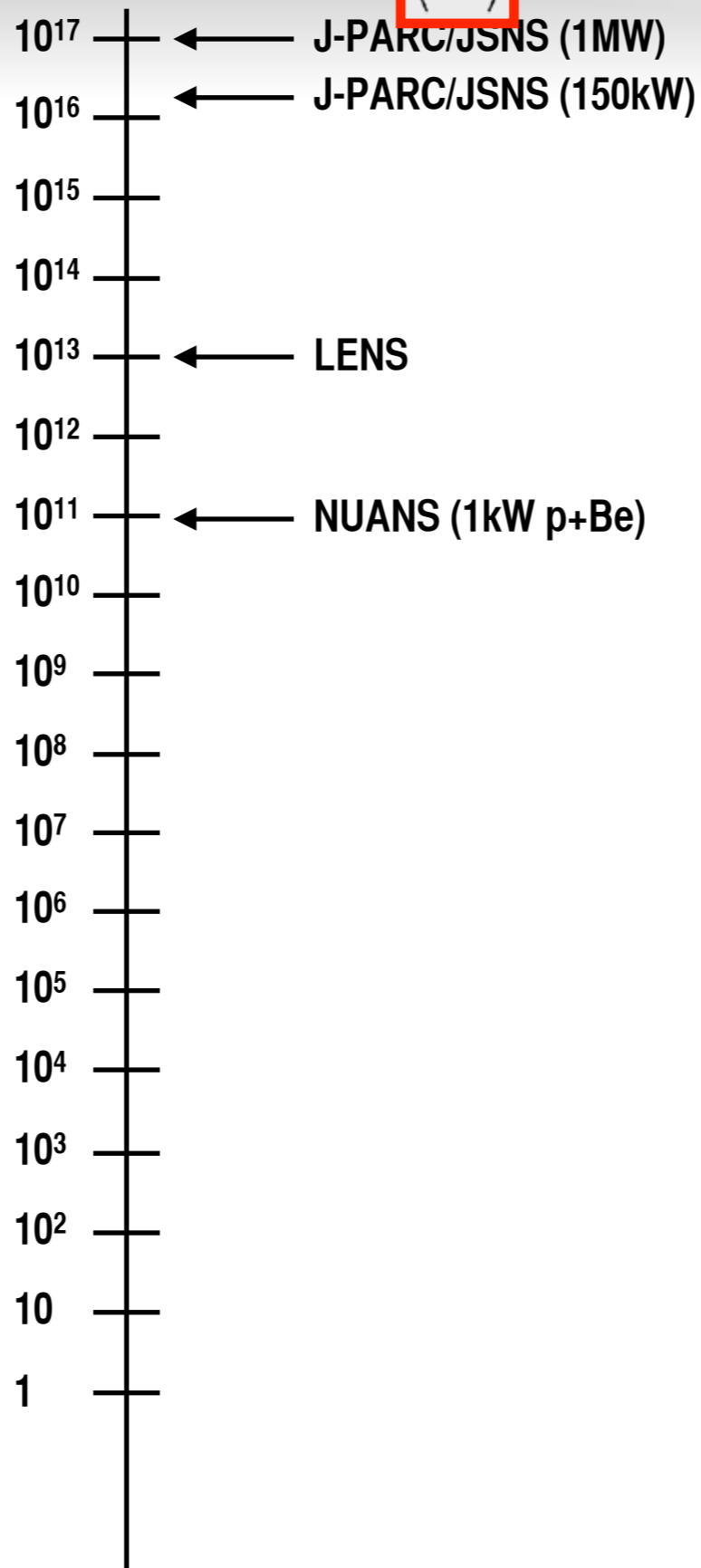
中性子発生率 [$n s^{-1}$] $\langle \dot{N}_n \rangle$



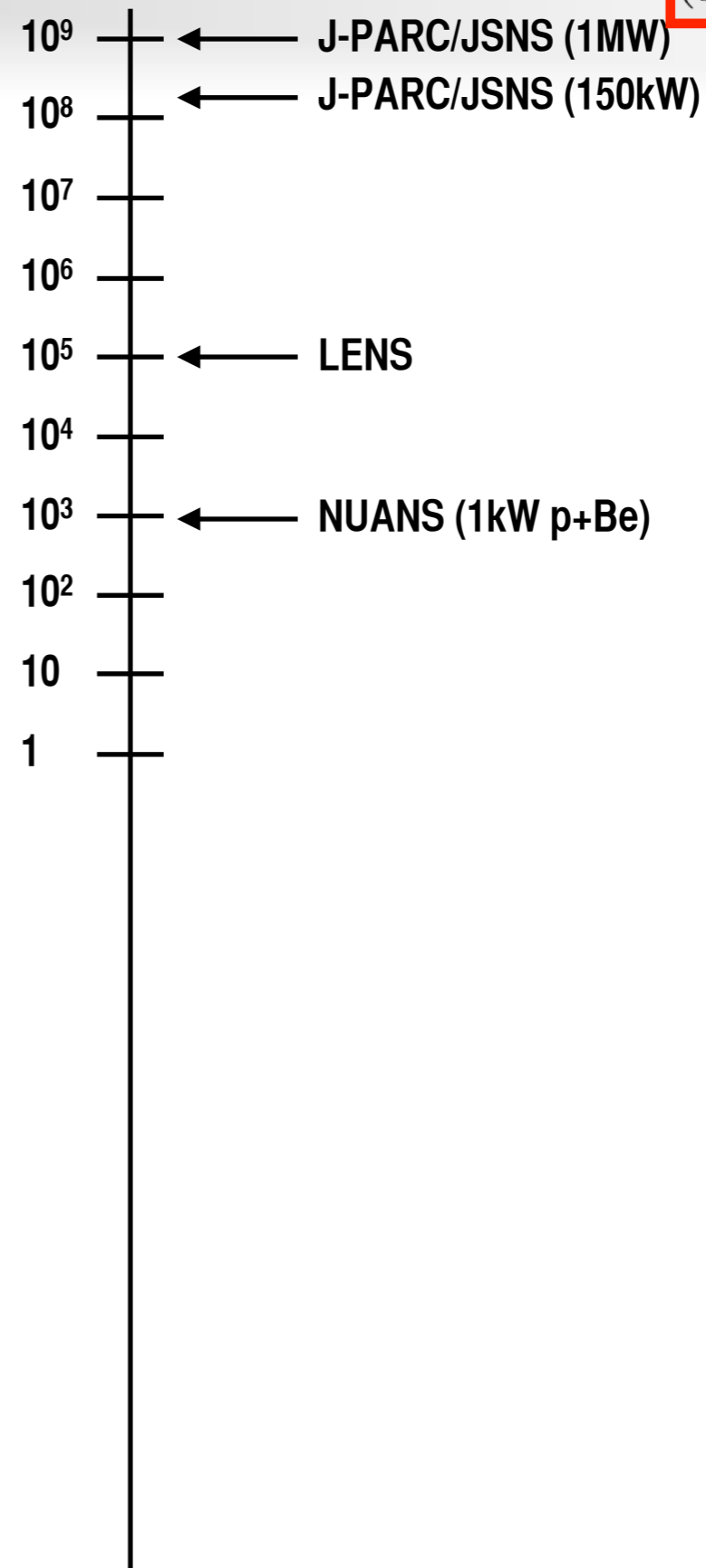
見かけの実視等級



中性子発生率 [$n s^{-1}$] $\langle \dot{N}_n \rangle$

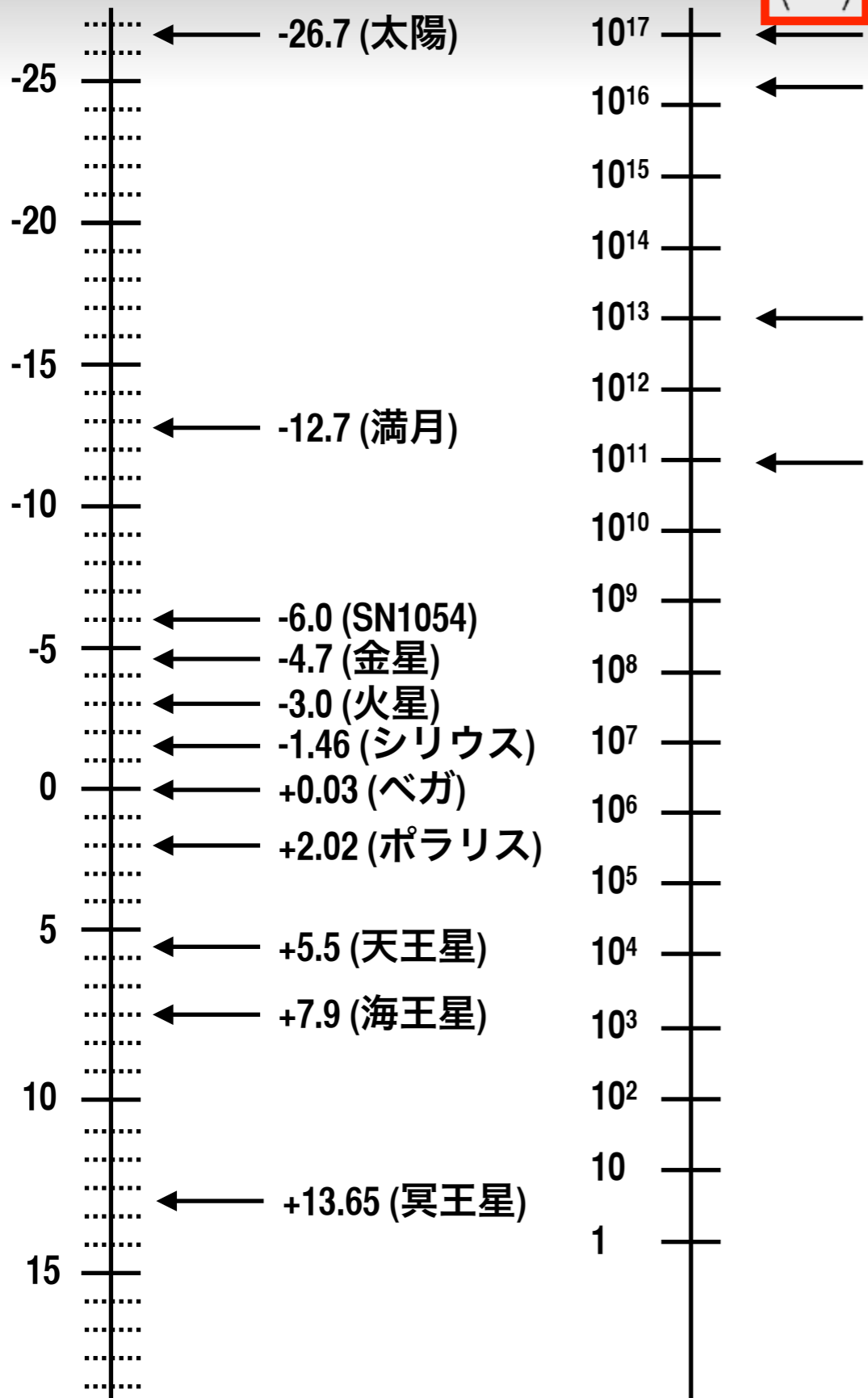


減速体表面中性子流束 [$n cm^{-2} s^{-1}$] $\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}}\right)_\epsilon$

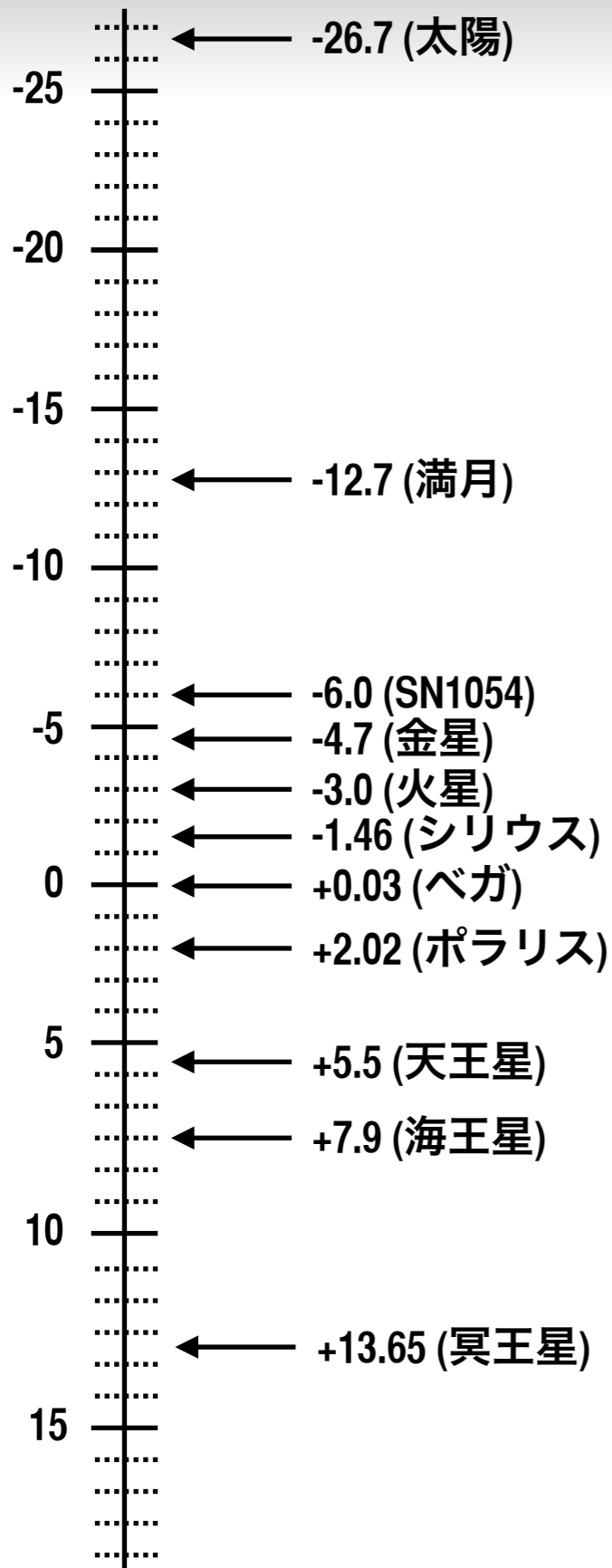


見かけの実視等級

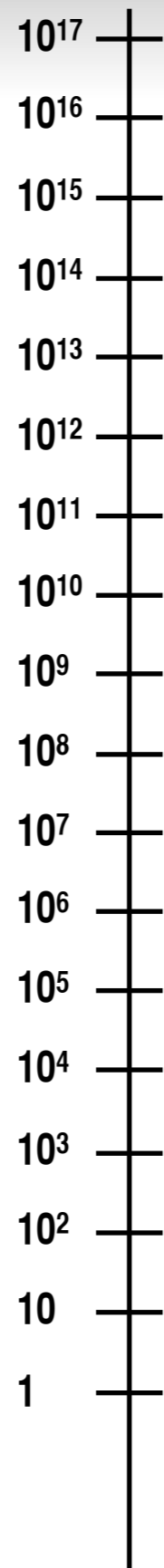
中性子発生率 $\langle \dot{N}_n \rangle$



見かけの実視等級

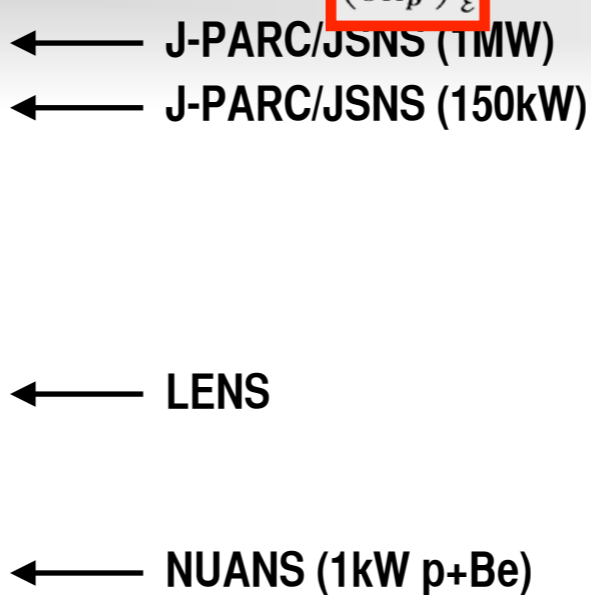
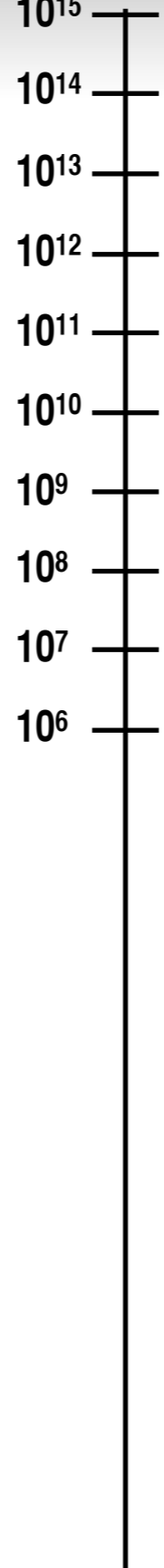


中性子発生率 $\langle \dot{N}_n \rangle$



$\langle \dot{N}_n \rangle$

減速体表面中性子流束 $\left[\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right]_{\epsilon}^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ eV}^{-1}$

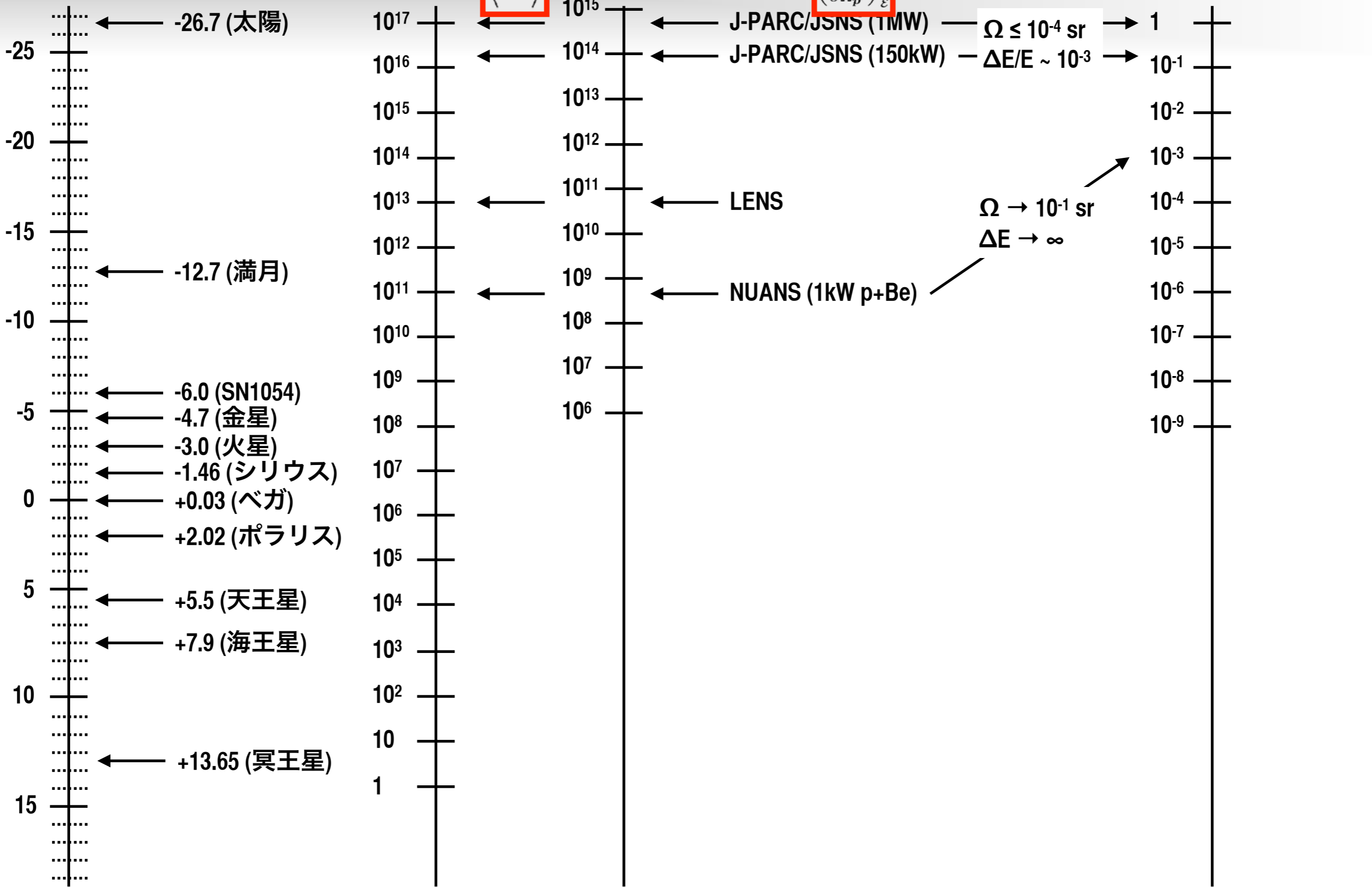


見かけの実視等級

中性子発生率 $\langle \dot{N}_n \rangle$

減速体表面中性子流束 $\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_\varepsilon$ [sr⁻¹ eV⁻¹]

利用中性子数 $\sigma(L; M; \phi_S)$

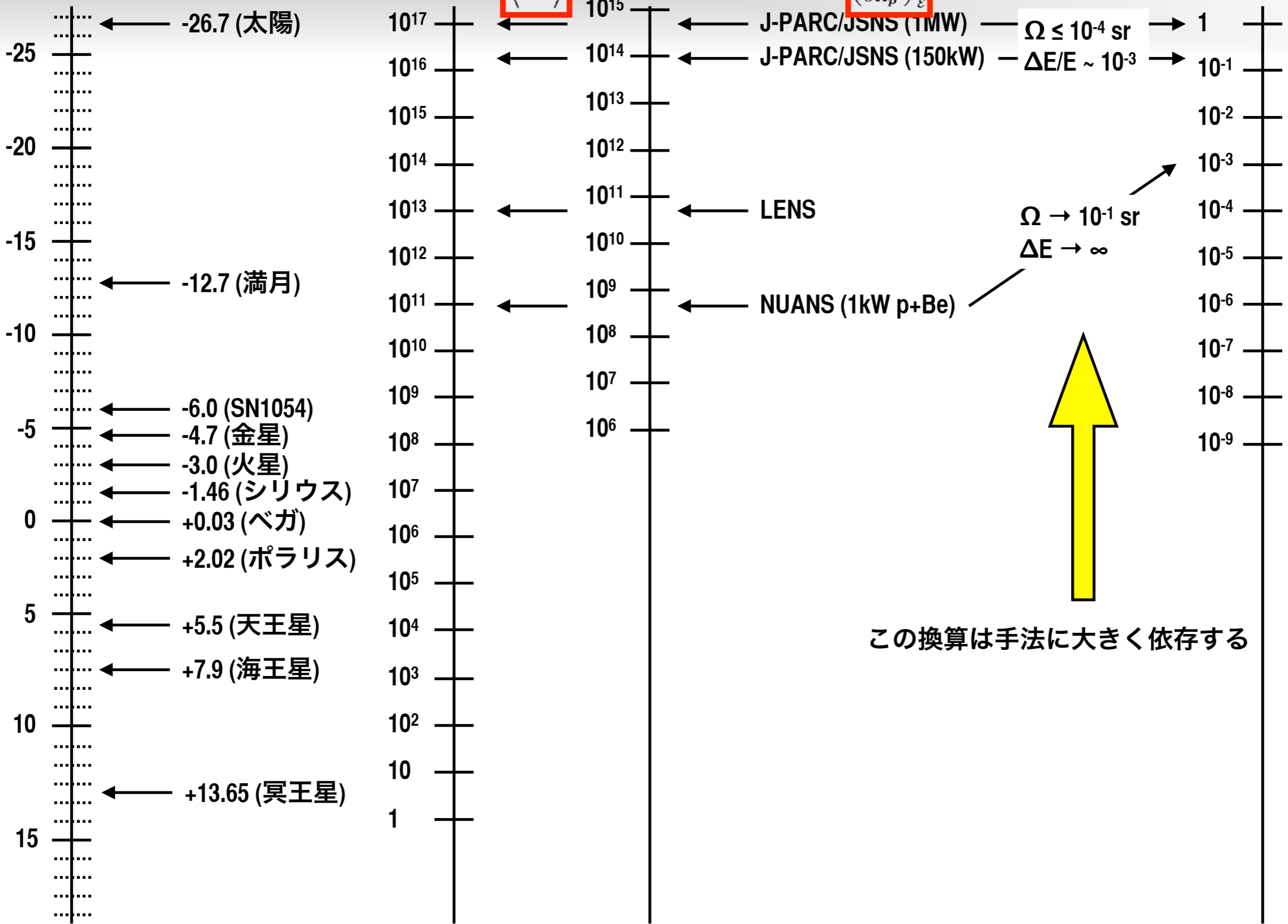


見かけの実視等級

中性子発生率 $\langle \dot{N}_n \rangle$

減速体表面中性子流束 $\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_\epsilon \cdot 1 \text{ sr}^{-1} \text{ eV}^{-1}$

利用中性子数 $\sigma(L; M; \phi_S)$



見かけの実視等級

中性子発生率 $\langle \dot{N}_n \rangle$

減速体表面中性子流束 $\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_\varepsilon^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ eV}^{-1}$

利用中性子数 $\sigma(\mathcal{I}; \mathcal{M}; \phi_S)$

-26.7 (太陽)

-25

-20

-15

-10

-5

0

5

10

15

-26.7 (太陽)

-12.7 (満月)

-6.0 (SN1054)

-4.7 (金星)

-3.0 (火星)

-1.46 (シリウス)

+0.03 (ベガ)

+2.02 (ポラリス)

+5.5 (天王星)

+7.9 (海王星)

+13.65 (冥王星)

10^{17}

10^{16}

10^{15}

10^{14}

10^{13}

10^{12}

10^{11}

10^{10}

10^9

10^8

10^7

10^6

10^5

10^4

10^3

10^2

10

1

10^{15}

10^{14}

10^{13}

10^{12}

10^{11}

10^{10}

10^9

10^8

10^7

10^6

J-PARC/JSNS (1MW)

J-PARC/JSNS (150kW)

LENS

NUANS (1kW p+Be)

$\Omega \leq 10^{-4} \text{ sr}$

$\Delta E/E \sim 10^{-3}$

$\Omega \rightarrow 10^{-1} \text{ sr}$

$\Delta E \rightarrow \infty$

1

10^{-1}

10^{-2}

10^{-3}

10^{-4}

10^{-5}

10^{-6}

10^{-7}

10^{-8}

10^{-9}



この換算は手法に大きく依存する

\mathcal{M} : method

目的に応じた Figure Of Merit (利得関数)を明らかにすること

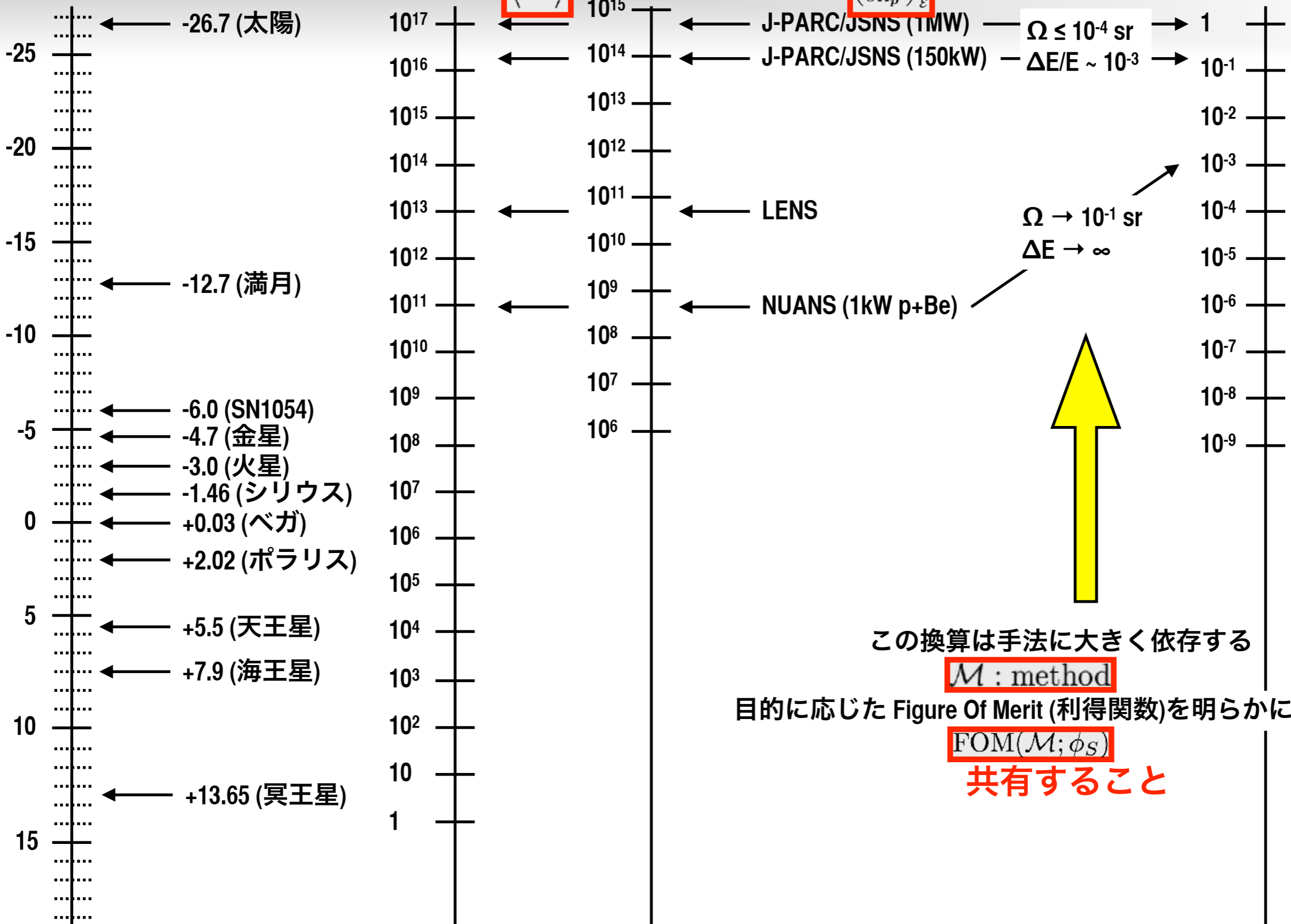
$\text{FOM}(\mathcal{M}; \phi_S)$

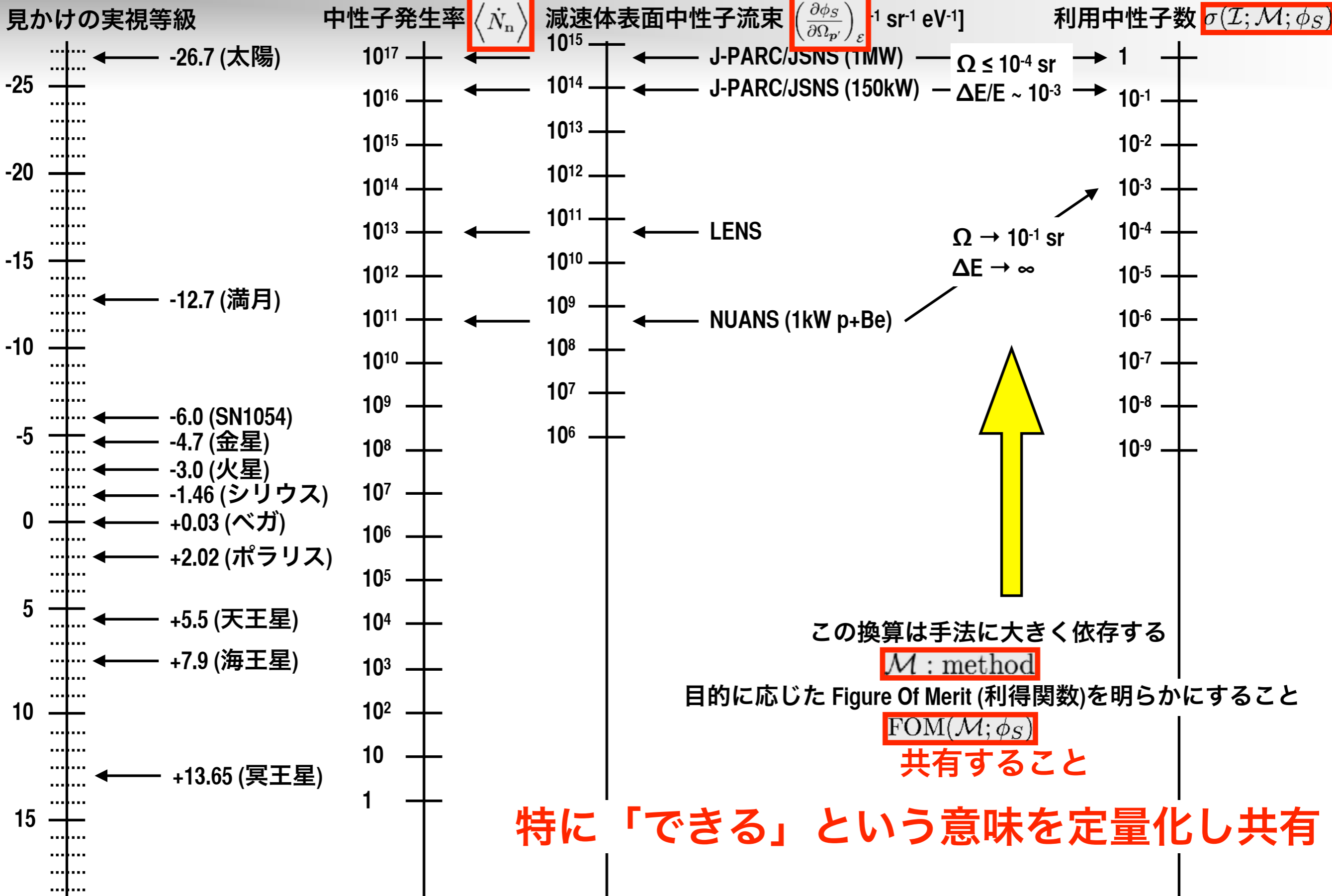
見かけの実視等級

中性子発生率 $\langle \dot{N}_n \rangle$

減速体表面中性子流束 $\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_\varepsilon^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ eV}^{-1}$

利用中性子数 $\sigma(\mathcal{I}; \mathcal{M}; \phi_S)$



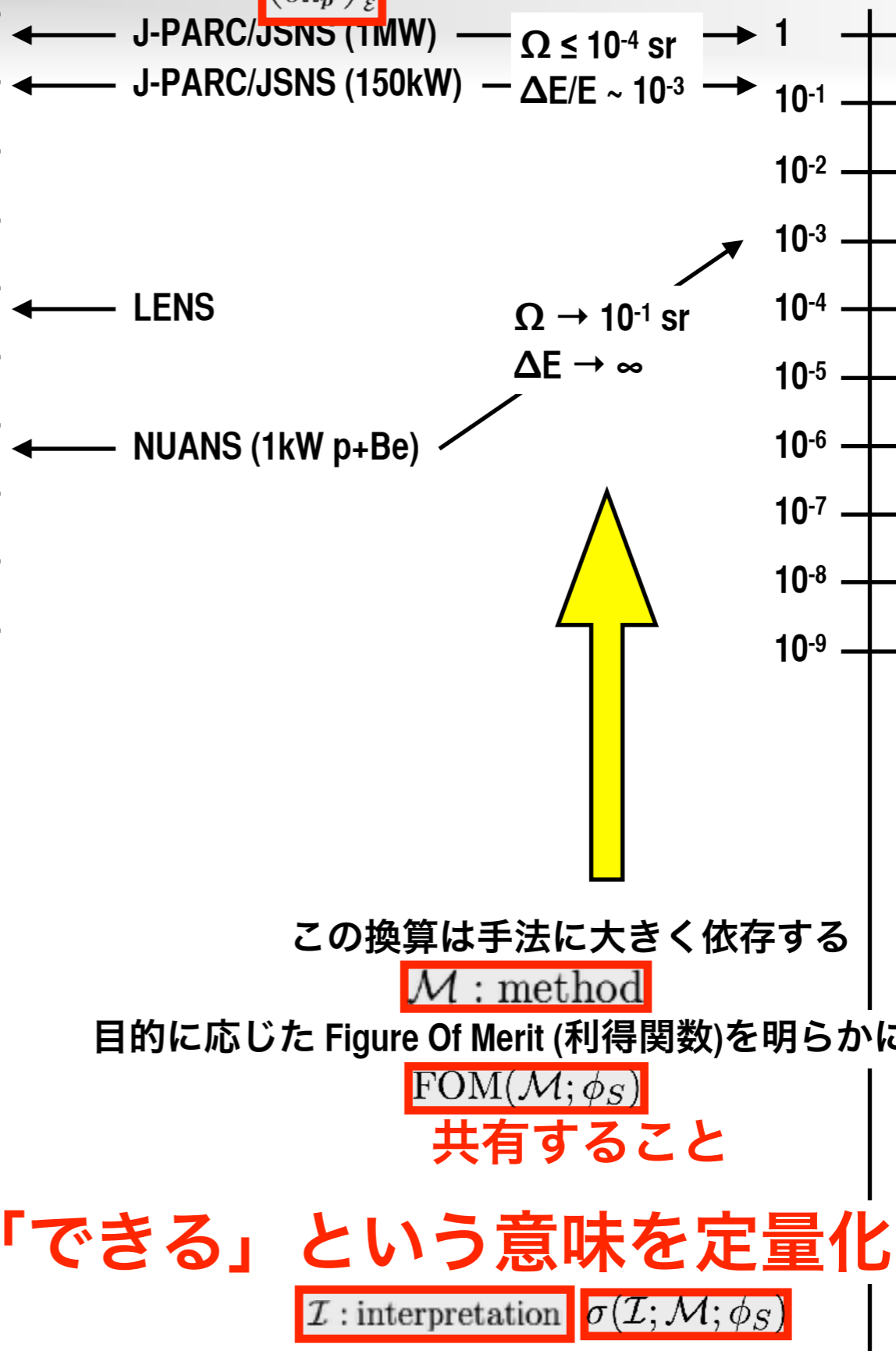
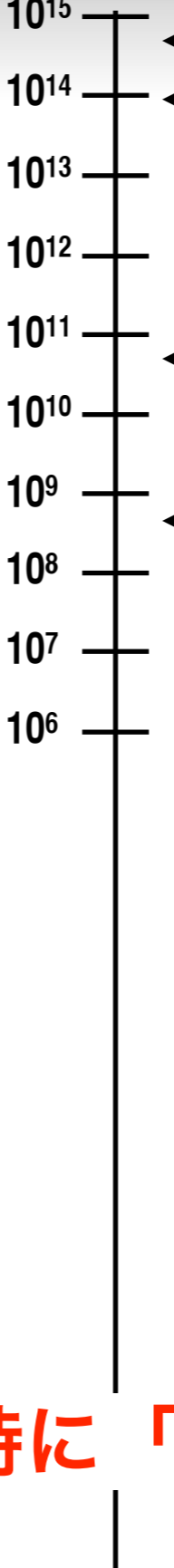
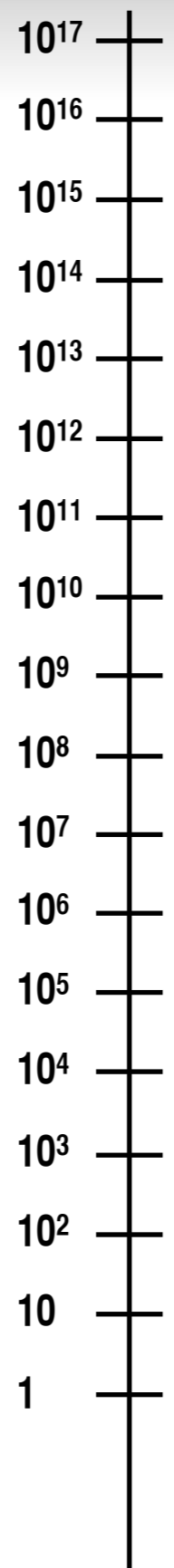
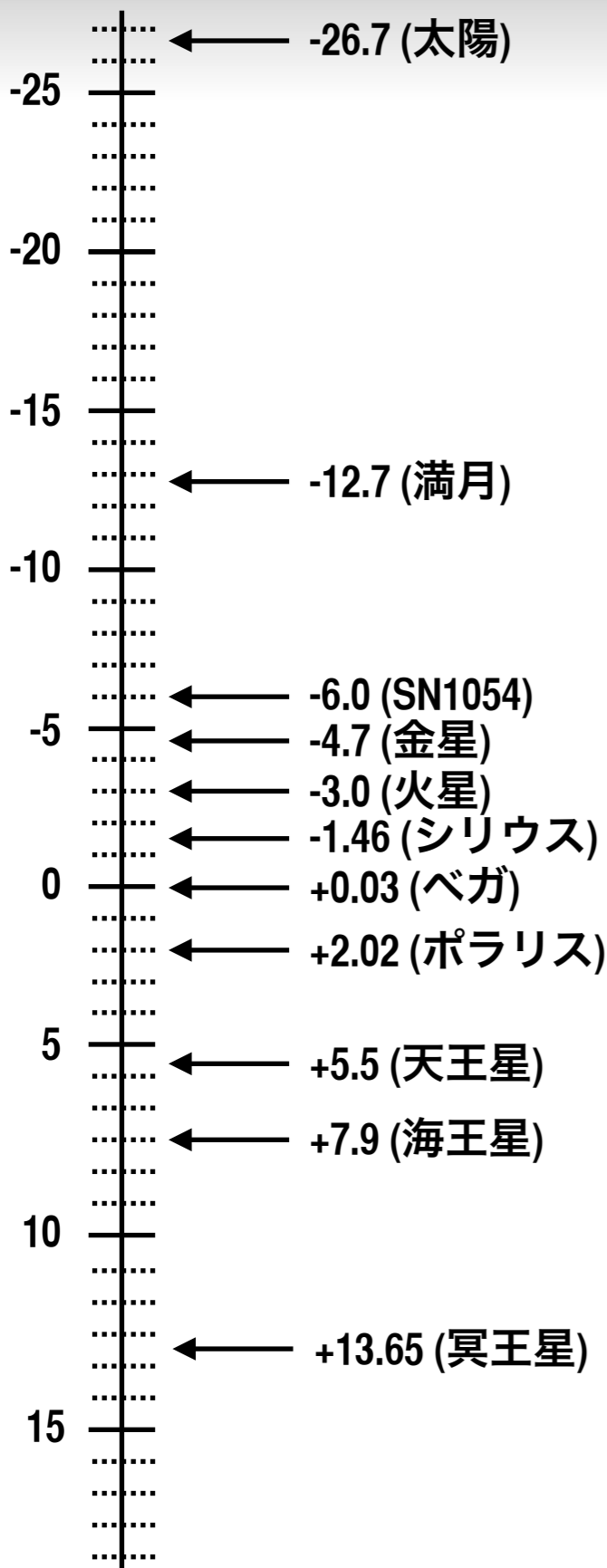


見かけの実視等級

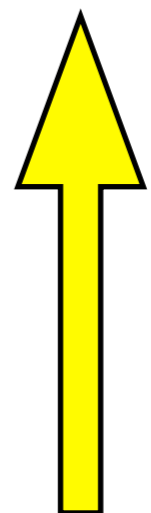
中性子発生率 $\langle \dot{N}_n \rangle$

減速体表面中性子流束 $\left(\frac{\partial \phi_S}{\partial \Omega_{p'}} \right)_\epsilon^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ eV}^{-1}$

利用中性子数 $\sigma(\mathcal{I}; \mathcal{M}; \phi_S)$



J-PARC/JSNS (TMW) $\Omega \leq 10^{-4} \text{ sr}$
 J-PARC/JSNS (150kW) $\Delta E/E \sim 10^{-3}$
 LENS
 NUANS (1kW p+Be) $\Omega \rightarrow 10^{-1} \text{ sr}$
 $\Delta E \rightarrow \infty$



この換算は手法に大きく依存する

\mathcal{M} : method

目的に応じた Figure Of Merit (利得関数)を明らかにすること

FOM($\mathcal{M}; \phi_S$)

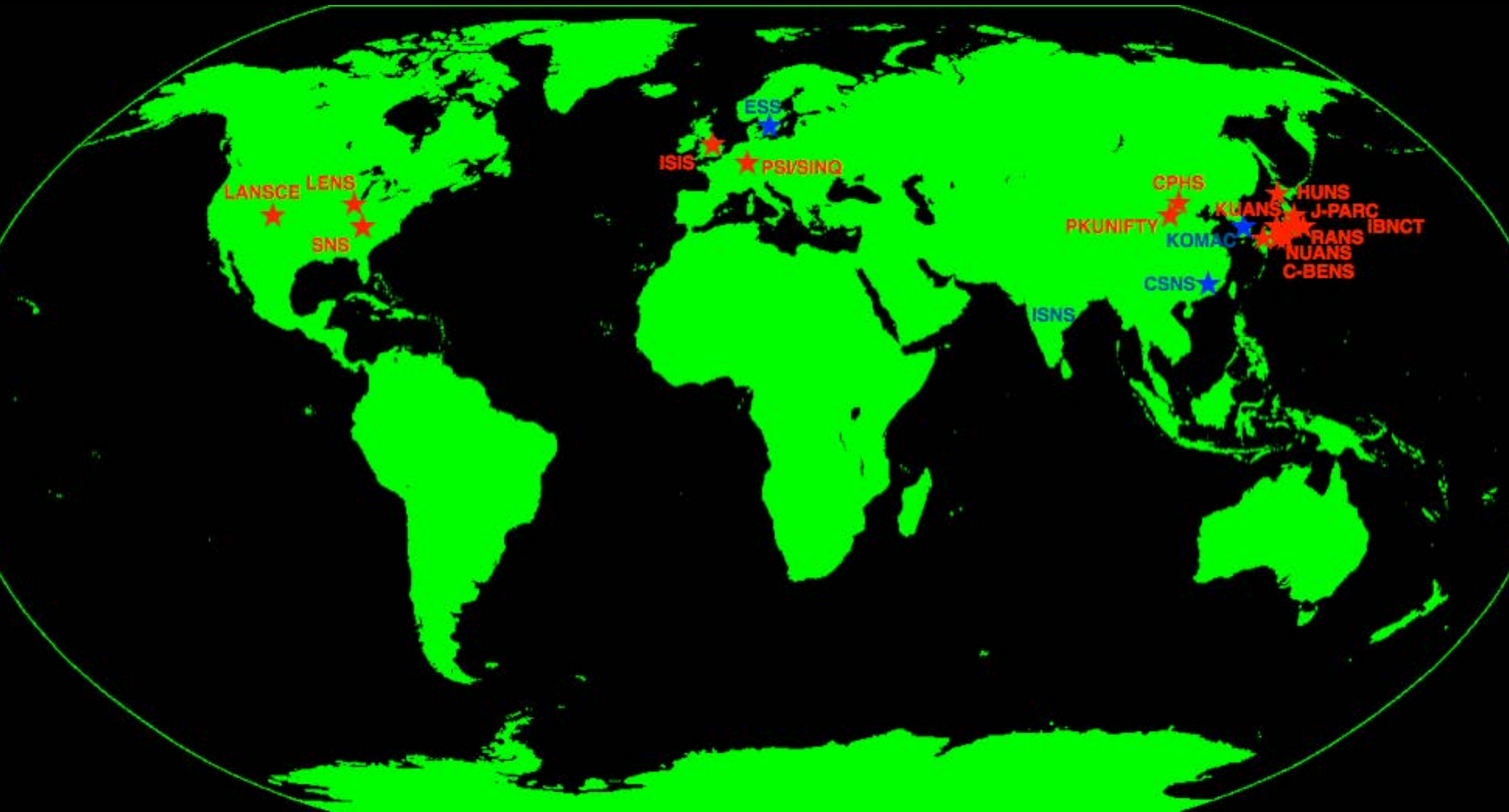
共有すること

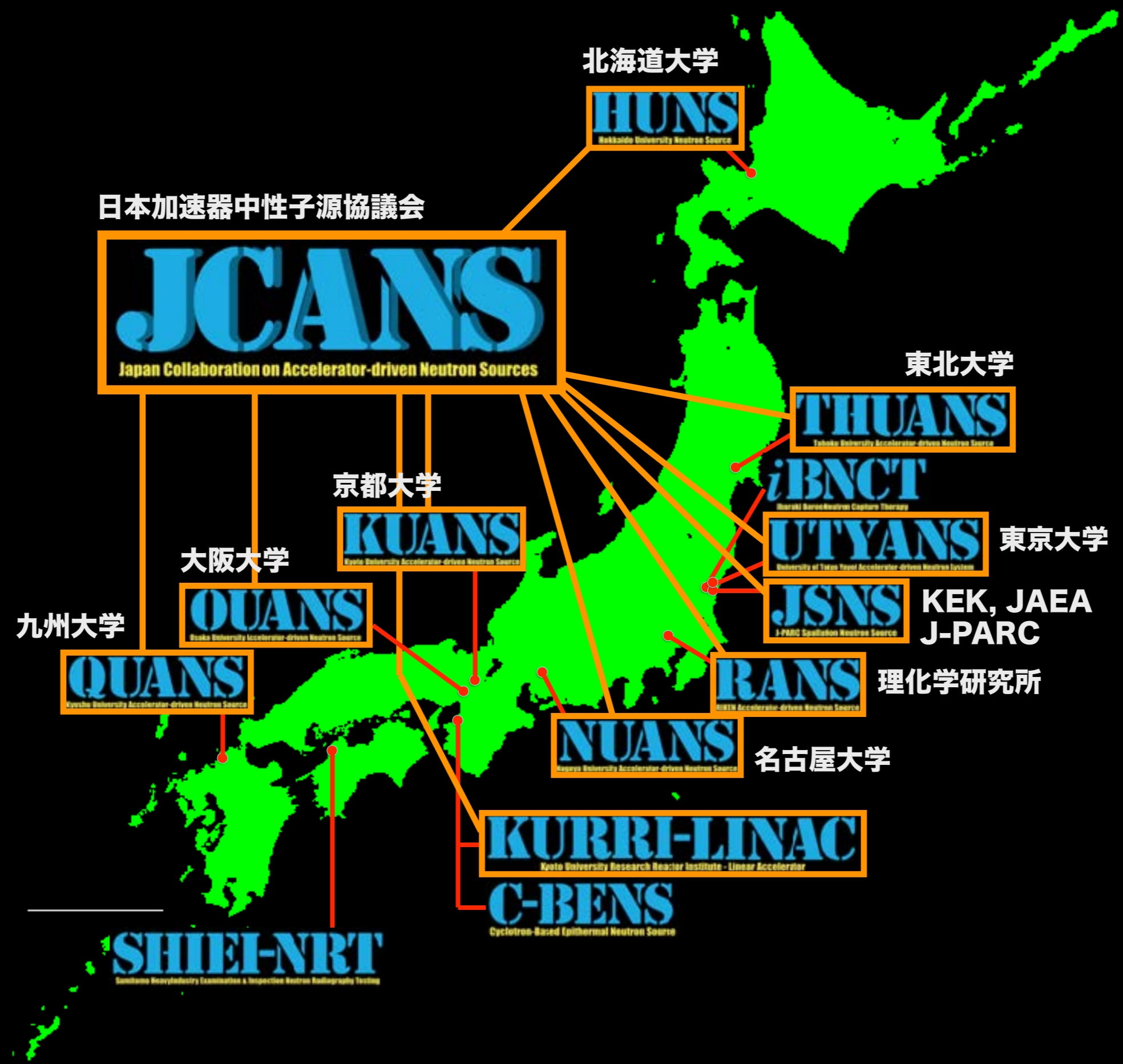
特に「できる」という意味を定量化し共有

\mathcal{I} : interpretation $\sigma(\mathcal{I}; \mathcal{M}; \phi_S)$

UCANS

Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources





日本加速器中性子源協議会



日本中性子科学会基礎基盤部会



定量的な共通言語の確立

九州大学



名古屋大学



KEK, JAEA
J-PARC



理化学研究所

北海道大学



日本加速器中性子源協議会



日本中性子科学会基礎基盤部会



CoNS: Concepts of Neutron Sources

<https://www2.kek.jp/imss/kens/topics/2015/10/201123.html>



日本加速器中性子源協議会



日本中性子科学会基礎基盤部会



CoNS: Concepts of Neutron Sources

<https://www2.kek.jp/imss/kens/topics/2015/10/201123.html>

NOP2017(?)

July 2017

