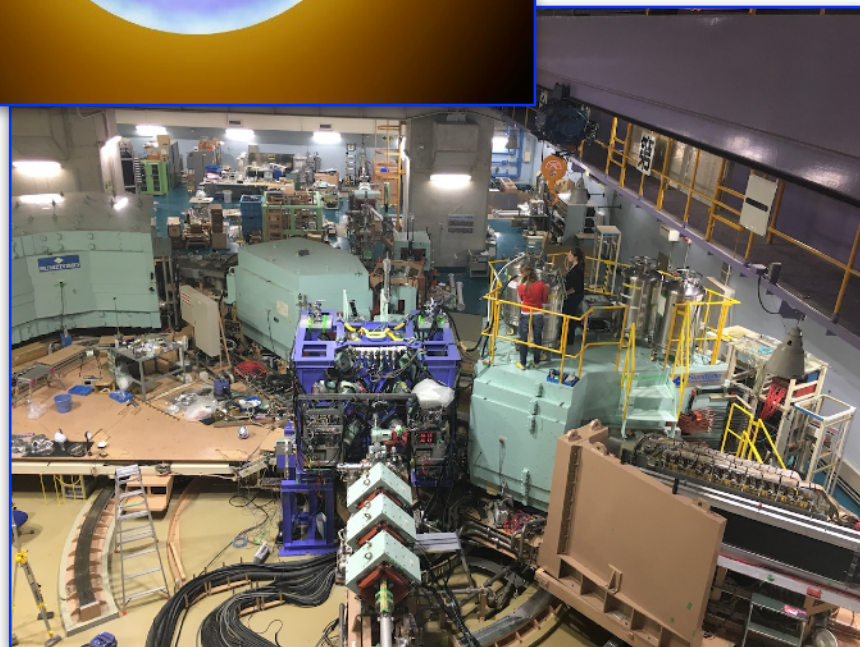
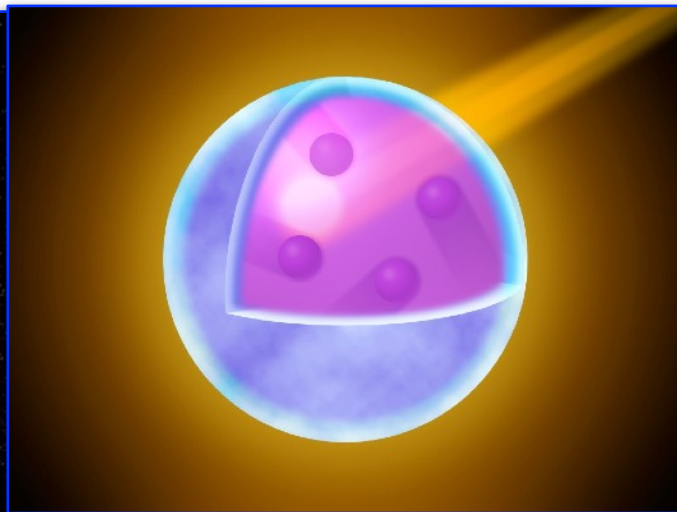
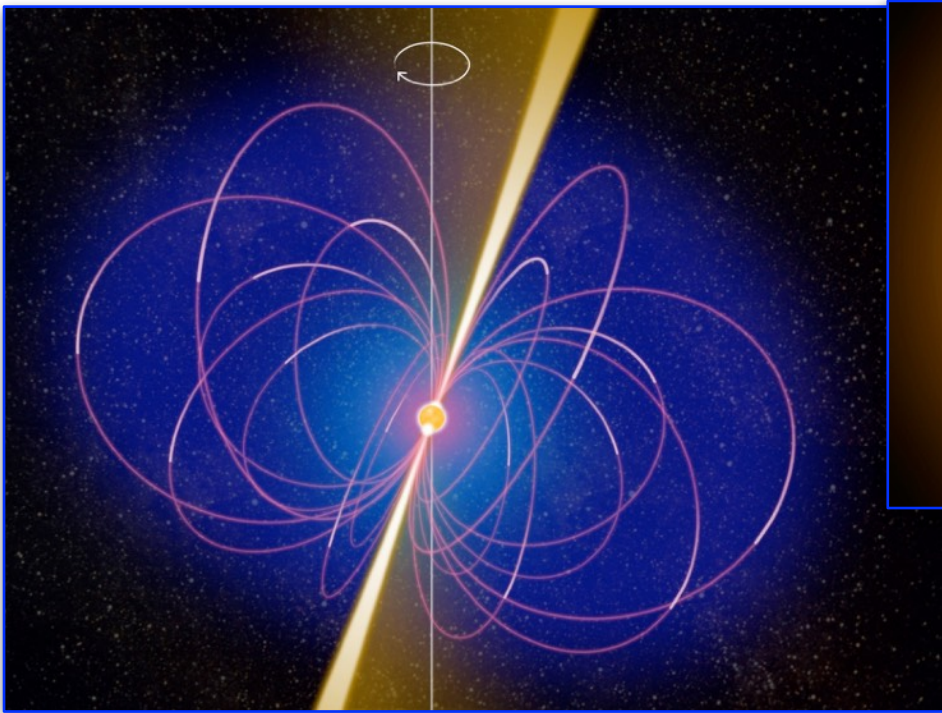


原子核の巨大共鳴と電磁応答



民井 淳

大阪大学核物理研究センター

ノート

氏名、学部・学科、学年、学籍番号を記載

ページ番号
キーワード

疑問点、よく分からなかった点、不思議に
思ったことなど

感想など

左側に授業の中でキーワードとページ番号をメモ。
よく分からなかったこと、疑問に思ったことなど
疑問点を質問する、右側に疑問点を書く。

自身でノートを作っている場合はノー
トを優先し、提出時に疑問的などを
記載してください。

Menti

menti.com: 1298 4808

内容に関する質問（1日目と同じ）

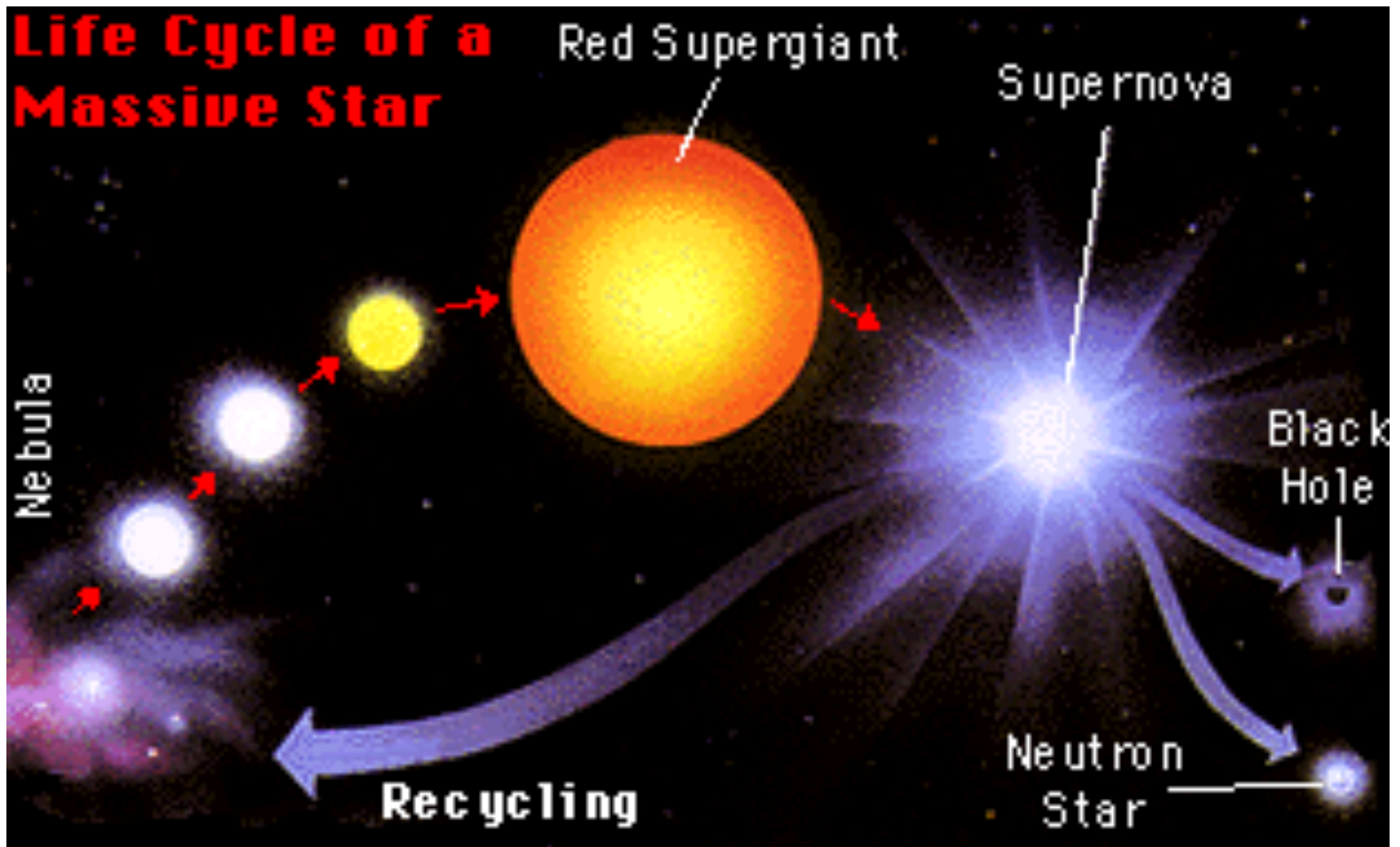


講義中自由に質問してください

前回の講義の質問回答 (別スライドにて)

VII 原子核物質の状態方程式

中性子星



Langanke and Martinez-Pinedo

A. Tamii, Intense Lectures @ Tohoku Univ. 2026.9.28-30

Supernova Cycle

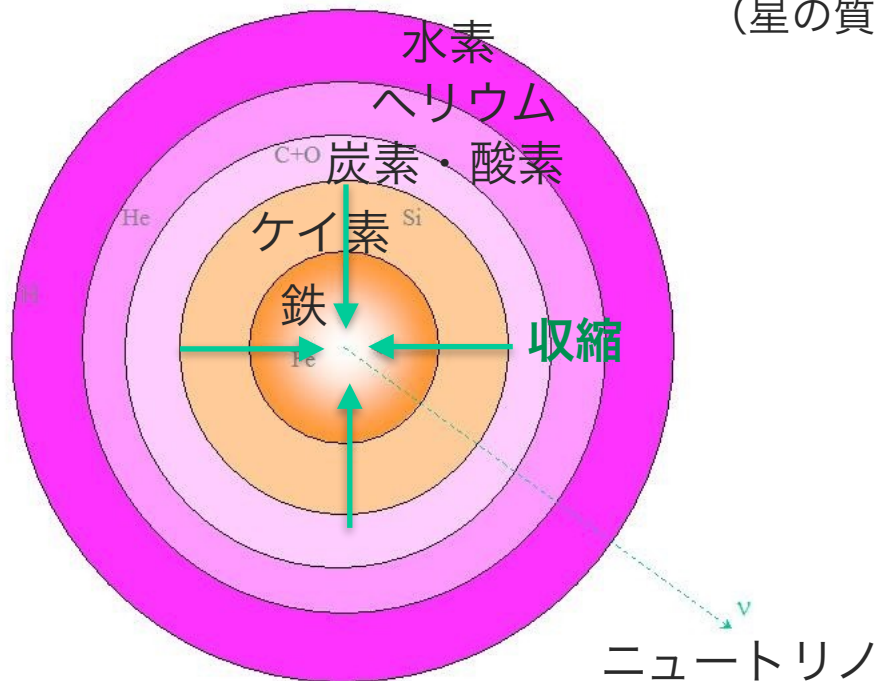
物質の中性子への転換→超新星爆発



星が燃え尽きた時：重い星では

全ての物質が中性子に変わっていく

(星の質量>チャンドラセカル限界～太陽の1.4倍)



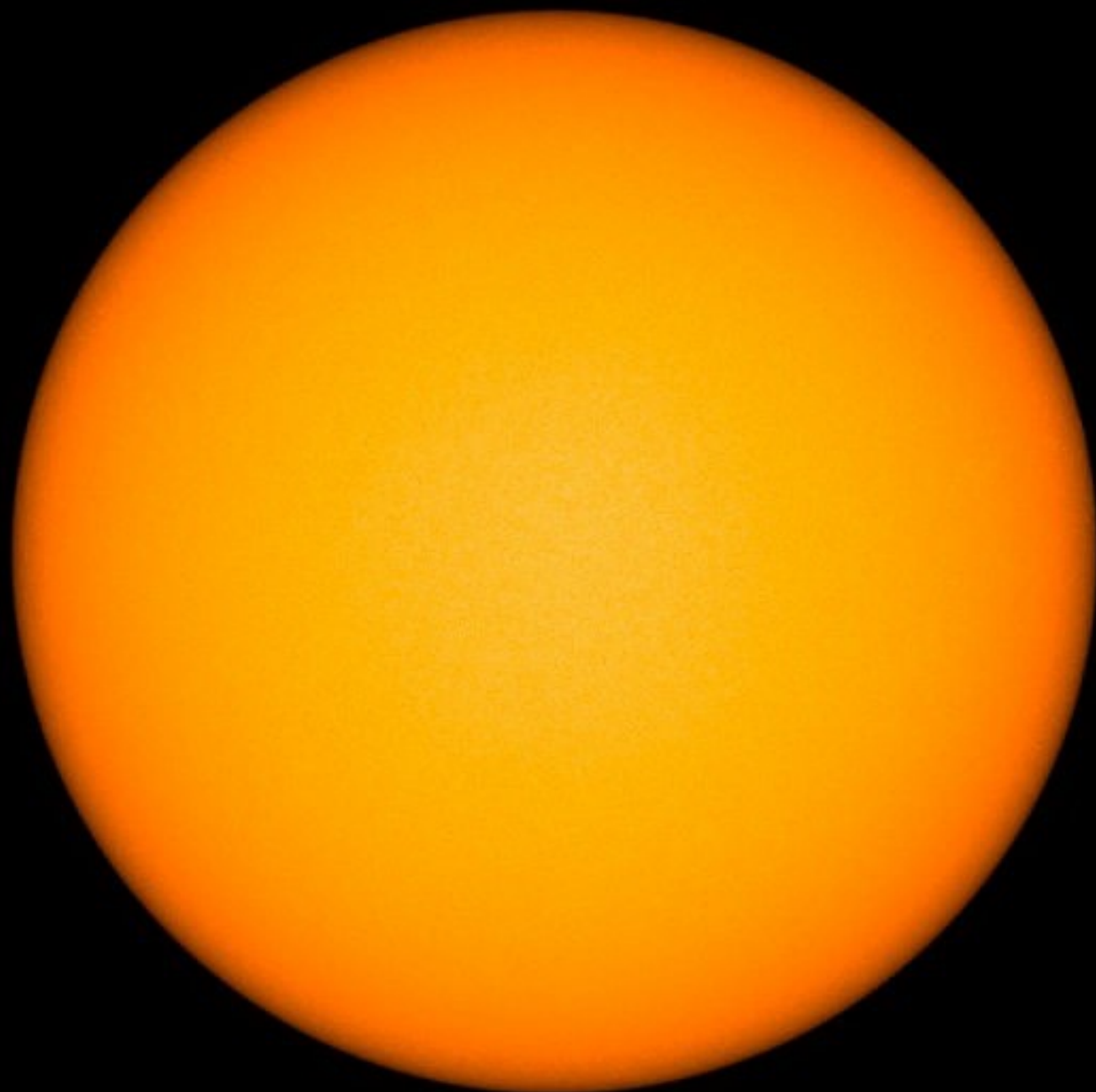
重力崩壊型超新星爆発



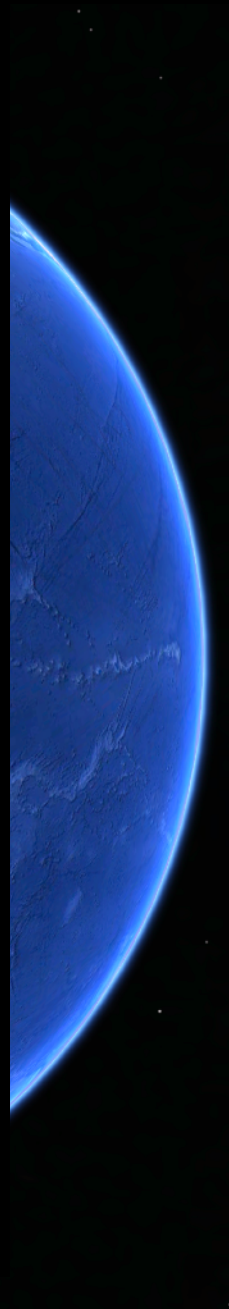
超新星爆発 SN1987A

中心に中性子星かブラックホールが残る。

中性子星質量 > トルマン・オッペンハイマー・ヴォルコフ限界



太陽





Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image IBCAO
Image Landsat / Copernicus

Google Earth

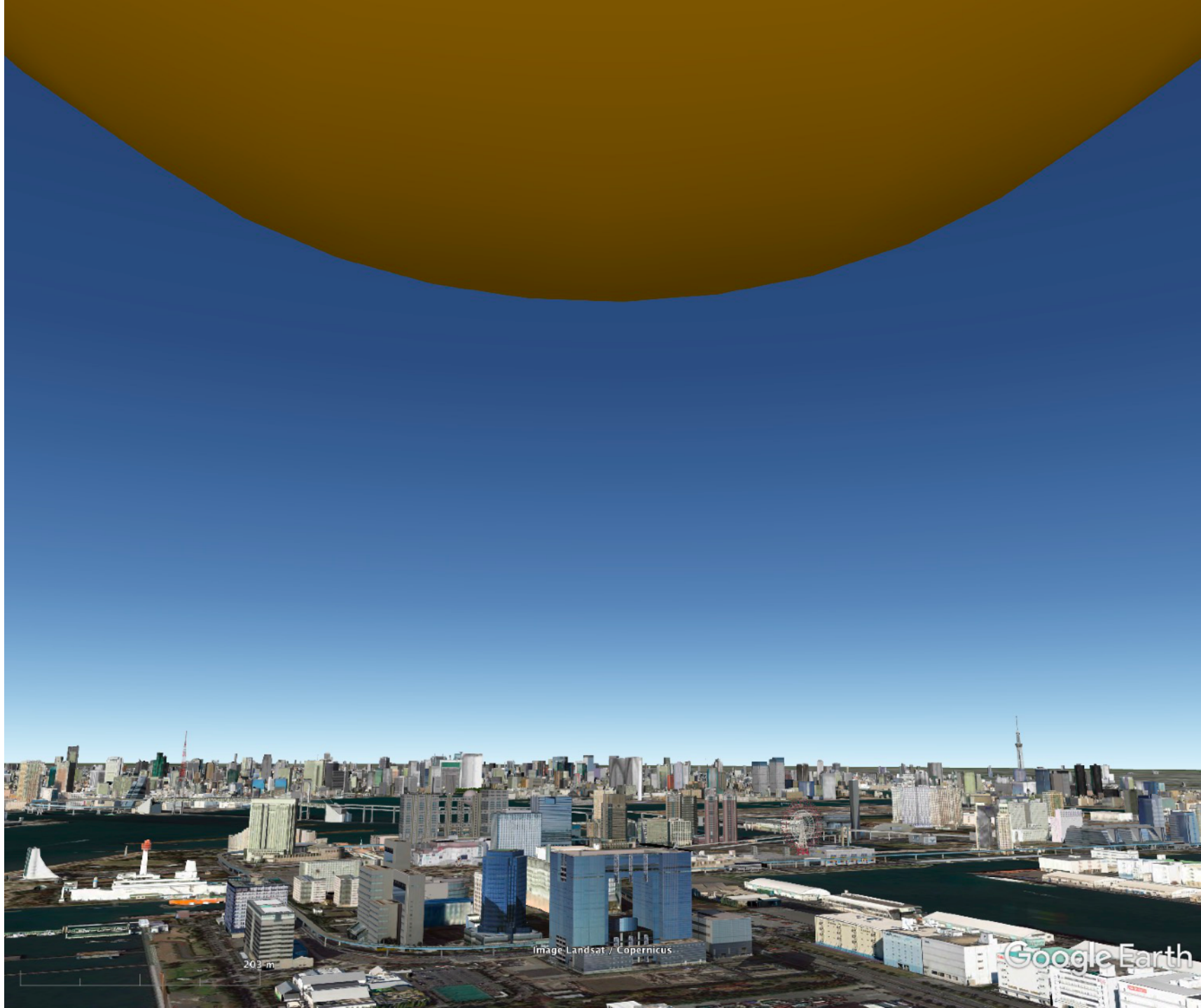
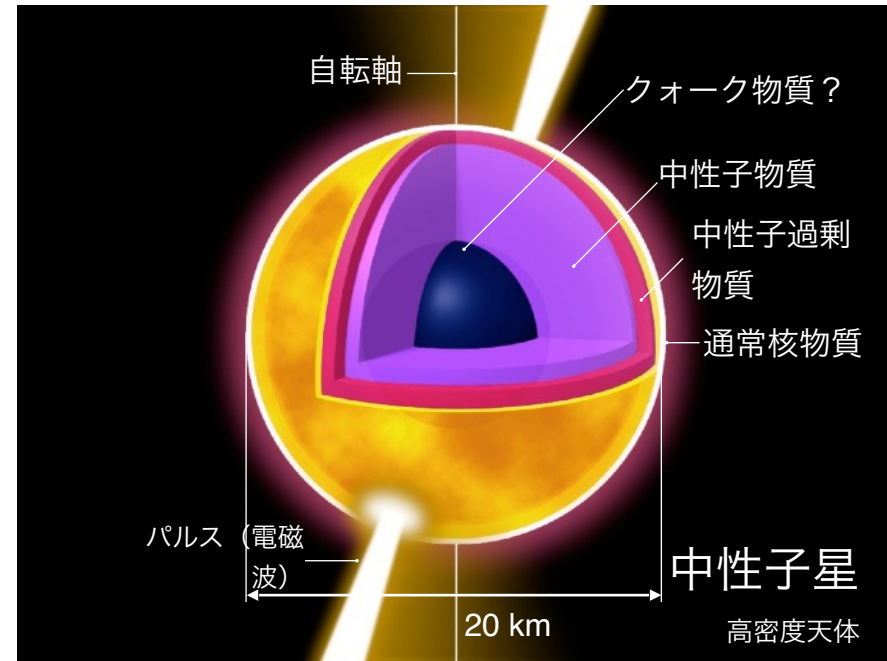
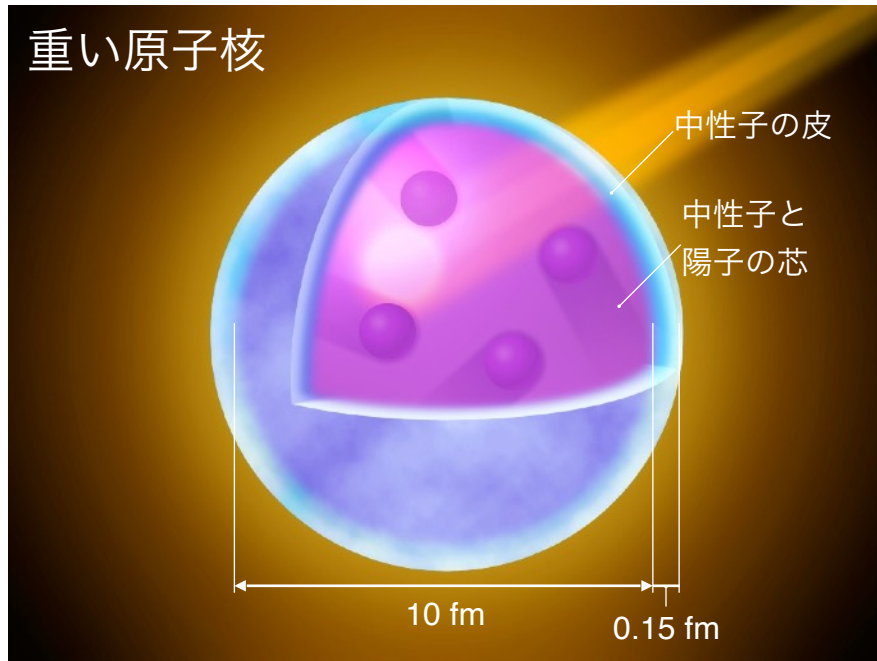


Image Landsat / Copernicus

Google Earth

203 m

中性子星は巨大な原子核



10^{18} 倍

中性子星って、どんなの？

大きさ: 半径 ~12km

重さ: 太陽くらい

密度: 10億トン/cm³

重力: 地上の6億倍

時間の速度: 地上より20%遅い

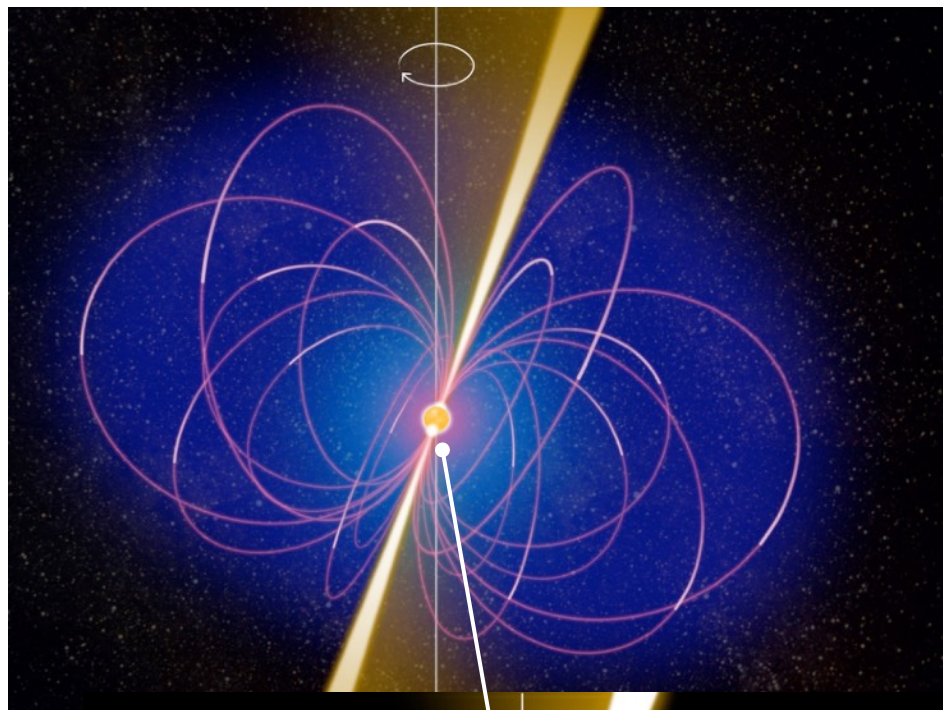
温度: 100万度

磁場: 10⁸ ~ 10¹⁶ ガウス

回転速度: 毎秒 0.01 ~ 1000 回転

極めて周期的な電磁パルスを出す天体（パルサー）。

人類の最高精度の時計よりも正確な天体も！



中性子星

大部分が中性子からなる巨大な原子核物質

Fundamental Questions:

中性子星の大きさ、堅さはどのくらいか？

中性子の中はどうなっているのか？

陽子や電子はどの程度存在するのか？

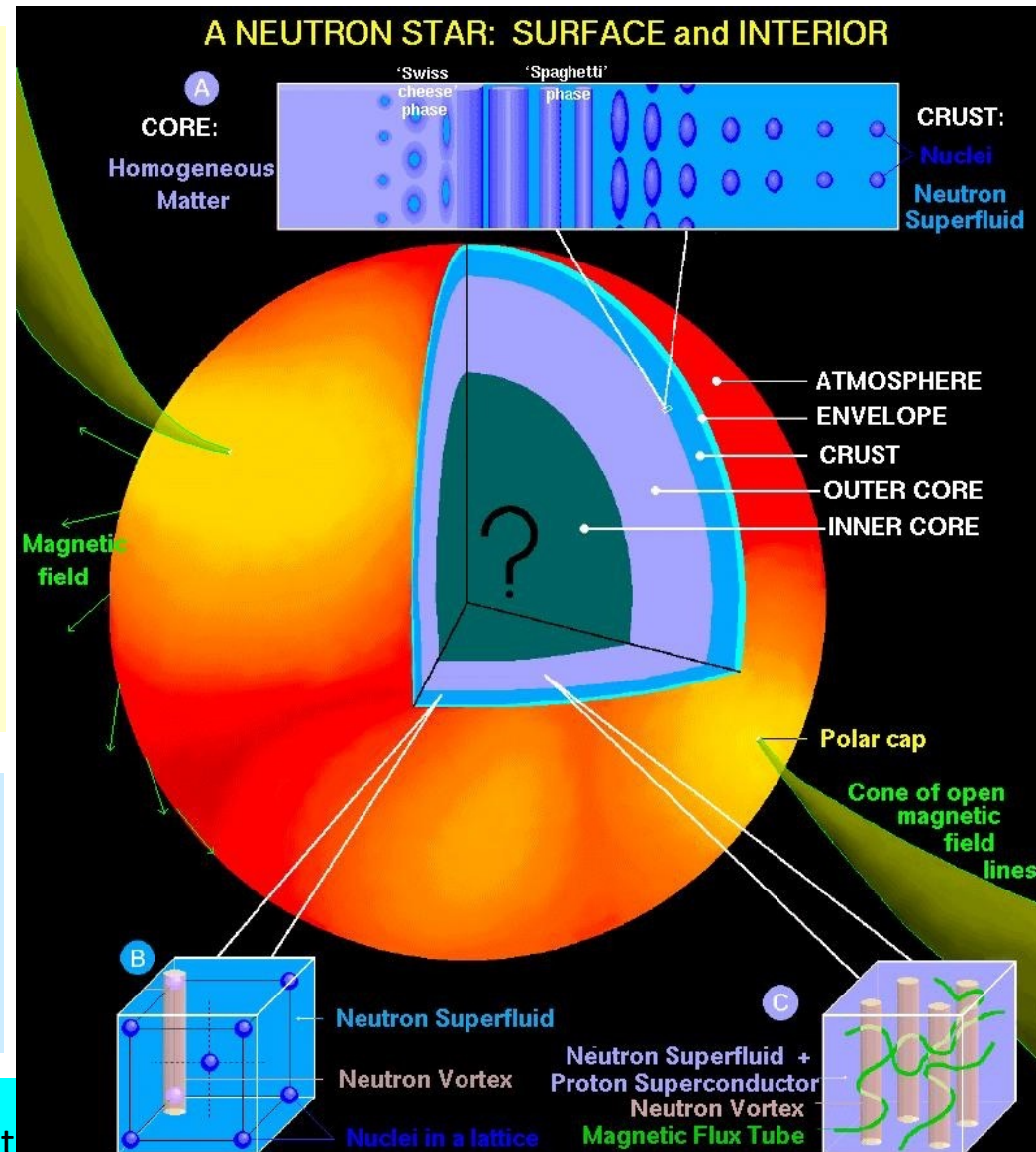
その構造は？

中間子凝縮層があるのか？ハイパー核は存在するのか？

極めて強い磁場を作る機構は？

これらを理解（モデル計算）するためには、原子核の状態方程式に関する正確な知識が必要。

特に中性子過多（非対称）物質について。



状態方程式

Equation of State (EOS)

原子核物質の状態方程式

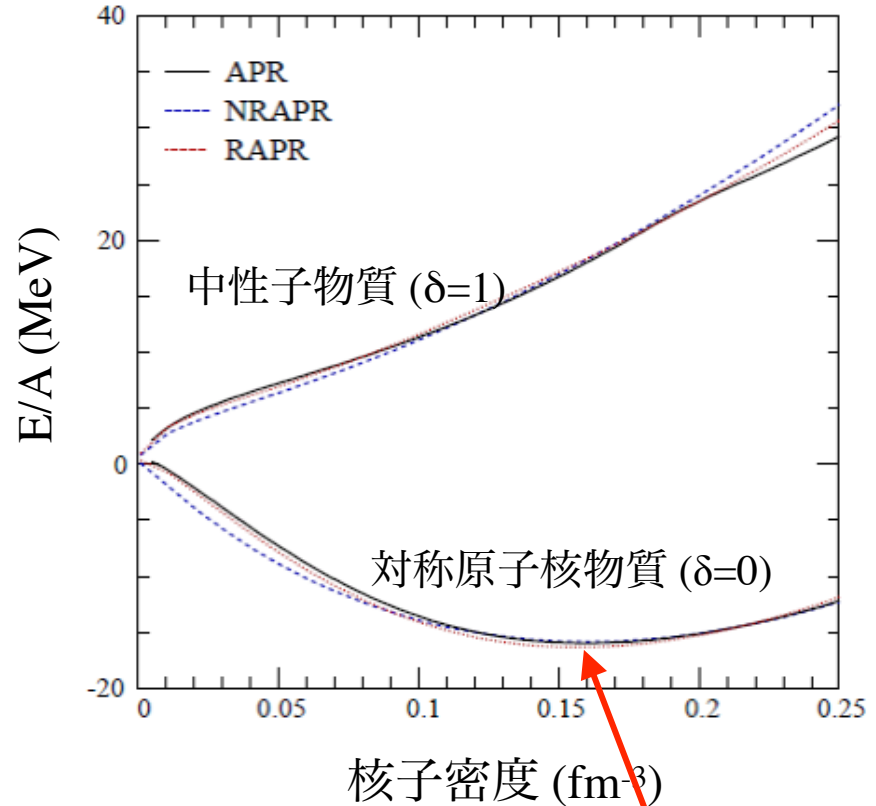
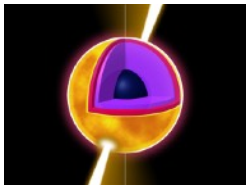
温度 ~ 0

核子で構成される無限に大きい
一様密度の仮想物質（核物質）
の性質として定義される
(ハイペロンを含む場合も)

非対称度

$$\delta \equiv \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho_n + \rho_p}$$

中性子星



原子核物質の性質を知りたい

状態方程式

熱力学

状態量: 平衡状態毎に一意に決まる値

(モル数、圧力、温度、体積、エントロピー、...)

状態方程式:

系の状態量の間になり立つ関係式

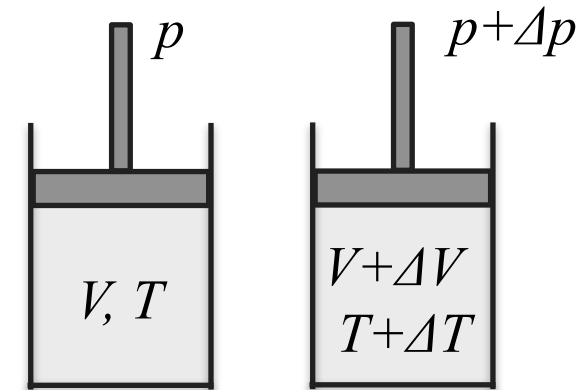
対象とする物質によって異なる

理想気体の状態方程式: $p = f(n, V, n) = \frac{nRT}{V}$

系の微小な変化を与える

→ 系の反応=応答(response)を観測する

$$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp} \right)_S : \text{断熱圧縮率}$$



平衡状態

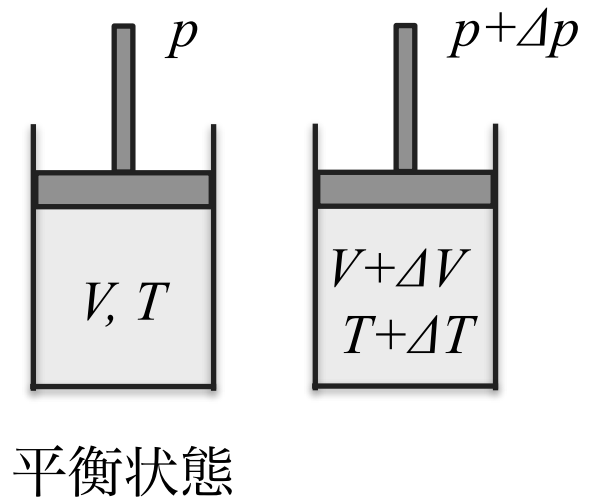
原子核物質の性質を知りたい 状態方程式

熱力学

系の微小な変化を与える

→ 系の反応(response)を観測する

$$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp} \right)_S : \text{断熱圧縮率}$$

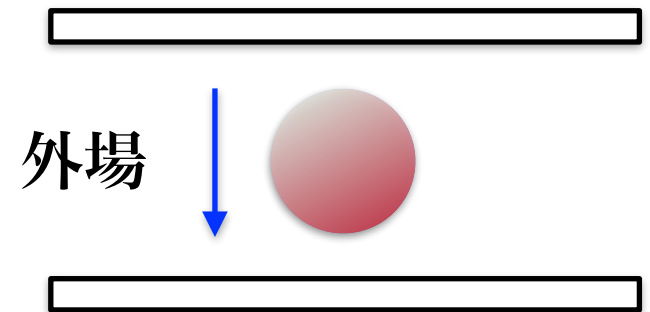


原子核物質の状態方程式

外場により微小変化を与える

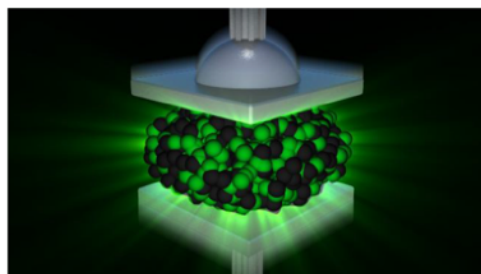
システムの状態変化を観測する

核の応答 (nuclear response)

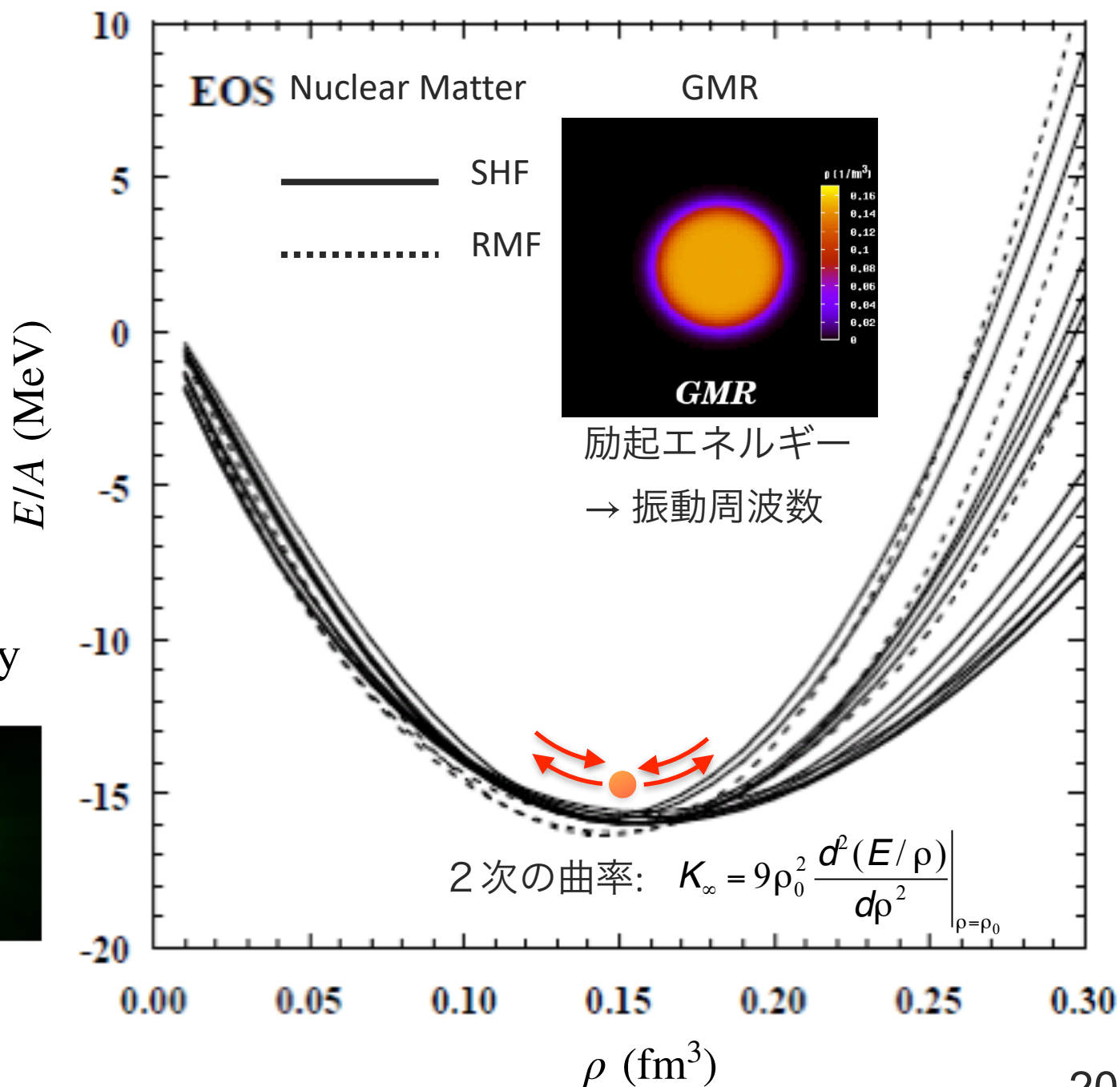


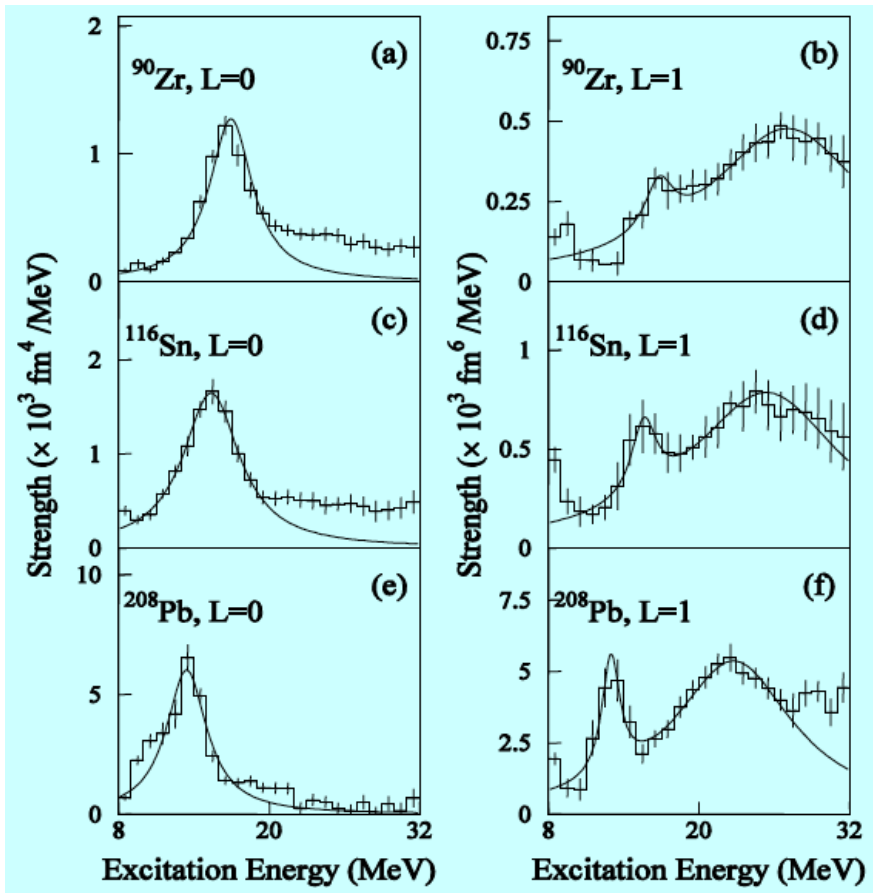
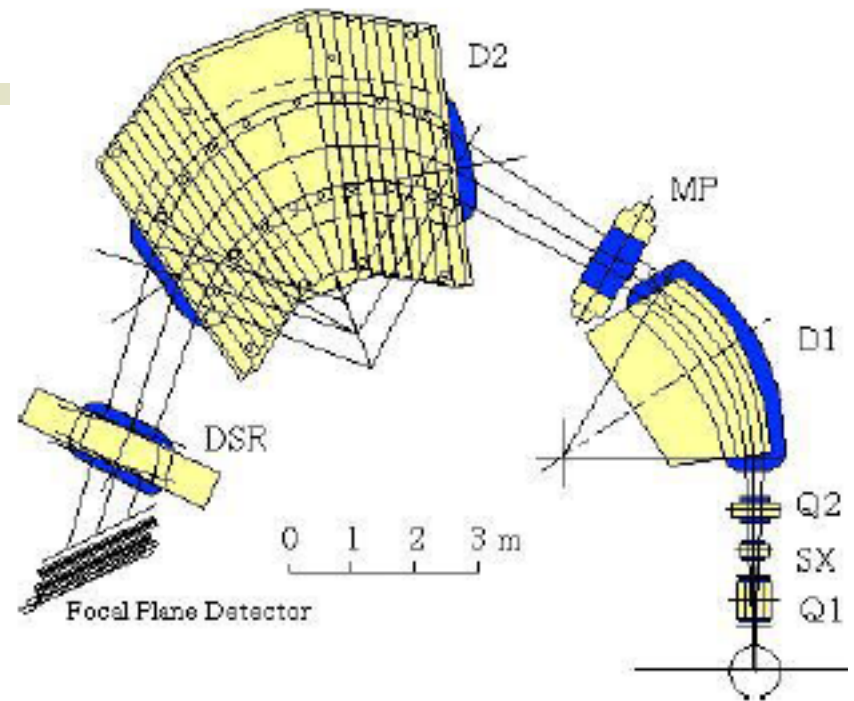
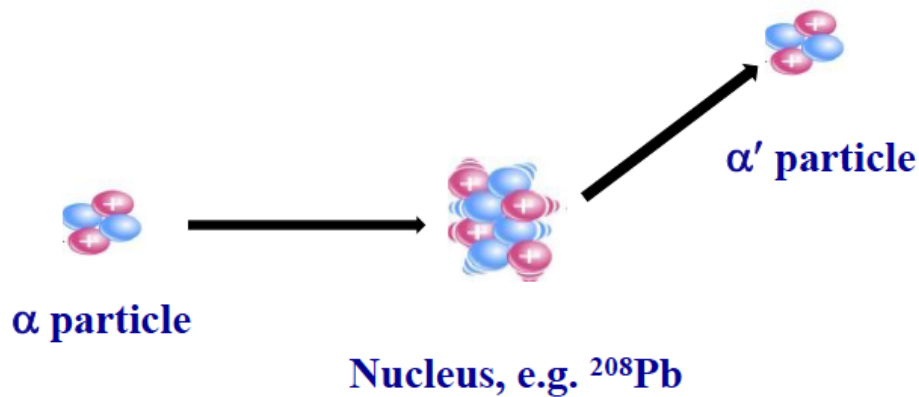
例: 原子核の膨張圧縮振動

nuclear
incompressibility

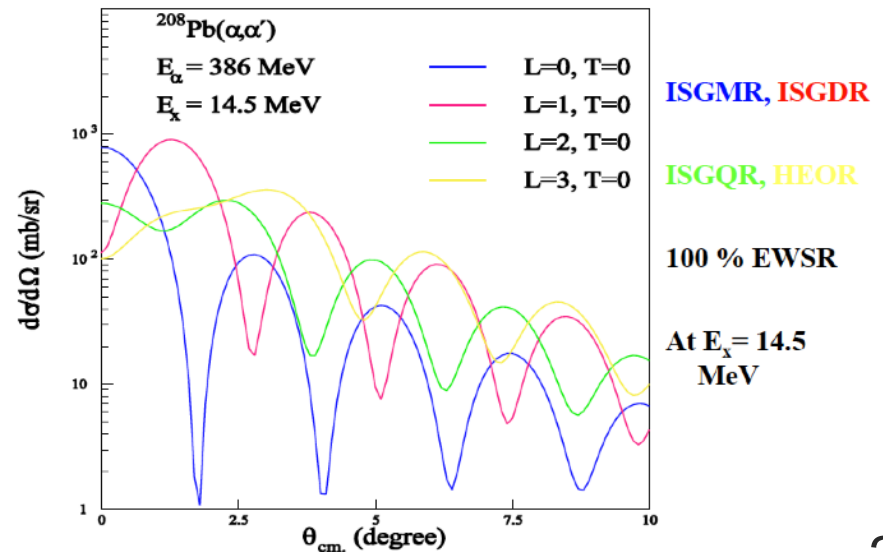


※この図はややミス
リーディング...





Grand Raiden@

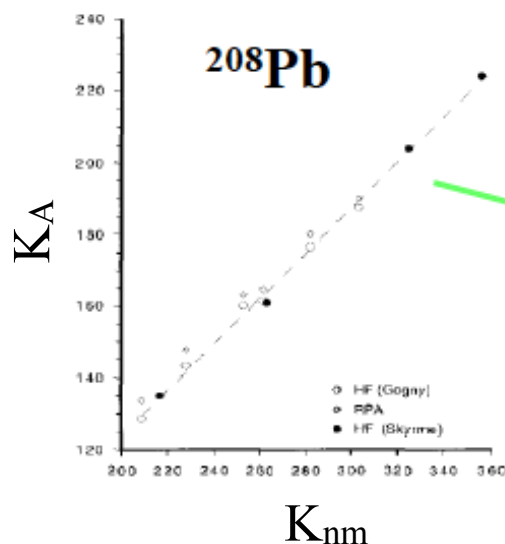


E/A : binding energy per nucleon

K_A : incompressibility

ρ : nuclear density

ρ_0 : nuclear density at saturation



K_A is obtained from excitation energy of ISGMR

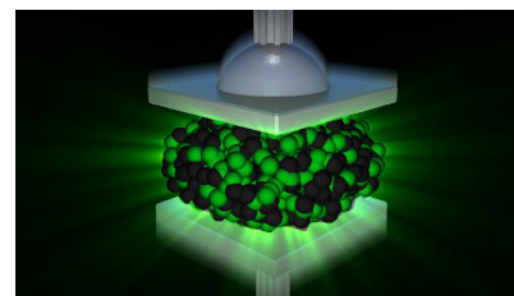
$$K_A = 0.64K_{nm} - 3.5$$

J.P. Blaizot, NPA591 (1995) 435

From GMR data on ^{208}Pb and ^{90}Zr ,

$$K_\infty = 240 \pm 10 \text{ MeV}$$

[See, e.g., G. Colò *et al.*, Phys. Rev. C 70 (2004) 024307]



原子核物質の状態方程式 Equation of State (EOS)

温度 ~ 0

状態方程式 (クーロン力を無視)

$$\frac{E}{A}(\rho, \delta) = \frac{E}{A}(\rho, 0) + S(\rho)\delta^2 + \dots$$

$$\delta \equiv \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho_n + \rho_p} \quad \text{非対称パラメータ}$$

対称エネルギー

$$S(\rho) = \underbrace{J}_{S_0} + \frac{\underbrace{L}}{3\rho_0}(\rho - \rho_0) + \dots$$

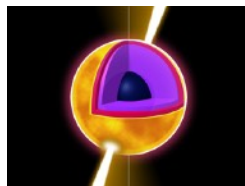
原子核



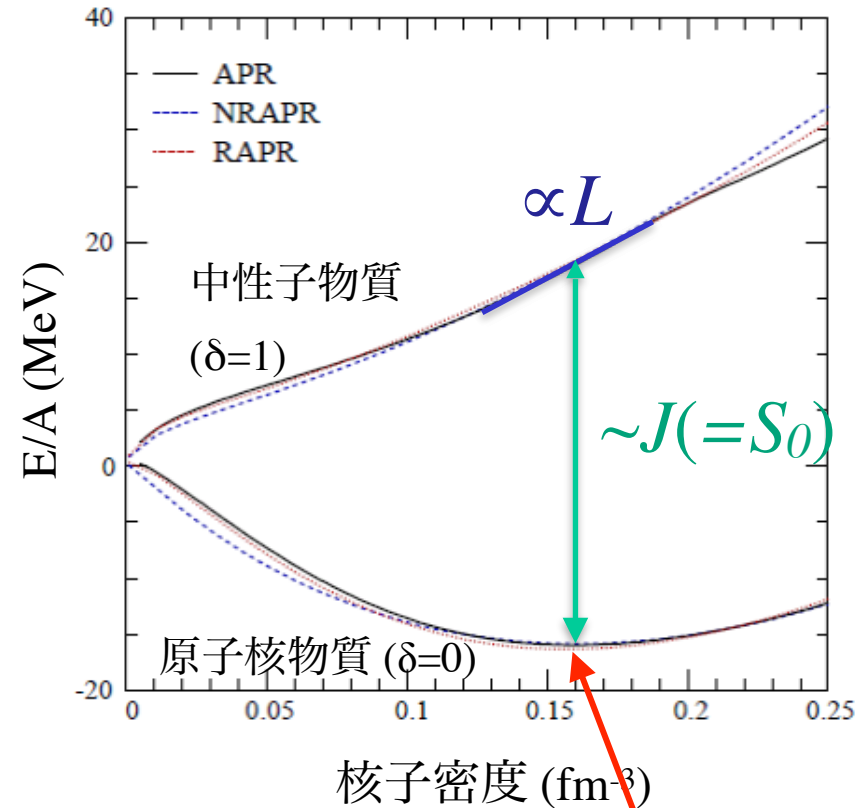
$$Z \lesssim N$$



中性子星



$$Z \ll N$$

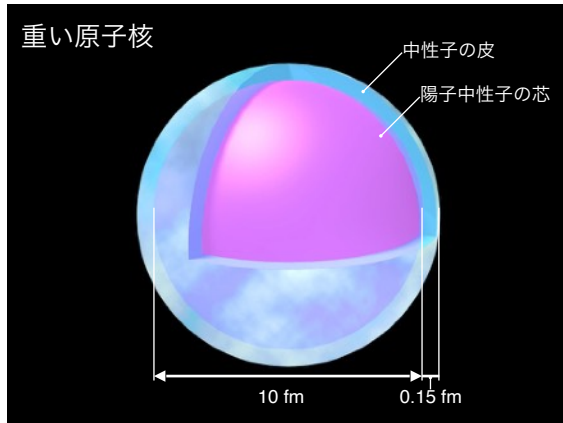


飽和密度 ρ_0

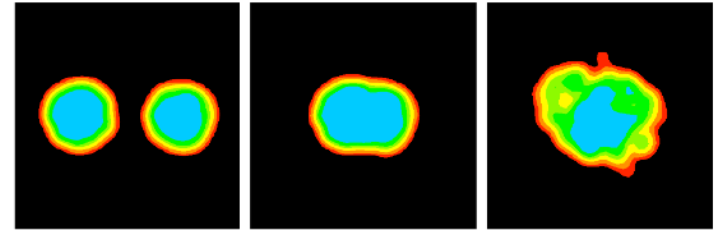
$$\sim 0.16 \text{ fm}^{-3}$$

原子核の状態方程式:対称エネルギー

陽子中性子密度分布 中性子スキン

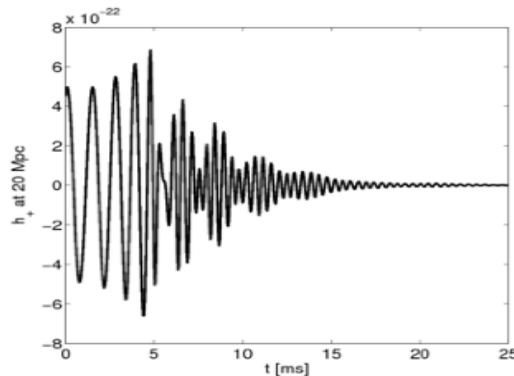


重イオン衝突過程



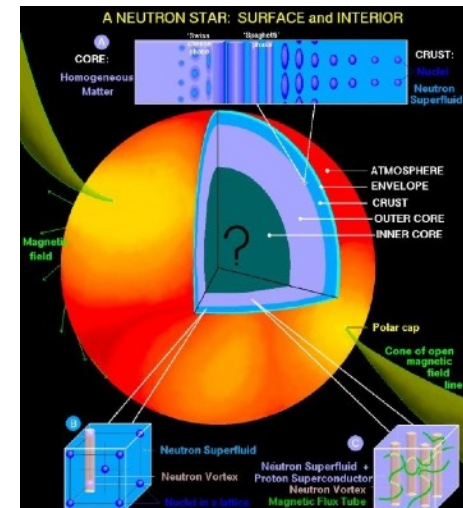
AMD by A. Ono

中性子星連星結合時の重力波

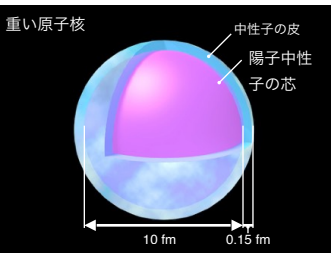


A. Bauswein et al.

中性子星の構造



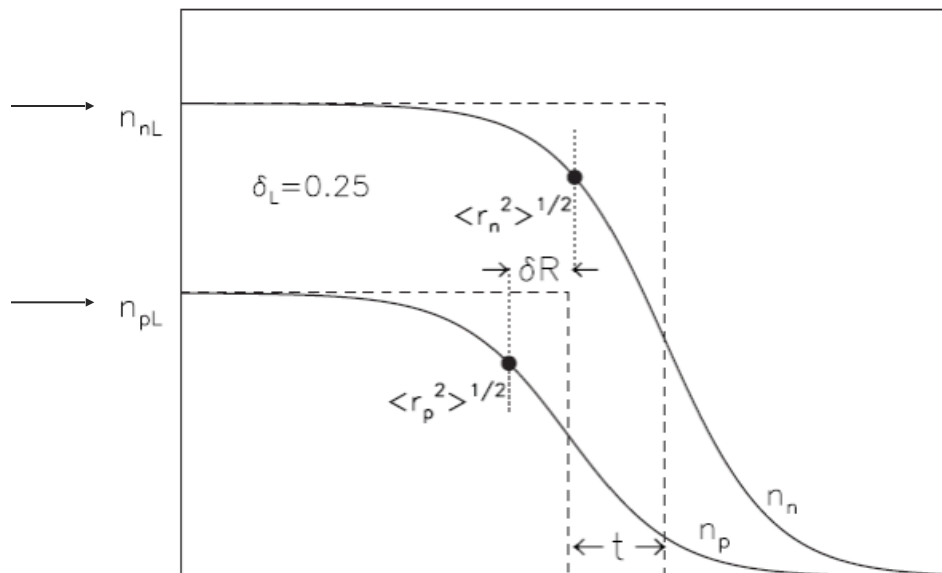
<http://www.astro.umd.edu/~miller/nstar.html>



中性子スキンと対称エネルギー

中性子密度

陽子密度



中心部（密度大）で中性子密度と陽子密度を同じにしたい（エネルギー減少）！



中性子スキンが大きくなる

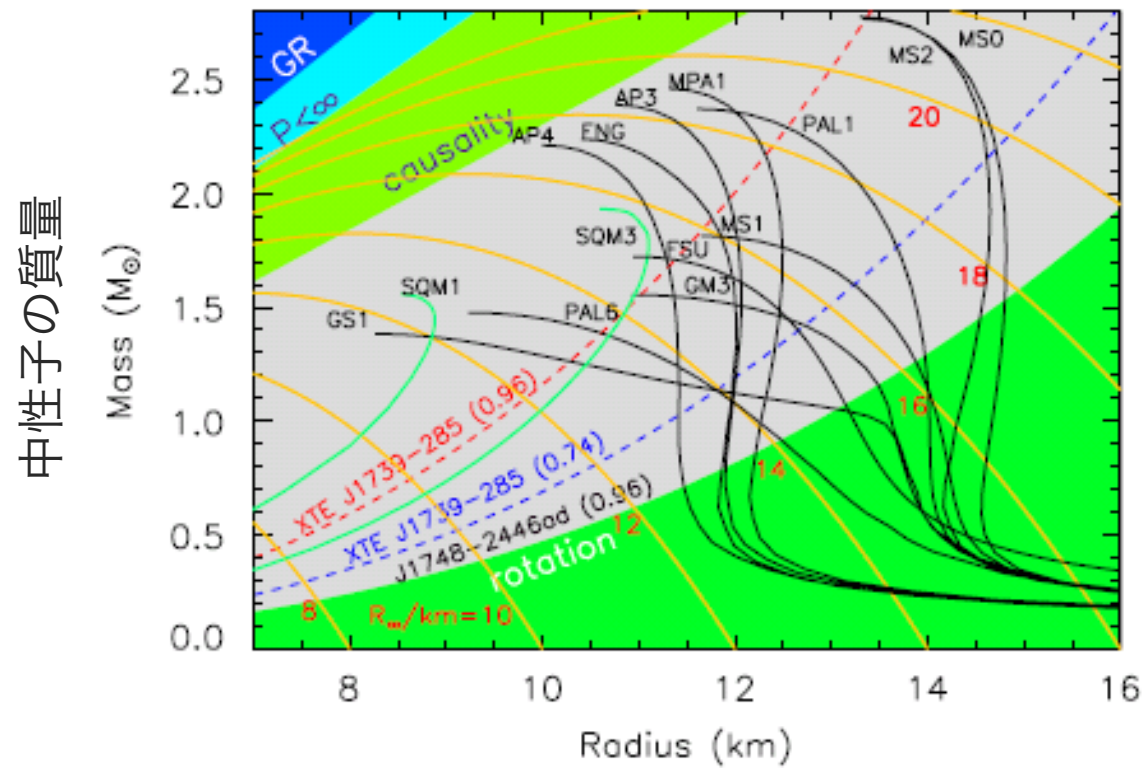


表面部（密度小）で中性子密度と陽子密度差が大きくなる（エネルギー増加）！

この差 t が中性子スキンの厚さ
中性子半径
陽子半径

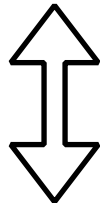
密度大部と密度小部の対称エネルギーの違い＝対称エネルギーの密度依存性（ L ）で中性子スキン厚(t)が決まる。
 $\Leftrightarrow t$ が決まれば L も決まる。

中性子星の質量-半径の関係と状態方程式



中性子星の質量と半径の関係

Lattimer et al., Phys. Rep. 442, 109(2007)



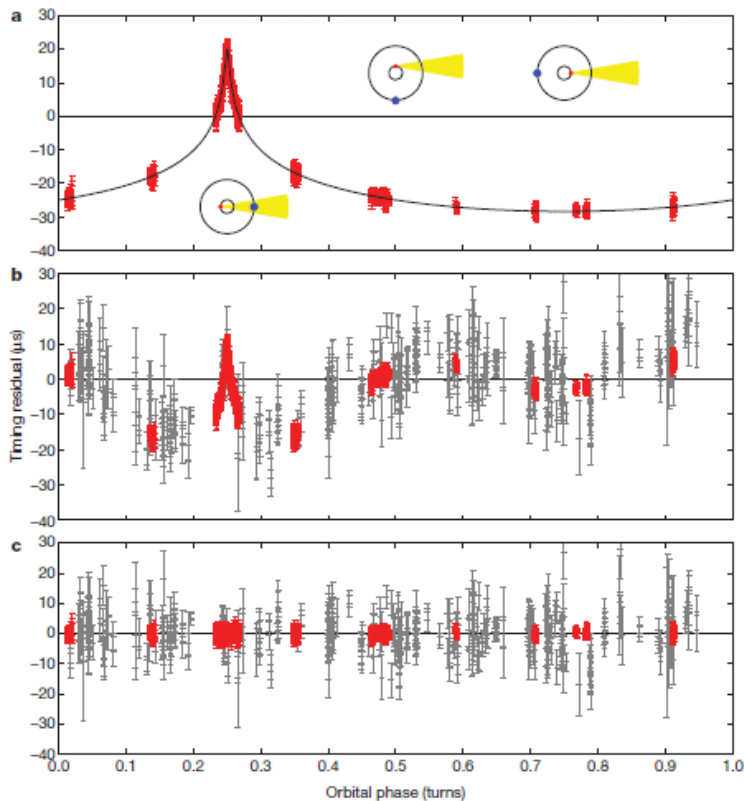
一方が分かるともう一方が分かる。

中性子物質の状態方程式

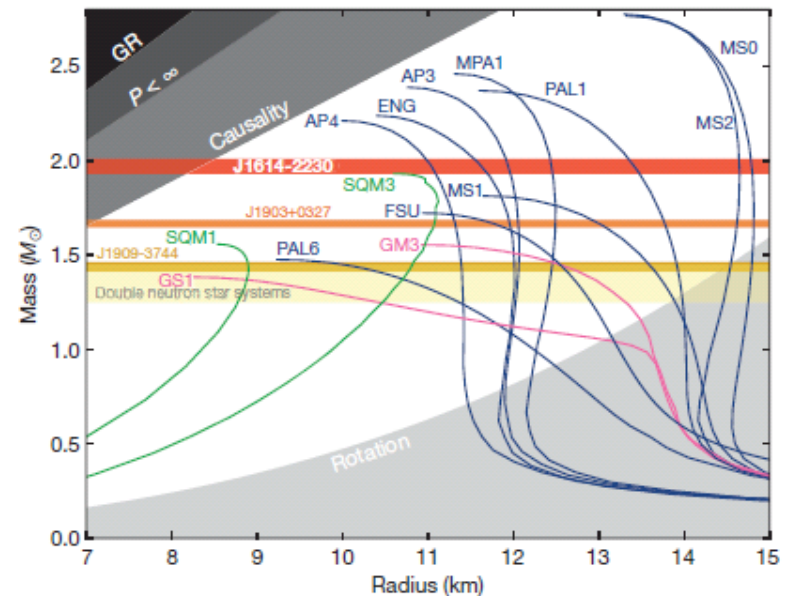
Observation 太陽の2倍の質量の中性子星を観測

従来のストレンジネスを入れた状態方程式モデルでは説明できない。

$(1.97 \pm 0.04)M_{\odot}$ inclination:
 $89.17 \pm 0.02^{\circ}$



P.B. Demorest et al., Nature 467, 1081(2010)



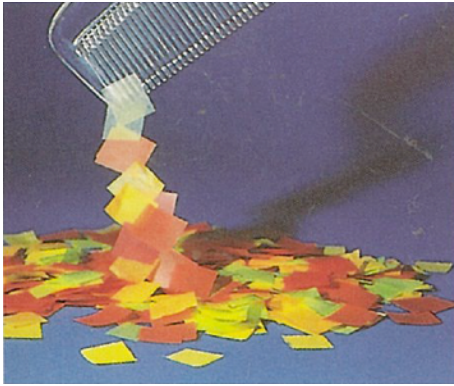
Blue: nucleons

Pink: nucleons and exotic matter

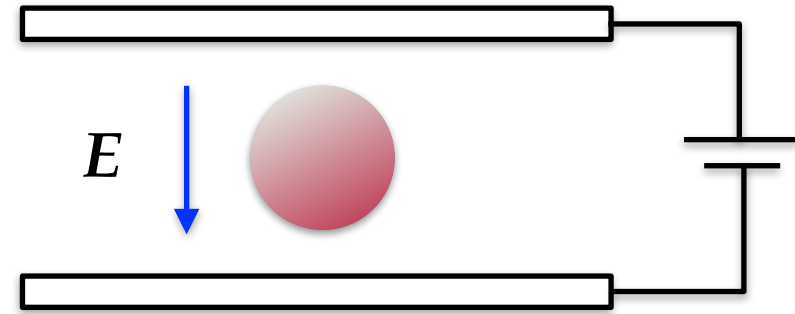
Green: strange quark matter

Observation of **Shapiro-delay** of pulsar signals of a neutron star - white dwarf binary.

原子核の電氣的応答: 電氣分極



電氣分極
(誘電分極)



$$p = \alpha_D E$$

p : 電氣双極子モーメント

α_D : 電氣分極率 (electric dipole polarizability)



復元力:

対称エネルギー

核物質の外電場による変化

→ 電氣応答

→ 状態方程式

中性子と陽子の密度のアンバランスから生じるエネルギー。陽子を中性子に置き換えればどれだけエネルギーが増えるか

= 陽子と中性子の化学ポテンシャルの差

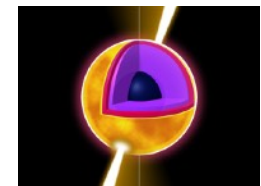
原子核



$Z \lesssim N$

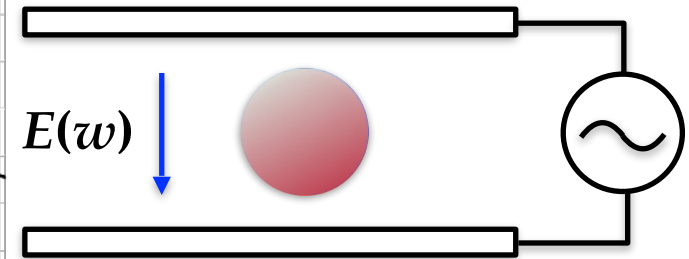
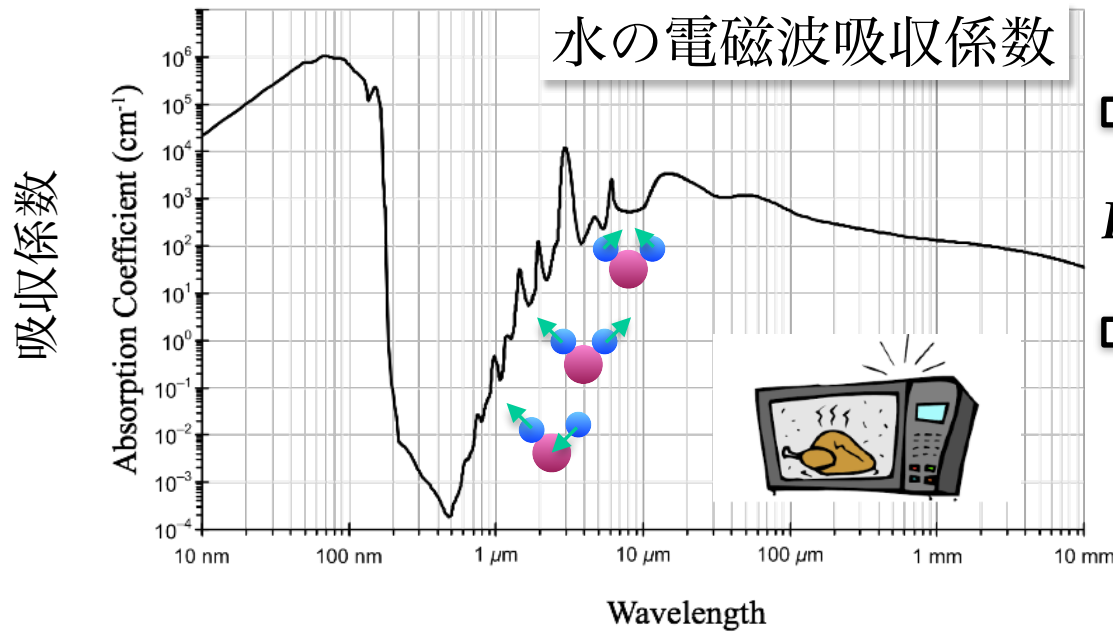


中性子星



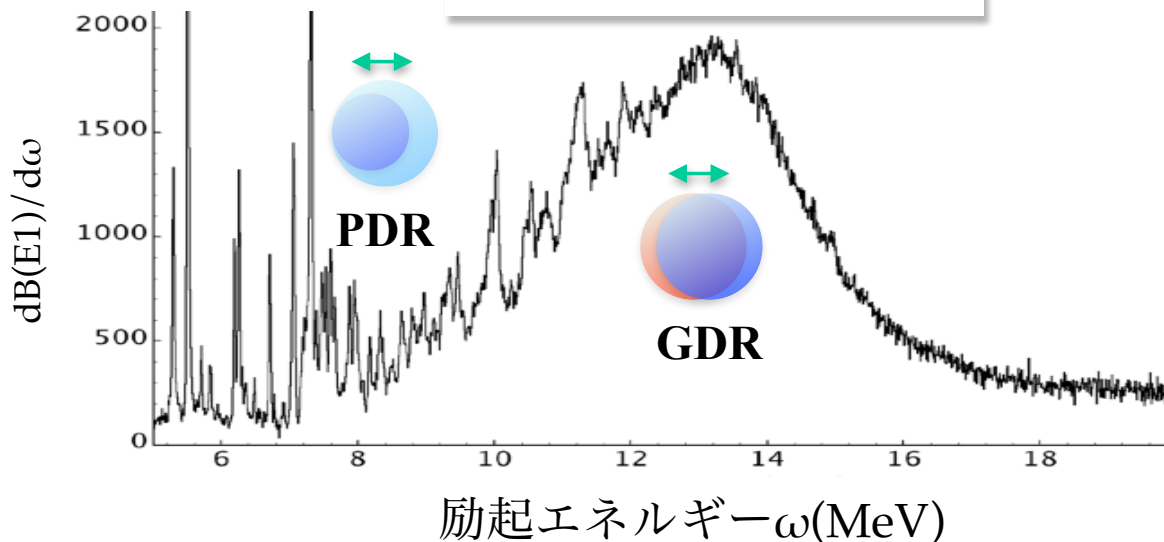
$Z \ll N$

光吸収断面積から分極率を決める



振動電場中の誘電体

^{208}Pb 核の光吸収断面積



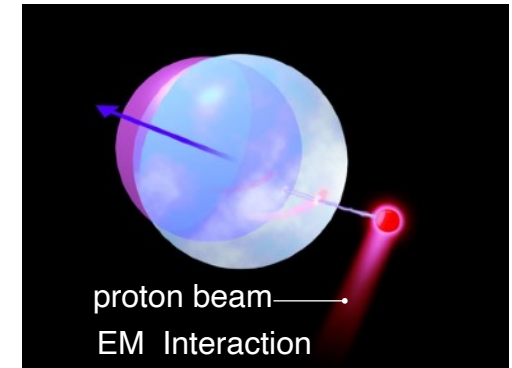
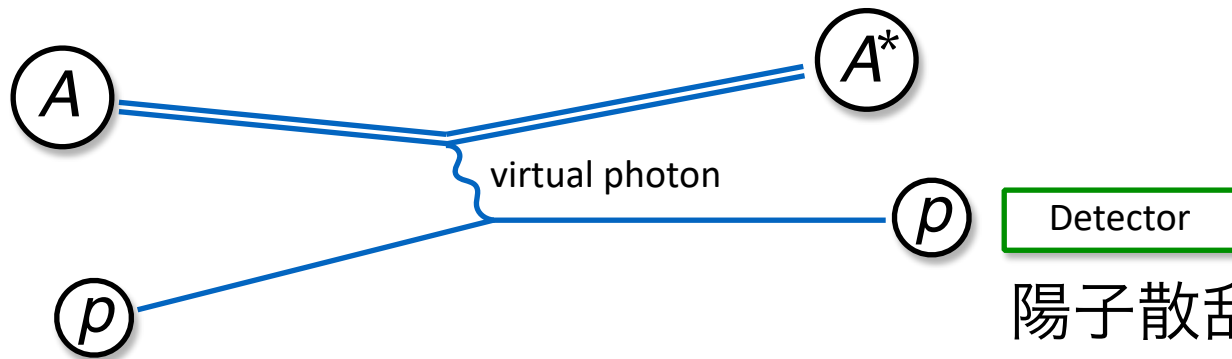
電気分極率

$$\alpha_D = \frac{8\pi e^2}{9} \int \frac{dB(E1)}{\omega}$$

A.B. Migdal: 1944

陽子散乱で原子核の電氣的応答を測る

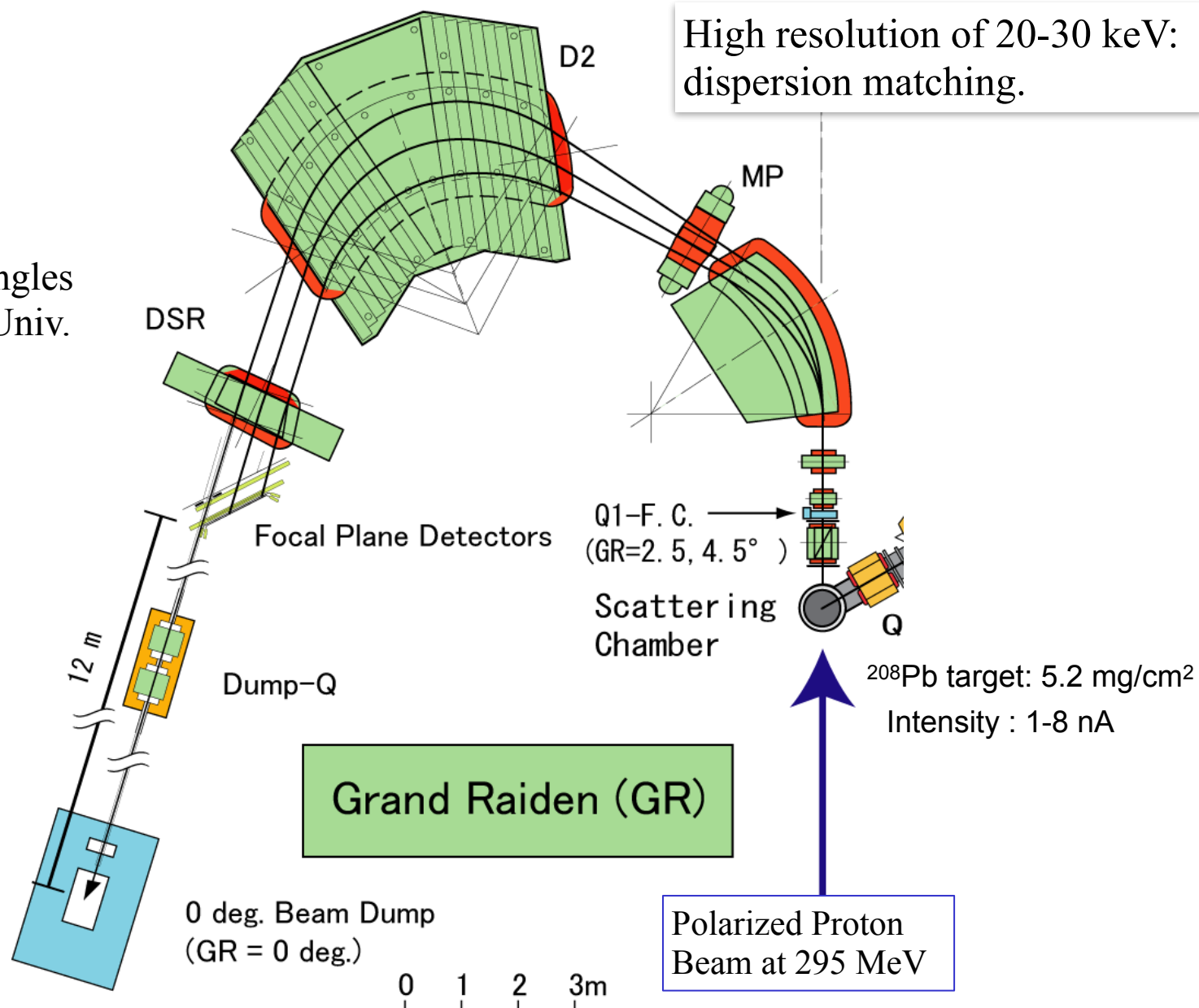
仮想光子による原子核の励起:
超前方陽子散乱(0°)



陽子散乱のみを検出する
→ Inclusive測定(全強度)

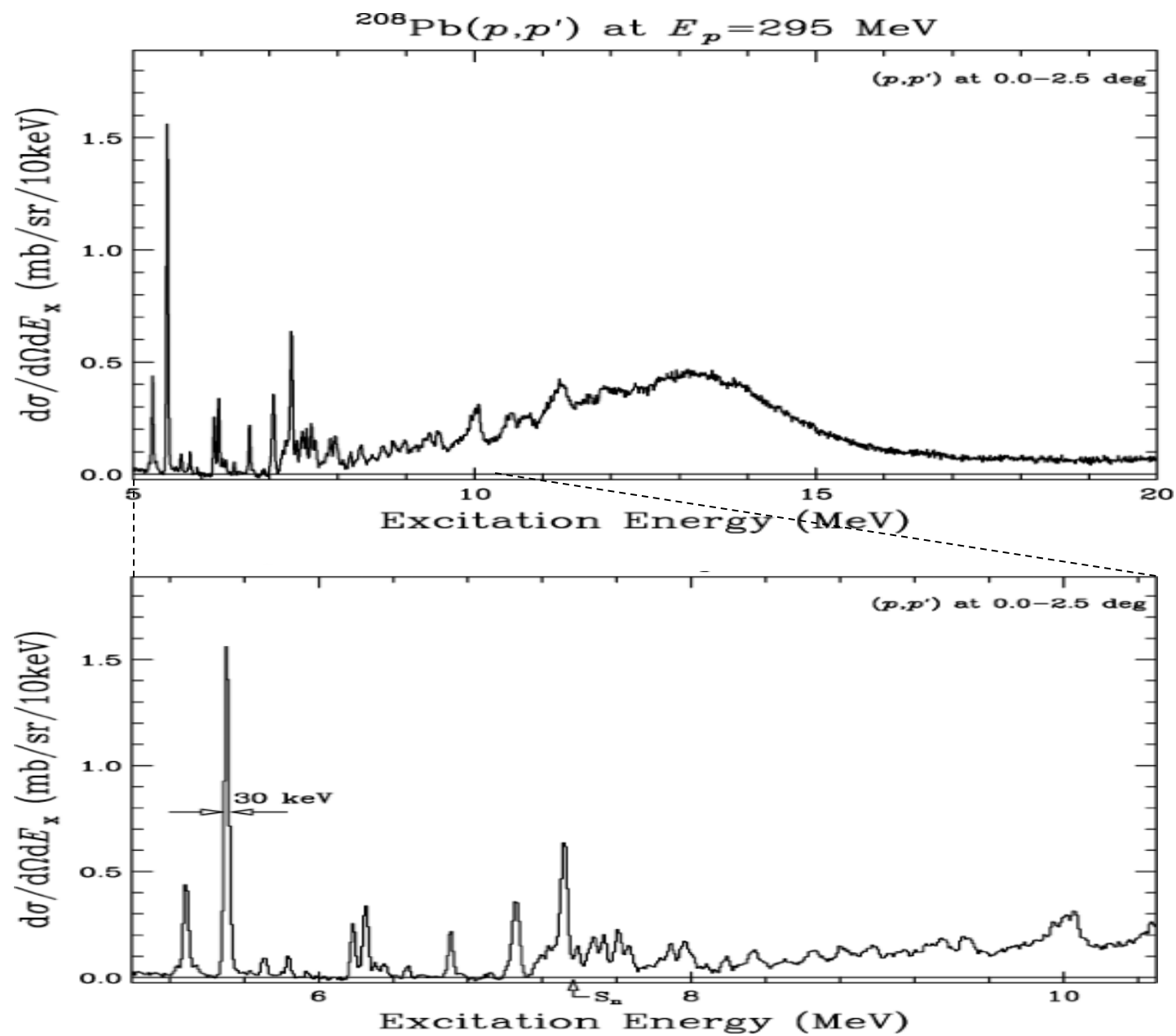
Coulomb Excitation by Proton Scattering

Proton scattering
at very forward angles
at RCNP, Osaka Univ.



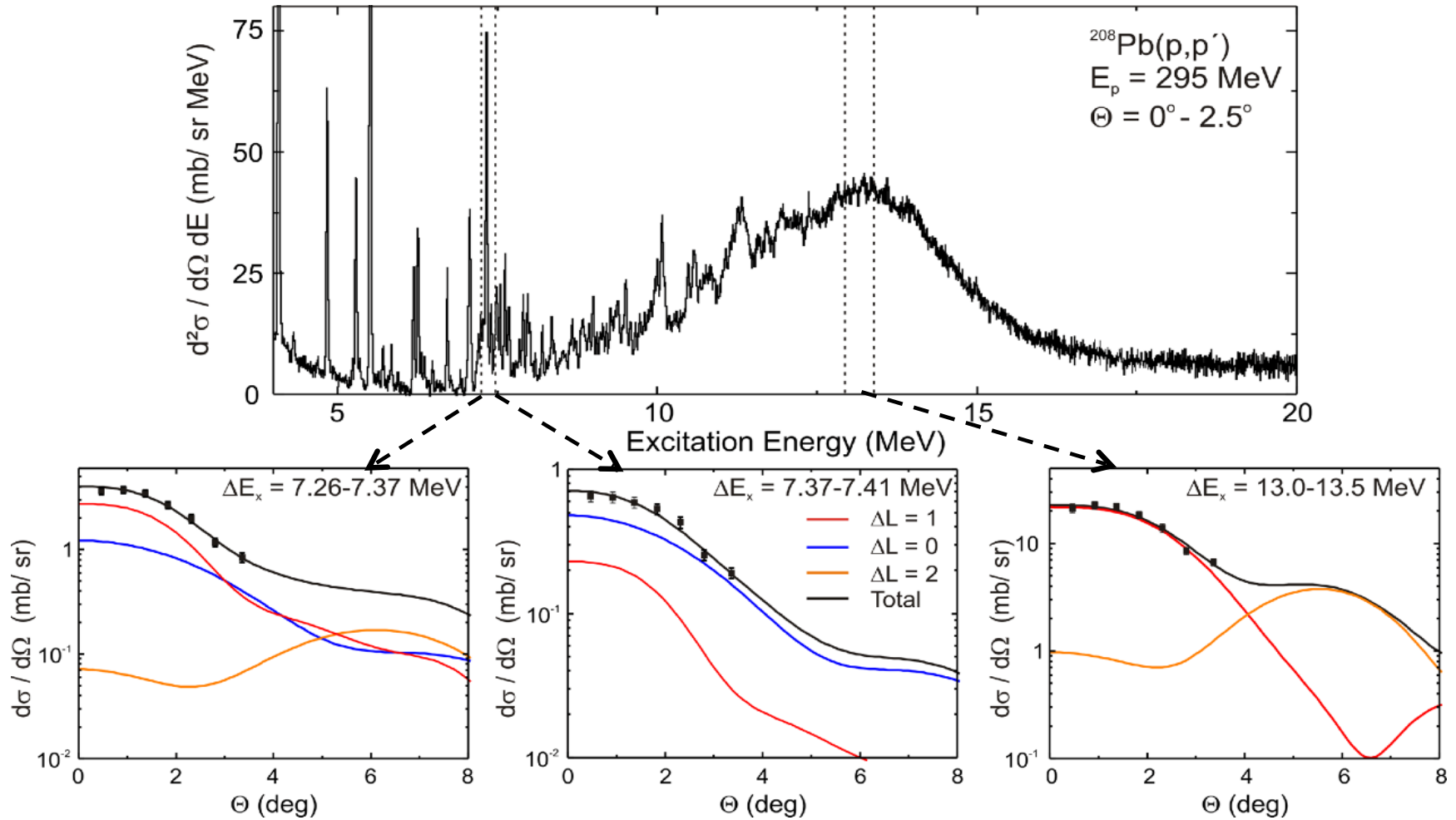
Setup for E282&E316





電気双極子(E1)強度の抽出

方法1: Multipole Decomposition Analysis (MDA)



Grazing Angle = 3.0 deg

スペクトロメータ内でのスピン回転

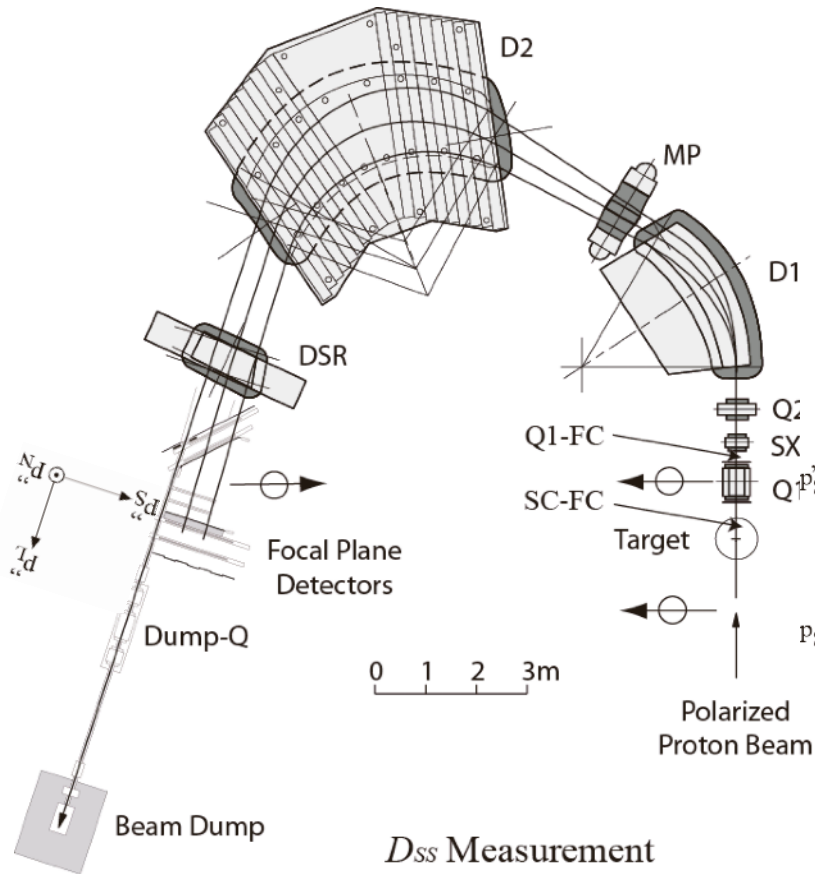
$$\theta_p = \gamma \left(\frac{g}{2} - 1 \right) \theta_b$$

θ_p : precession angle with respect to the beam direction

θ_b : bending angle of the beam

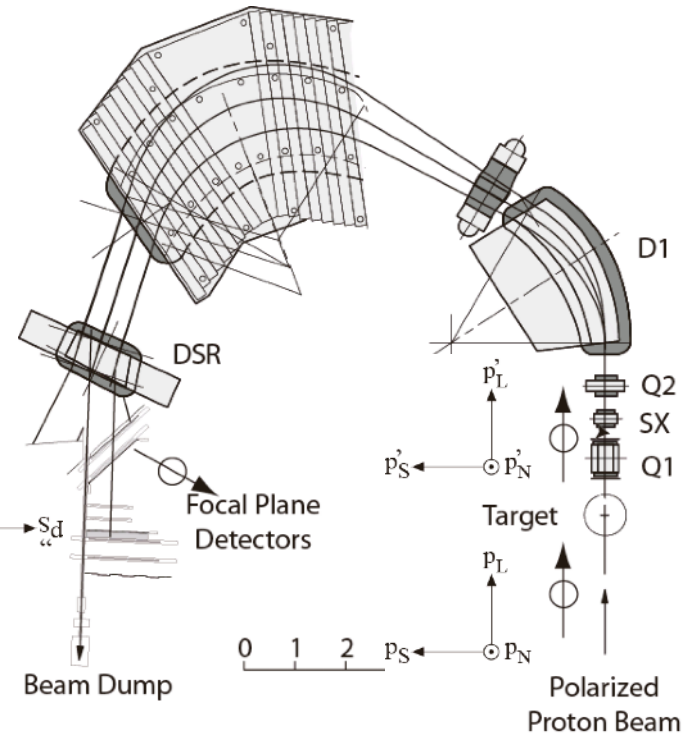
g : Lande's g-factor

γ : gamma in special relativity



D_{SS} Measurement

$$\theta_b \cong 162^\circ$$



D_{LL} Measurement

$$\theta_b \cong 180^\circ$$

電気双極子(E1)強度の抽出

方法2: Polarization Transfer Analysis (MDA)

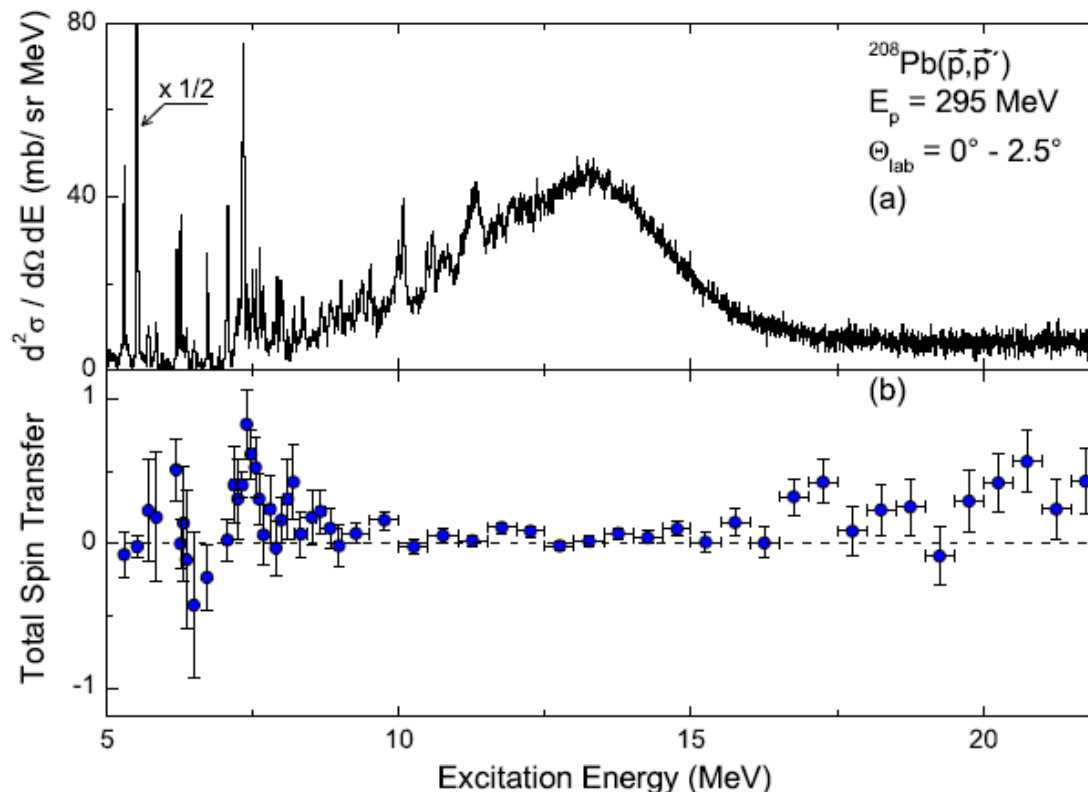
● 偏極移行量 at 0°

→ スピン反転 / 非反転 分離
モデル非依存

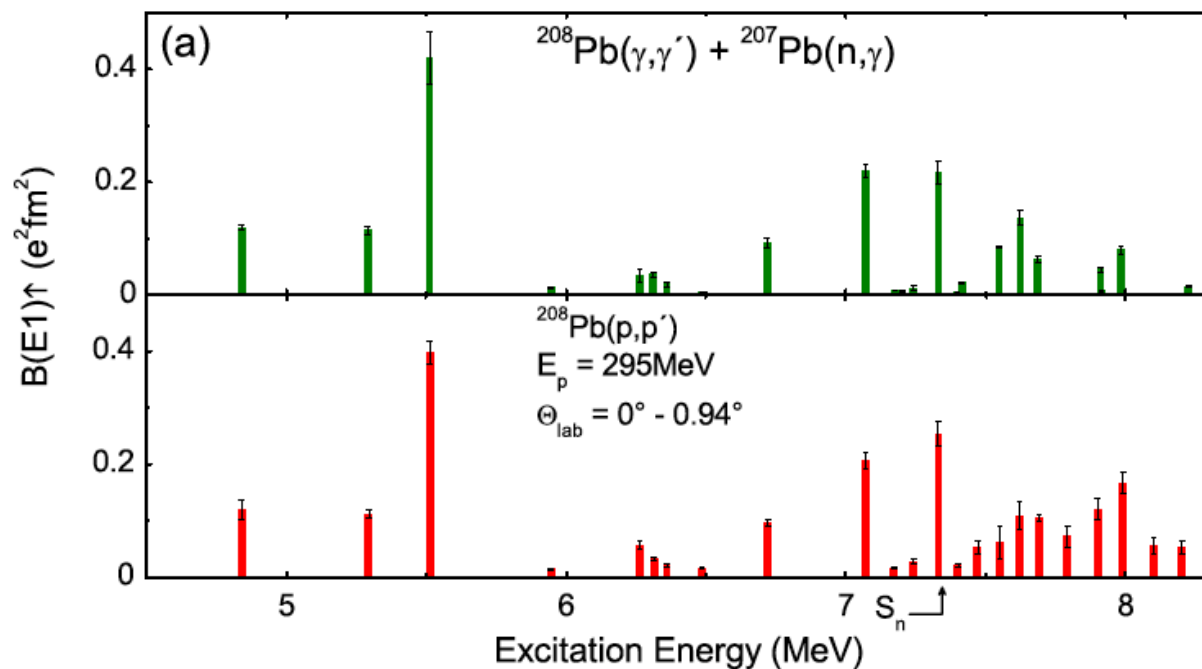
E1 / spin-M1 分離

T. Suzuki, PTP 103 (2000) 859

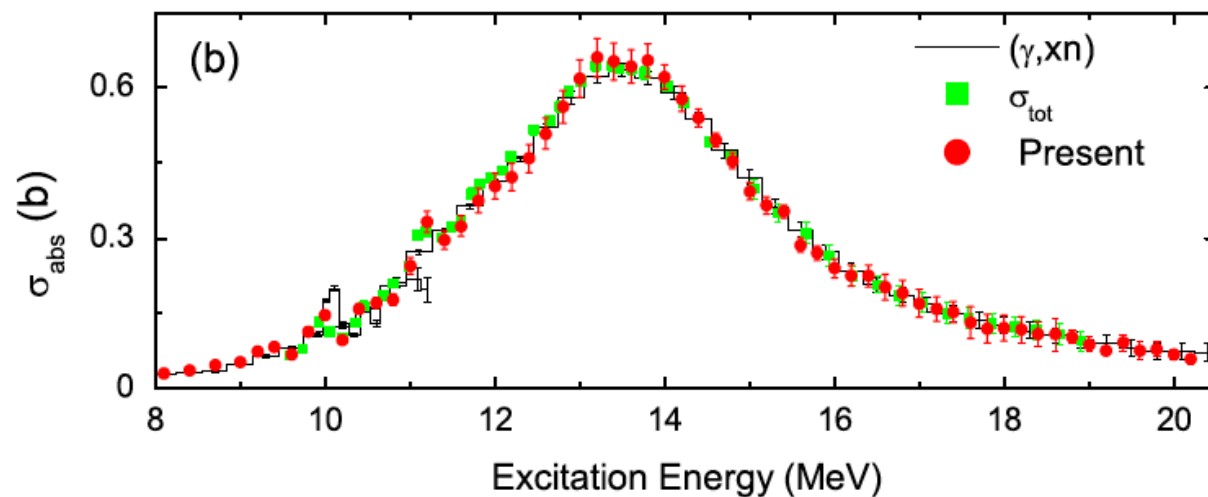
$$\text{Total Spin Transfer } \Sigma \equiv \frac{3 - (2D_{SS} + D_{LL})}{4} = \begin{cases} 1 & \text{for } \Delta S = 1 \quad \text{spin-M1} \\ 0 & \text{for } \Delta S = 0 \quad \text{E1} \end{cases}$$



$(\gamma, \gamma'), (\gamma, xn)$ 実験との比較

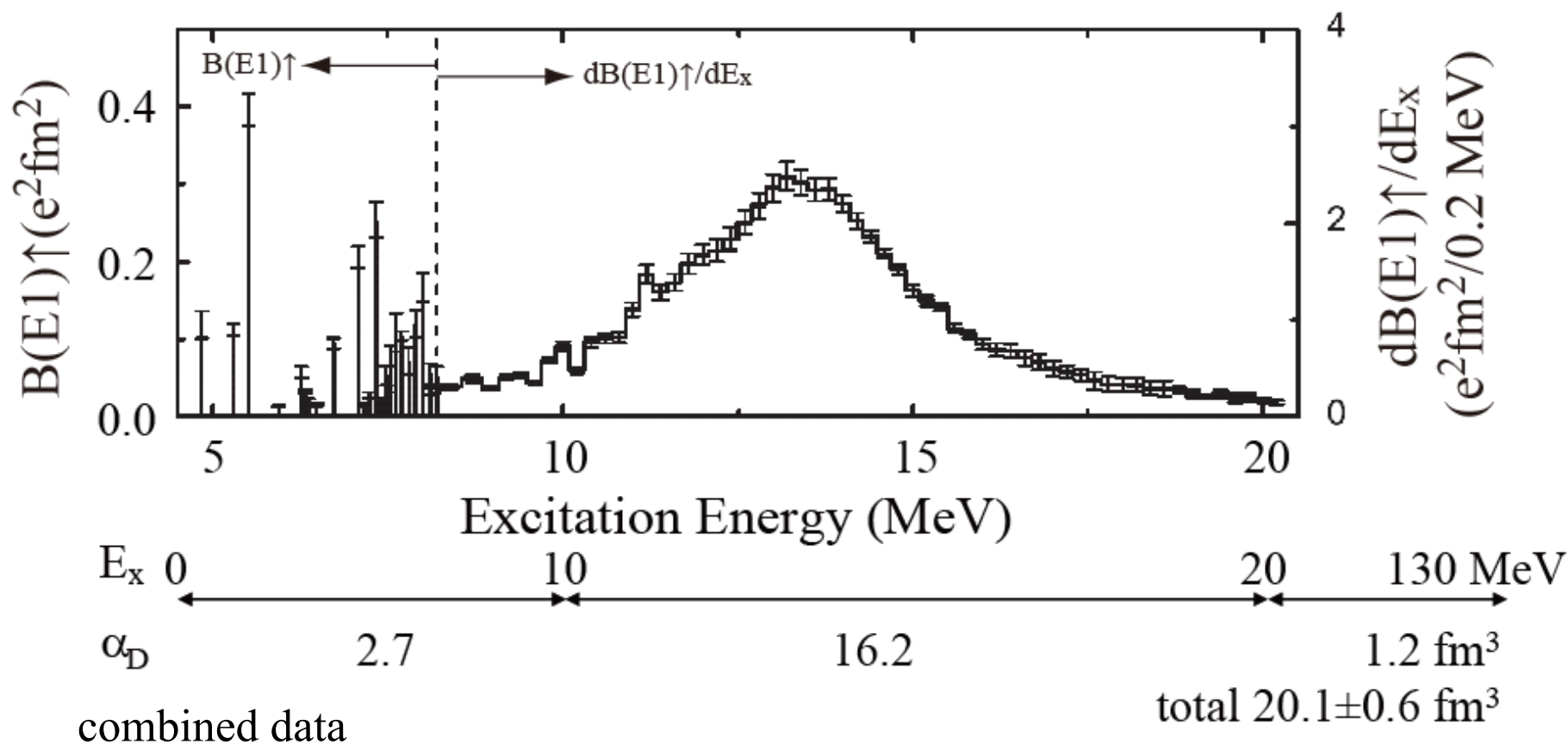


離散状態領域
(低励起エネルギー)



巨大共鳴領域

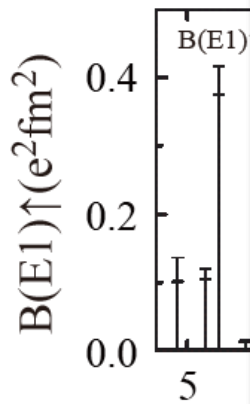
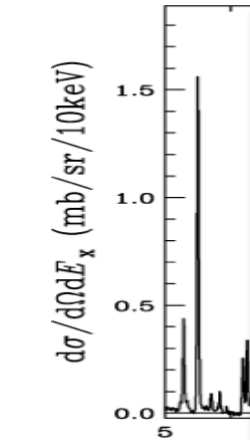
^{208}Pb の電気双極子遷移強度 $B(E1)$ と電気分極率 α_D



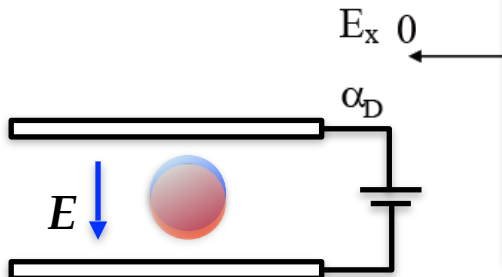
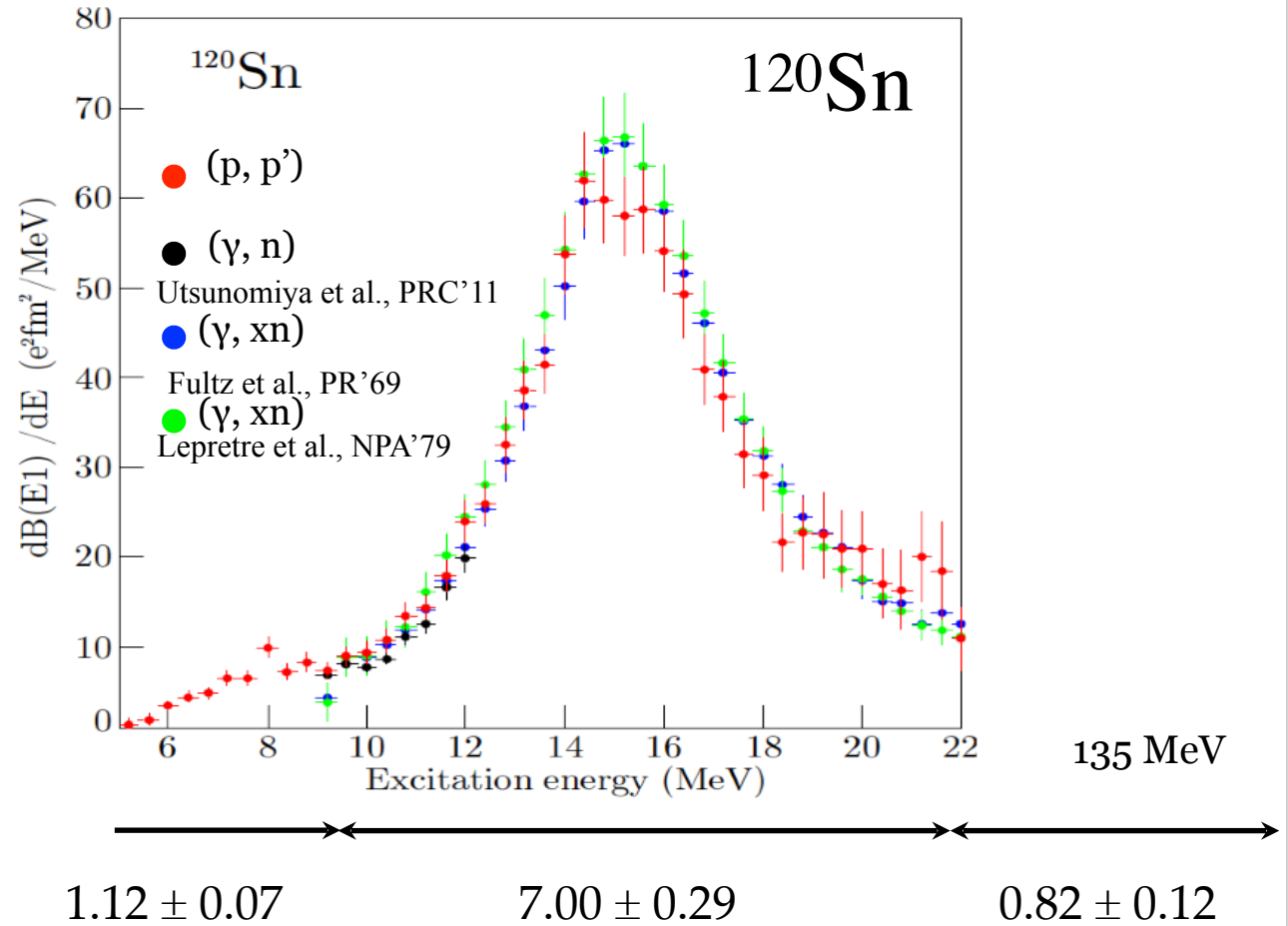
^{208}Pb の電気分極率 α_D が精度良く決まった

電気分極率: ^{208}Pb , ^{120}Sn

$^{208}\text{Pb}(p,p')$ at $E_p=295$ MeV



T. Hashimoto *et al.*, PRC92, 031305(R)(2015).



電気分極率

Clear definition

Unambiguous in the integration range

↔ Pygmy Dipole Strength

Inversely energy weighted sum-rule

More sensitive to the low-energy strength

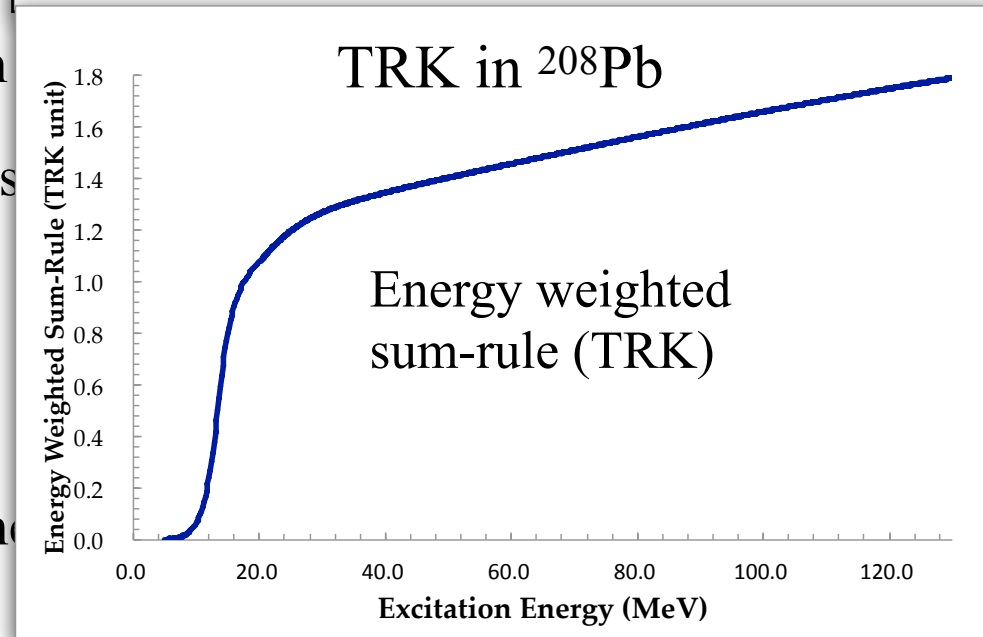
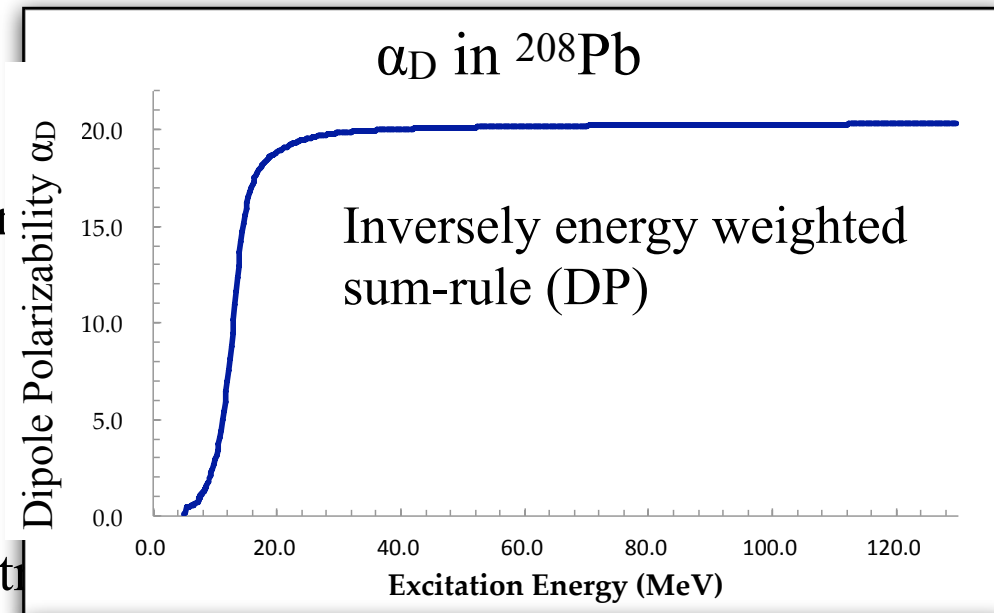
Good convergence in the excitation energy range

↔ energy-weighted (TRK) sum-rule

Sum-rule for all the transitions

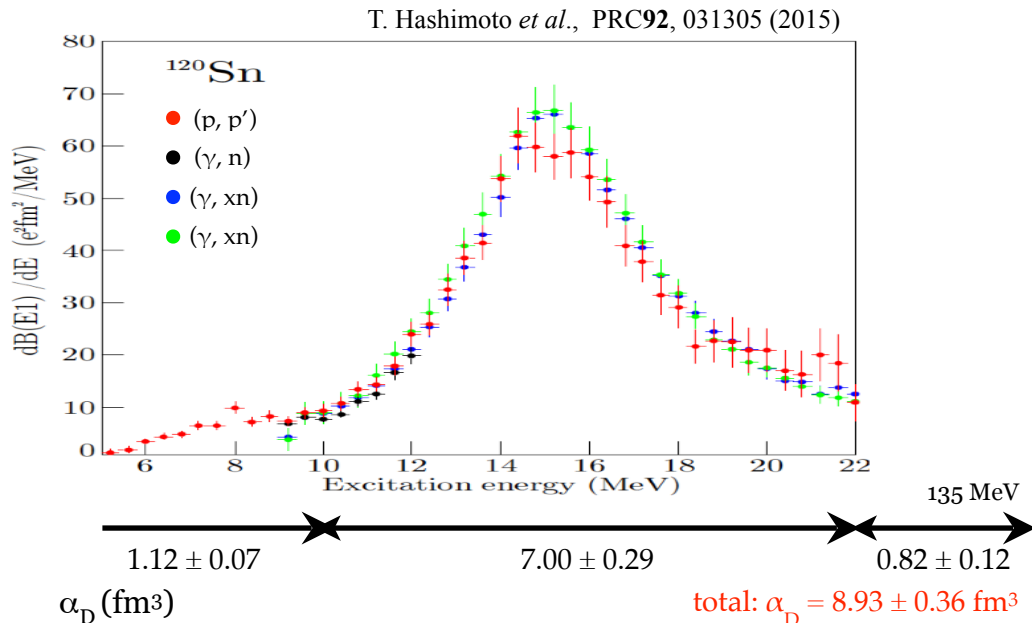
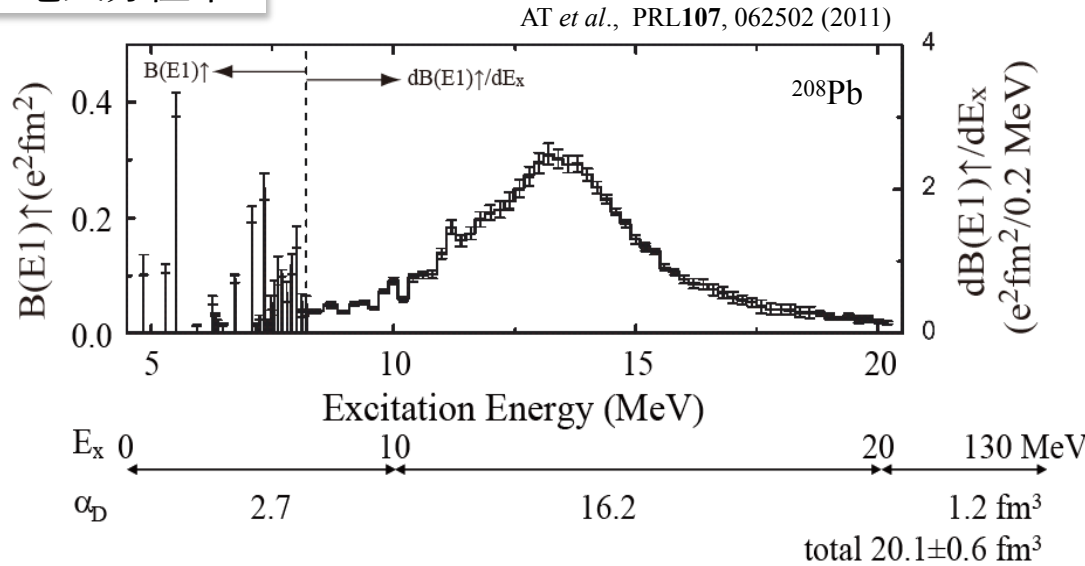
= Ground state property

↔ easier comparison with theoretical calculations



対称エネルギーの許容範囲の決定

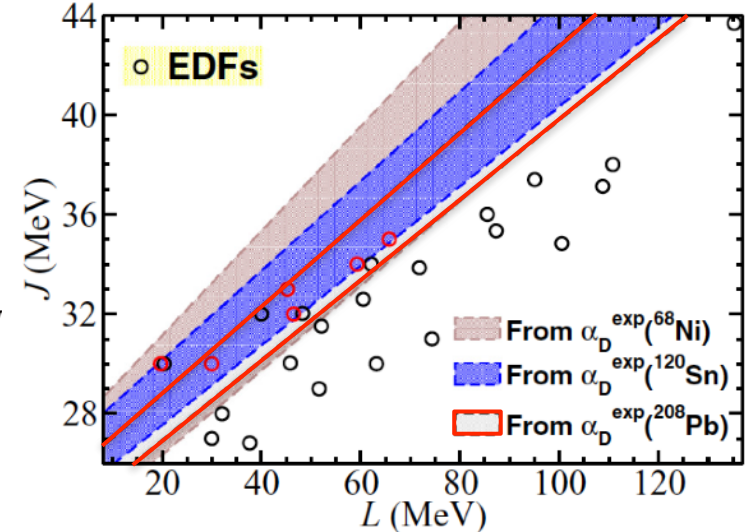
電気分極率



対称エネルギー

X. Roca-Maza *et al.*, PRC**92**, 064304(2015)

AT *et al.*, EPJA**50**, 28 (2014).



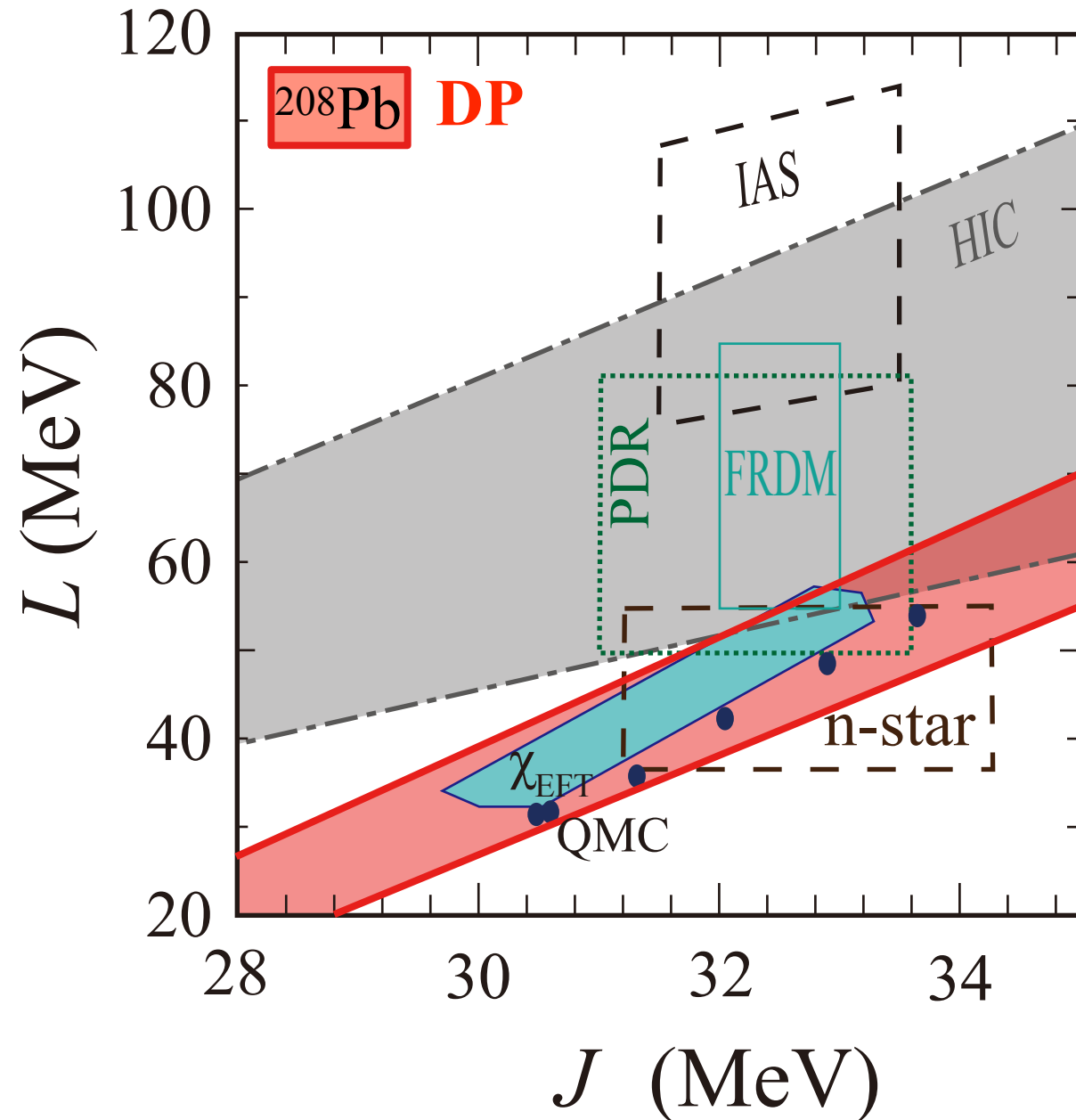
^{68}Ni @GSI: D.M. Rossi *et al.*, PRL**111**, 242503 (2013).

$$S(\rho) = J + \frac{L}{3\rho_0}(\rho - \rho_0) + \frac{K_{\text{sym}}}{18\rho_0^2}(\rho - \rho_0)^2 + \dots$$

中性子スキン厚さ

Nucleus	Δr_{np} (a)	Δr_{np} (b)	Δr_{np} (c)
^{68}Ni	0.15–0.19	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.04
^{120}Sn	0.12–0.16	0.14 ± 0.02	0.12 ± 0.04
^{208}Pb	0.13–0.19	0.16 ± 0.02	0.16 ± 0.03

Constraints on J and L



Tsang PRC2012

HIC: Heavy Ion Collision Analysis
Tsang PRL2009

IAS: Isobaric Analog State Energy
Danielewicz&Lee NPA2009

PDR: Pygmy Dipole Resonance in
 ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone PRC2010

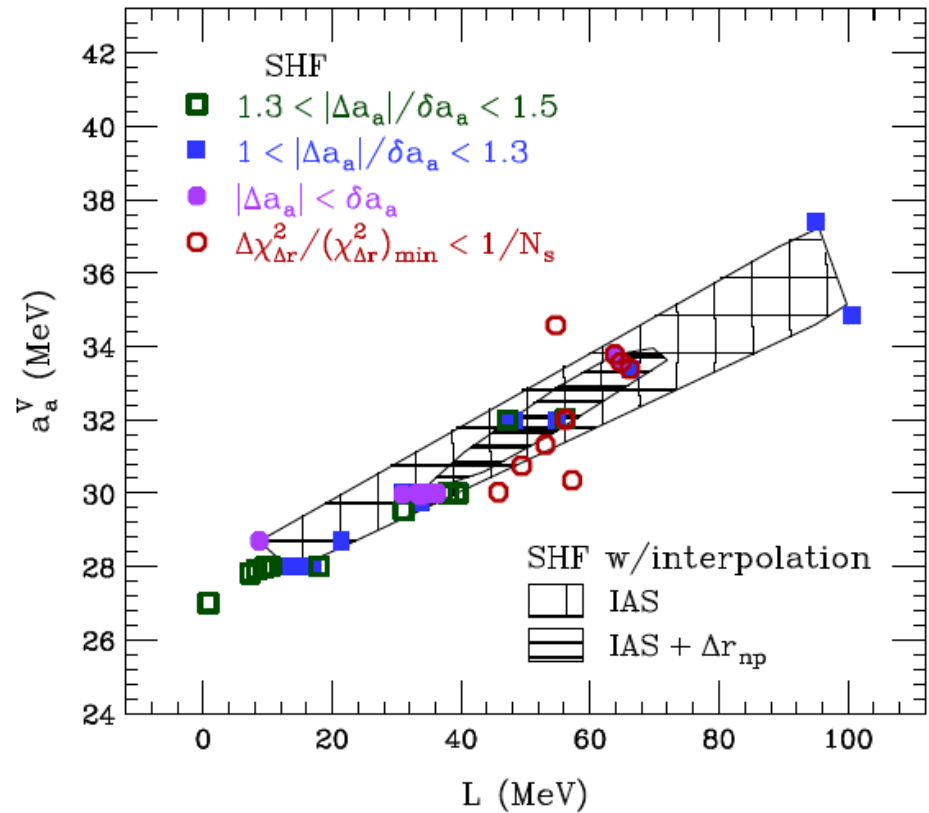
FRDM: Finite Range Droplet Model
Moller PRL2012

n-star: Quiescent Low-Mass X-ray
Binaries, Stainer PRL2012

χ_{EFT} : Chiral Effective Field Theory,
Tews PRL2013

QMC: Quantum Monte-Carlo Calc.
Gandolfi, EPJA50, 10(2014).

DP: Dipole Polarizability
 ^{208}Pb AT PRL2011

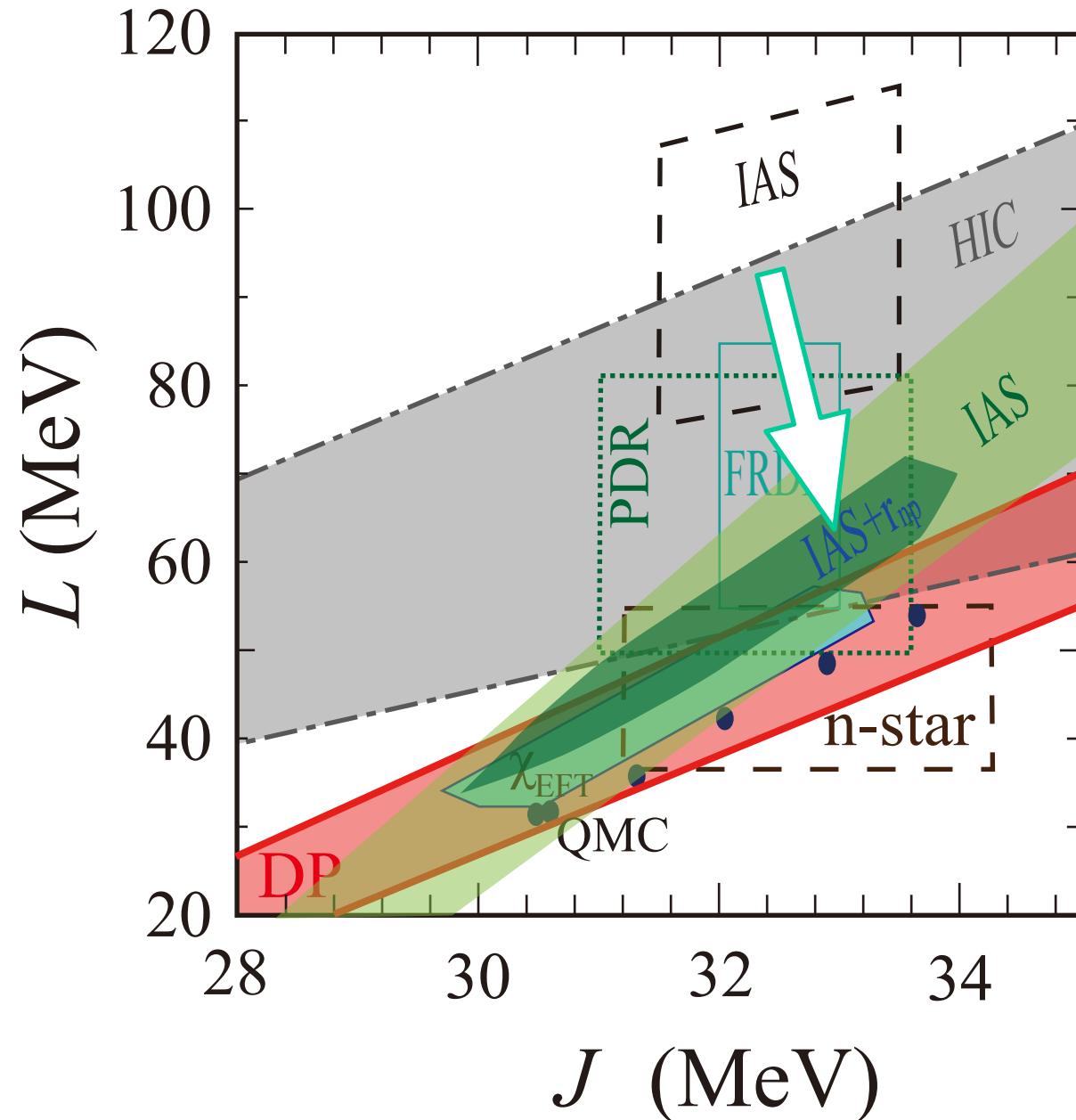


quoted neutron-skin studies

Nucleus	Reference	Data source	Δr_{np} [fm]	Δr_{np}^{GF} [fm]
^{48}Ca	Friedman [93]	pionic atoms	0.13 ± 0.06	
	Gils et al. [94]	elastic α scattering	0.175 ± 0.050	
	Ray [95]	elastic $\bar{p}$ scattering	0.229 ± 0.050	
	Clark et al. [96]	elastic p scattering	0.103 ± 0.040	
	Shlomo et al. [97]	elastic p scattering	0.10 ± 0.03	
	Gibbs et al. [98]	elastic π scattering	0.11 ± 0.04	
		combined results	$0.129 \pm 0.053^*$	
^{50}Ti	Gils et al. [94]	elastic α scattering	0.031 ± 0.040	0.218 ± 0.015
^{64}Ni	Ray [95]	elastic $\bar{p}$ scattering	0.167 ± 0.050	0.133 ± 0.011
^{116}Sn	Ray [95]	elastic $\bar{p}$ scattering	0.146 ± 0.050	0.102 ± 0.015
^{124}Sn	Ray [95]	elastic $\bar{p}$ scattering	0.252 ± 0.050	0.103 ± 0.015
^{204}Pb	Zenihiro et al. [99]	elastic p scattering	0.178 ± 0.059	0.184 ± 0.021
^{206}Pb	Zenihiro et al. [99]	elastic p scattering	0.180 ± 0.064	0.161 ± 0.024
	Starodubsky et al. [100]	elastic p scattering	0.181 ± 0.045	
		combined results	0.181 ± 0.037	0.172 ± 0.024
^{207}Pb	Starodubsky et al. [100]	elastic p scattering	0.186 ± 0.041	0.178 ± 0.024
^{208}Pb	Starodubsky et al. [100]	elastic p scattering	0.197 ± 0.042	
	Ray [95]	elastic $\bar{p}$ scattering	0.16 ± 0.05	
	Clark et al. [96]	elastic p scattering	0.119 ± 0.045	
	Zenihiro et al. [99]	elastic p scattering	0.211 ± 0.063	
	Friedman [93]	elastic π^+ scattering	0.11 ± 0.06	
	Friedman [93]	pionic atoms	0.15 ± 0.08	
		combined results	$0.159 \pm 0.041^*$	0.179 ± 0.023

any average effects of asymmetry on the reactions competing with a variety of physical effects subject to modeling uncertainties. In this paper we attempt to learn about the average effects of neutron–proton asymmetry on nuclear energies, exploiting excitation energies to isobaric analog states and to reach the conclusions in as model-independent manner as possible. Our early efforts in this direction have been reported in [1–3]. As we progress, we find that we need to reassess our strategy.

Constraints on J and L



Tsang PRC2012

HIC: Heavy Ion Collision Analysis
Tsang PRL2009

IAS: Isobaric Analog State Energy
Danielewicz&Lee **NPA2009**→**2014**

PDR: Pygmy Dipole Resonance in
 ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone PRC2010

FRDM: Finite Range Droplet Model
Moller PRL2012

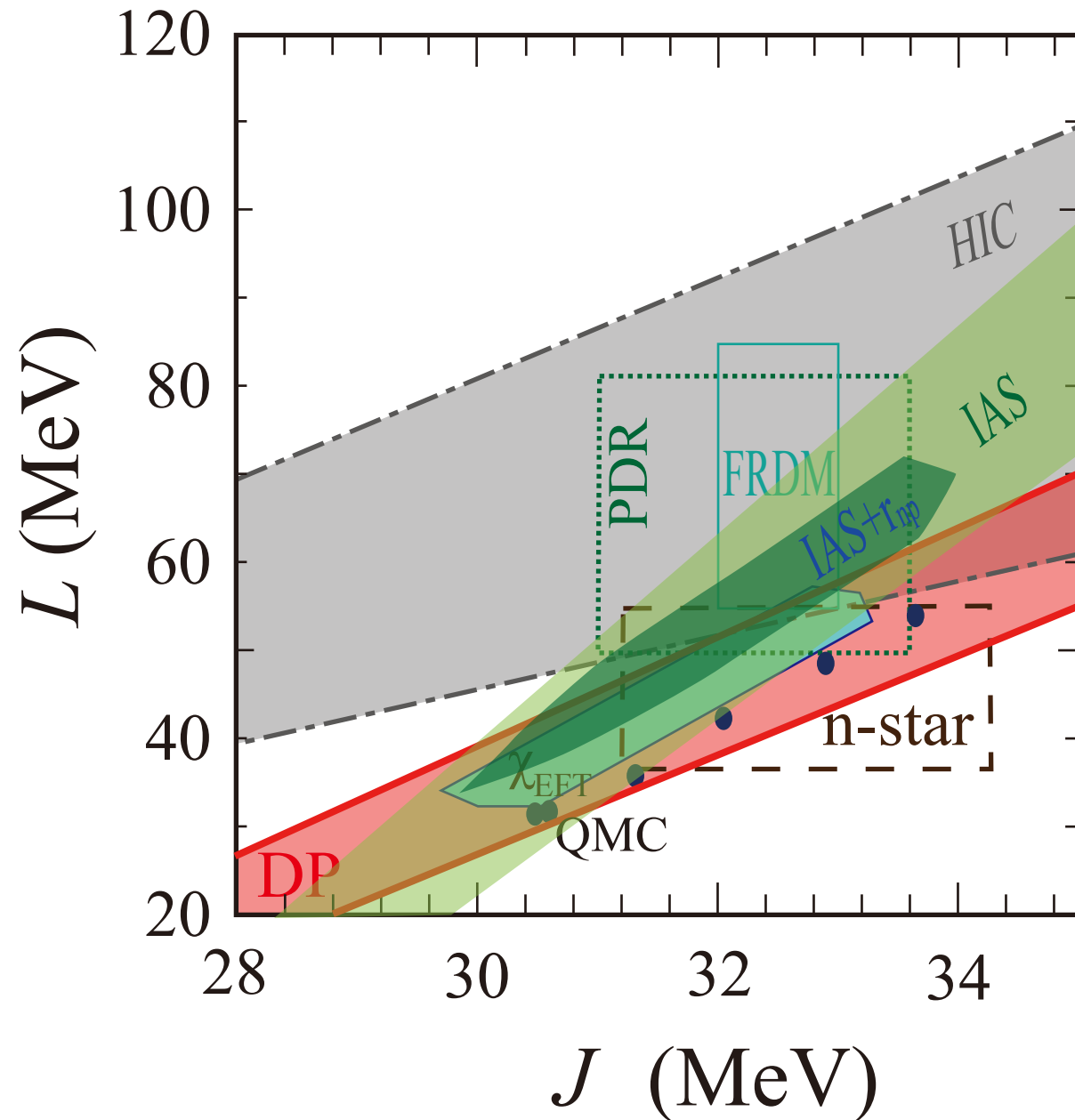
n-star: Quiescent Low-Mass X-ray
Binaries, Stainer PRL2012

χ_{EFT} : Chiral Effective Field Theory,
Tews PRL2013

QMC: Quantum Monte-Carlo Calc.
Gandolfi, EPJA50, 10(2014).

DP: Dipole Polarizability
 ^{208}Pb AT PRL2011

Constraints on J and L



Tsang PRC2012

HIC: Heavy Ion Collision Analysis
Tsang PRL2009

IAS: Isobaric Analog State Energy
Danielewicz&Lee NPA2014

PDR: Pygmy Dipole Resonance in
 ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone PRC2010

FRDM: Finite Range Droplet Model
Moller PRL2012

n-star: Quiescent Low-Mass X-ray
Binaries, Stainer PRL2012

χ_{EFT} : Chiral Effective Field Theory,
Tews PRL2013

QMC: Quantum Monte-Carlo Calc.
Gandolfi, EPJA50, 10(2014).

DP: Dipole Polarizability
 ^{208}Pb AT PRL2011

The optimal values of the asymmetry variables J and L that we obtained from the mass model FRDM (2012) study are

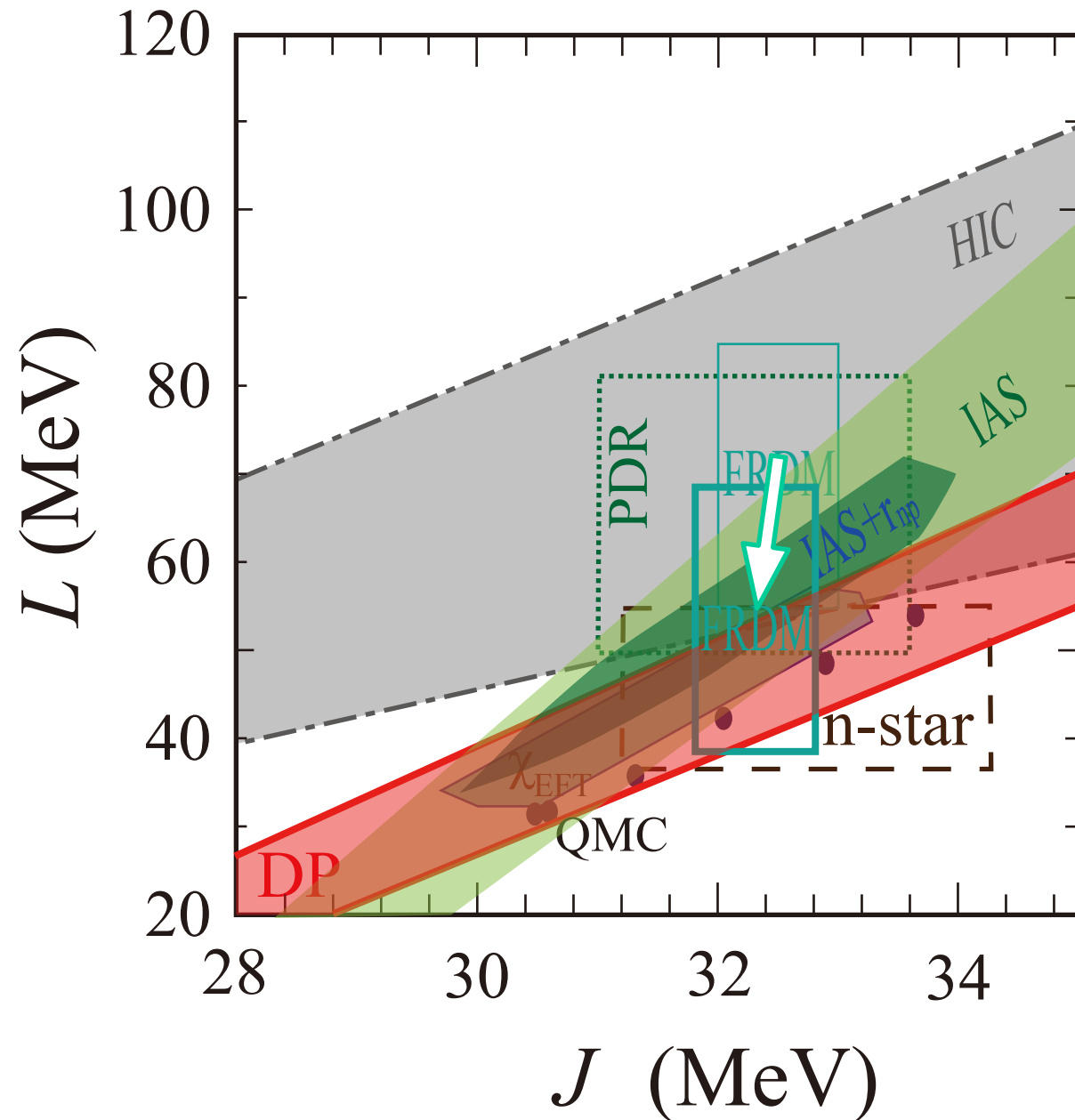
$$J = 32.3 \pm 0.5 \text{ MeV}$$

$$L = 53.5 \pm 15 \text{ MeV}$$

with the minimum rms deviation of $\sigma < 560$ keV as shown in Fig. 2. The above optimal L value is somewhat smaller than the value in Ref. [3], because we have implemented a more accurate calculation of the zero-point fluctuation effect see [2] for more details.

FRDM: Finite Range Droplet Model
Moeller ADNTD2016

Constraints on J and L



Tsang PRC2012

HIC: Heavy Ion Collision Analysis
Tsang PRL2009

IAS: Isobaric Analog State Energy
Danielewicz&Lee NPA2014

PDR: Pygmy Dipole Resonance in
 ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone PRC2010

FRDM: Finite Range Droplet Model
Moller **PRL2012** $\rightarrow$ **ADNTD2016**

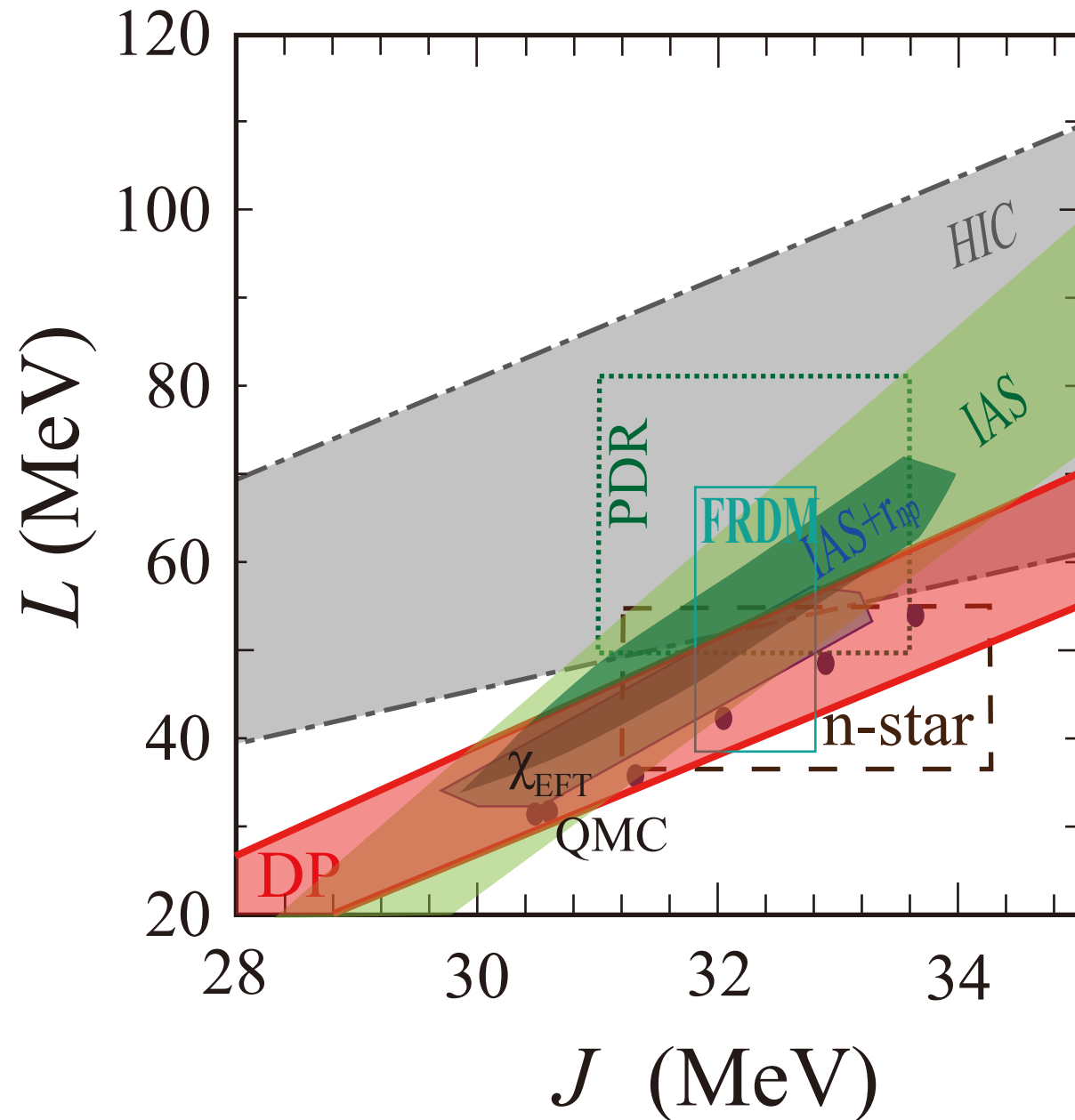
n-star: Quiescent Low-Mass X-ray
Binaries, Stainer PRL2012

χ_{EFT} : Chiral Effective Field Theory,
Tews PRL2013

QMC: Quantum Monte-Carlo Calc.
Gandolfi, EPJA50, 10(2014).

DP: Dipole Polarizability
 ^{208}Pb AT PRL2011

Constraints on J and L



Tsang PRC2012

HIC: Heavy Ion Collision Analysis
Tsang PRL2009

IAS: Isobaric Analog State Energy
Danielewicz&Lee NPA2014

PDR: Pygmy Dipole Resonance in
 ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone PRC2010

FRDM: Finite Range Droplet Model
Moller ADNTD2016

n-star: Quiescent Low-Mass X-ray
Binaries, Stainer PRL2012

χ_{EFT} : Chiral Effective Field Theory,
Tews PRL2013

QMC: Quantum Monte-Carlo Calc.
Gandolfi, EPJA50, 10(2014).

DP: Dipole Polarizability
 ^{208}Pb AT PRL2011

PDR: Pygmy Dipole Resonance in ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone PRC2010

Wieland: PRL2009

In summary, we have here presented the first experimental search of a pygmy resonance in the neutron-rich ^{68}Ni nucleus using the virtual photon scattering technique. Evidence is found for the presence of sizeable strength energetically located below the GDR and centered at ≈ 11 MeV with approximately 5% of the EWSR strength.

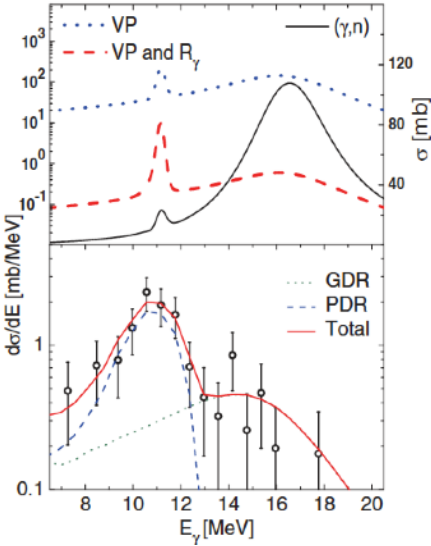
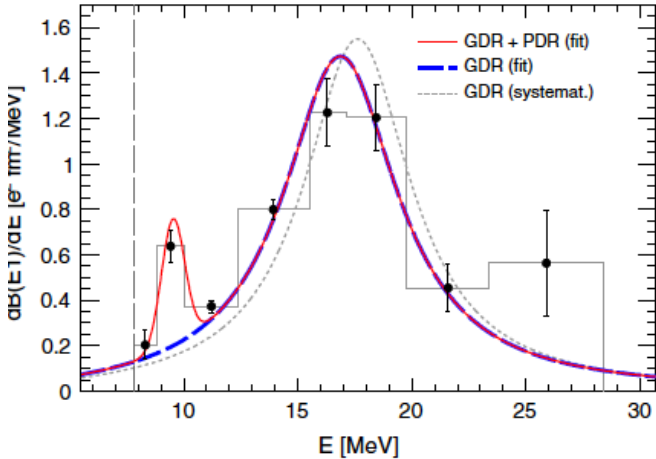
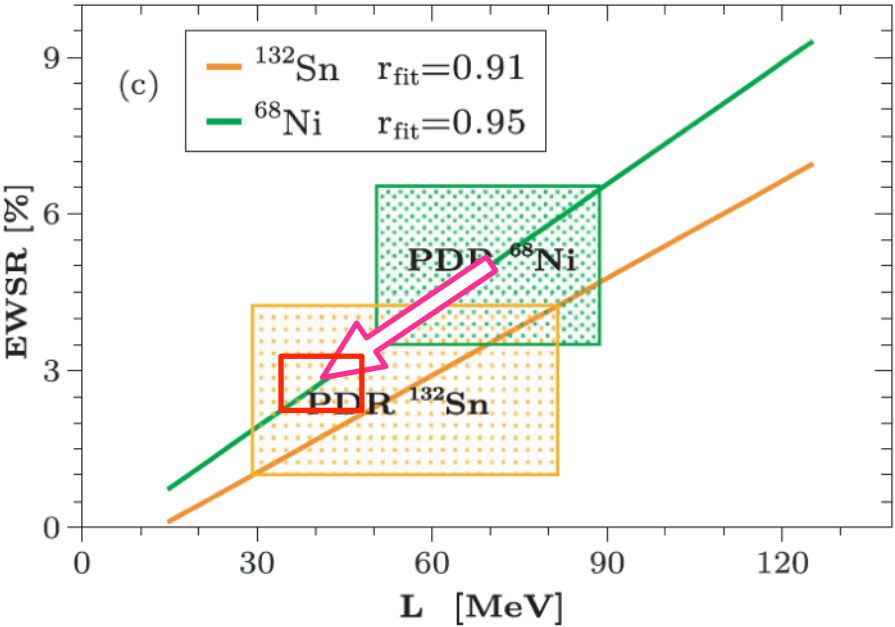


TABLE I. GDR and PDR parameters for ^{68}Ni from fit to $E1$ strength, as shown in Fig. 3. Included as well are the GDR and PDR parameters from the literature.

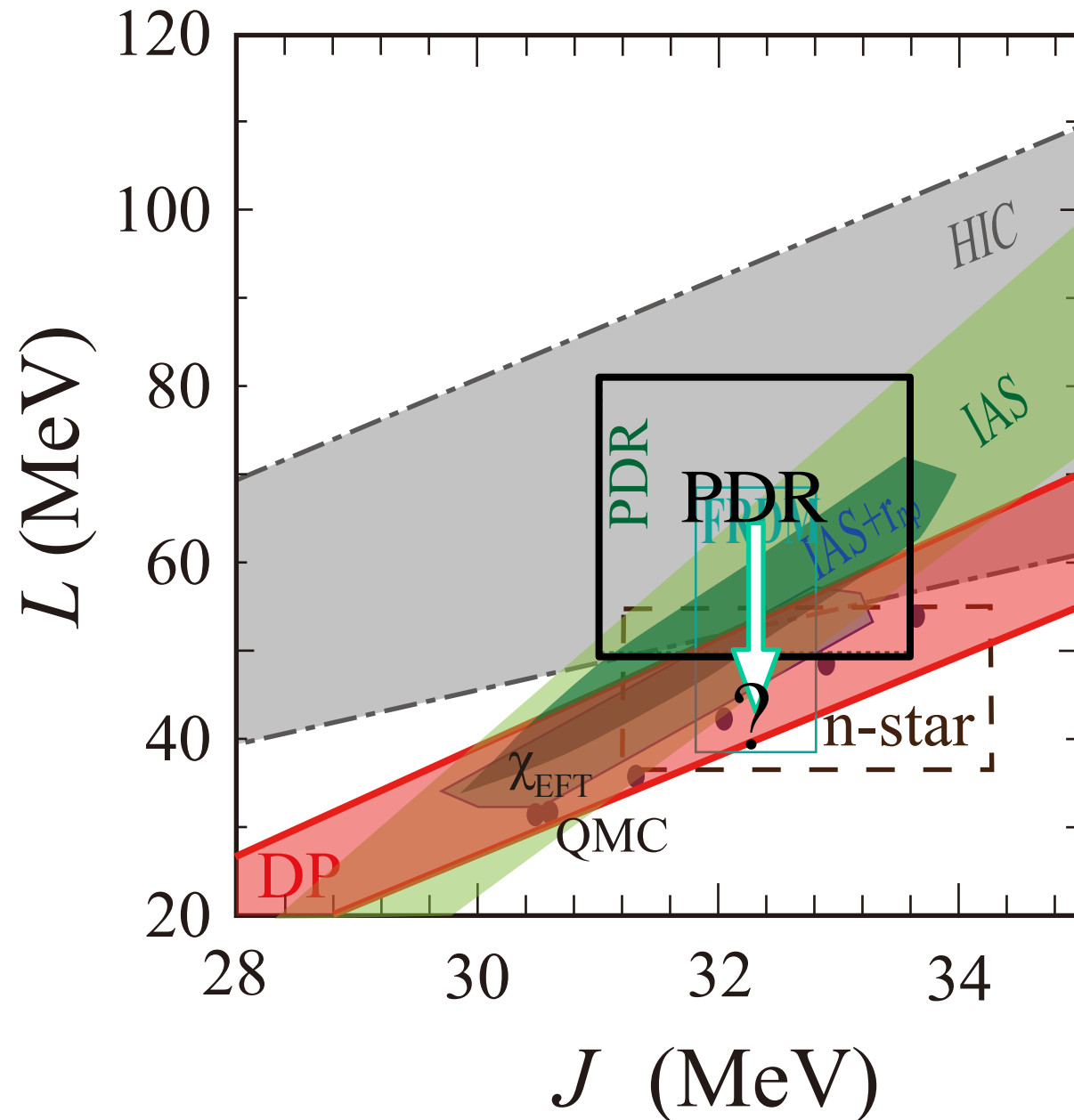
		This work	Literature	Reference
GDR	E_m [MeV]	17.1(2)	17.84	[30]
	Γ [MeV]	6.1(5)	5.69	[30]
	S_{EWSR} [%]	98(7)	100	
PDR	E_m [MeV]	9.55(17)	11.0(5)	[25,31]
	σ [MeV]	0.51(13)	<1	[25]
	S_{EWSR} [%]	2.8(5)	5.0(1.5)	[13,25]



Rossi: PRL2013



Constraints on J and L



Tsang PRC2012

HIC: Heavy Ion Collision Analysis
Tsang PRL2009

IAS: Isobaric Analog State Energy
Danielewicz&Lee NPA2014

PDR: Pygmy Dipole Resonance in
 ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone **PRC2010**→?

FRDM: Finite Range Droplet Model
Moller ADNTD2016

n-star: Quiescent Low-Mass X-ray
Binaries, Stainer PRL2012

χ_{EFT} : Chiral Effective Field Theory,
Tews PRL2013

QMC: Quantum Monte-Carlo Calc.
Gandolfi, EPJA50, 10(2014).

DP: Dipole Polarizability
 ^{208}Pb AT PRL2011

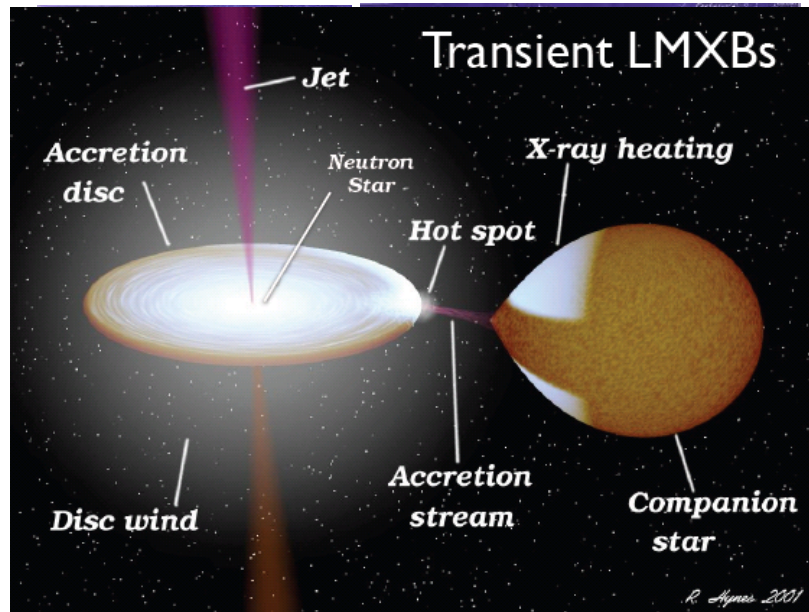
Quiescent Low-Mass X-Ray Binary (qLMXB) or Transient LMXB

Low Mass X-Ray Binary (LMXB) 低質量X線連星

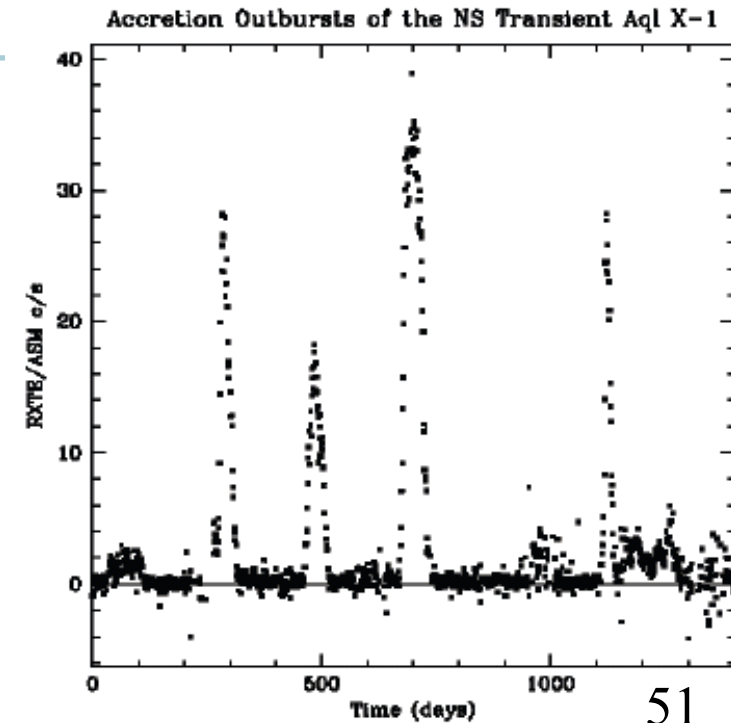
is a binary star where one of the components is either a black hole or a neutron star, and the companion star mass is relatively low.

The word *Quiescent* means *inactive* or more-specifically *low-luminosity* phase. X-Ray emission during the quiescent time is 4-5 orders of magnitude fainter than during outburst.

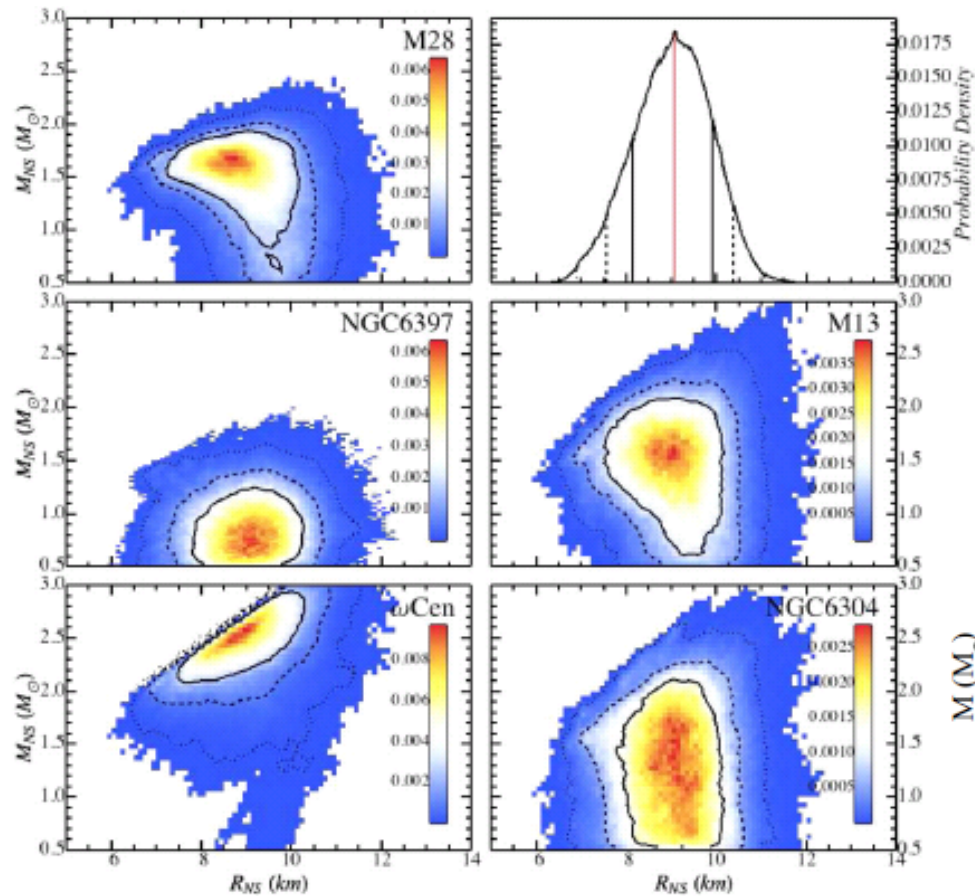
Cen X-4 and Aql X-1: van Paradijs et al. (1987)



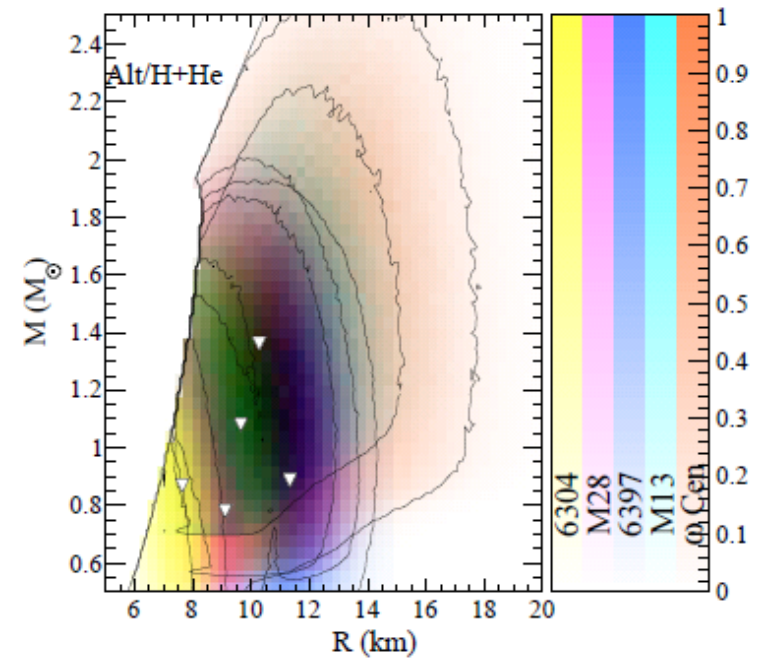
明るさと距離から半径を出す。



Results

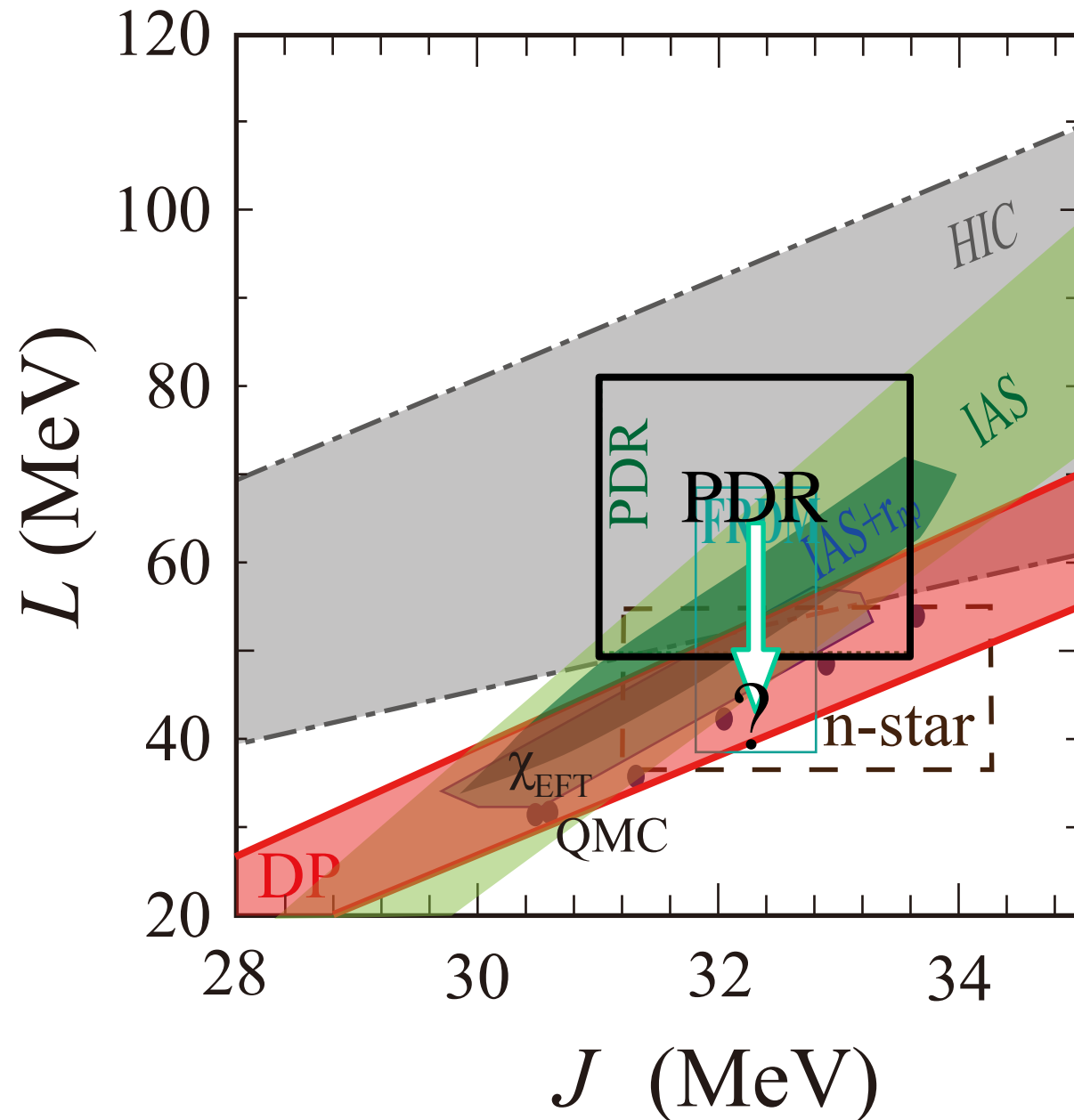


S. Guillot *et al.*, *Astrophys. J.* 772, 7(2013)



J.M. Lattimer and A.W. Steiner,
arXiv.1305.3242v1 (2013).

Constraints on J and L



Tsang PRC2012

HIC: Heavy Ion Collision Analysis
Tsang PRL2009

IAS: Isobaric Analog State Energy
Danielewicz&Lee NPA2014

PDR: Pygmy Dipole Resonance in
 ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone **PRC2010**→?

FRDM: Finite Range Droplet Model
Moller ADNTD2016

n-star: Quiescent Low-Mass X-ray
Binaries, Stainer PRL2012

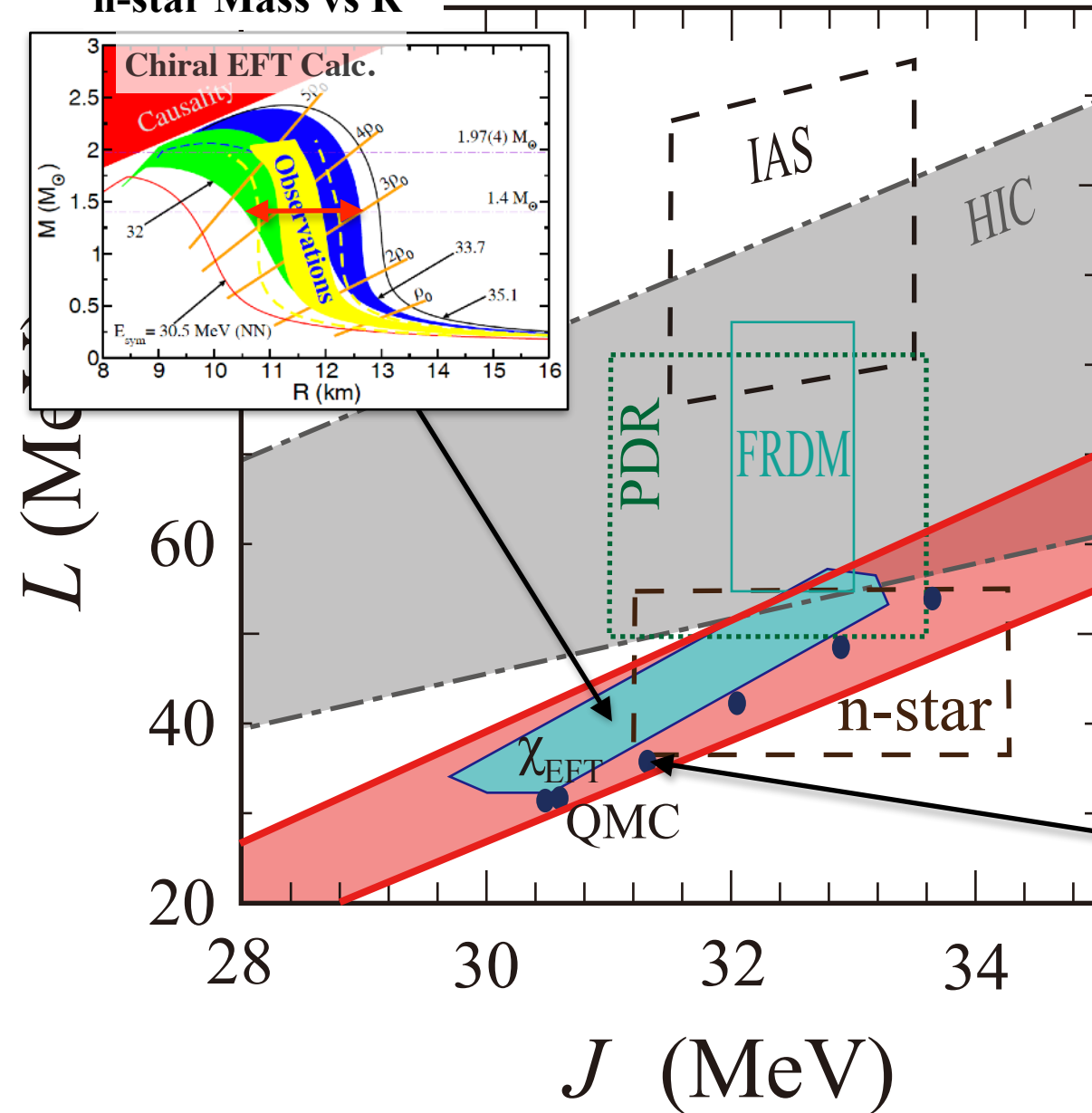
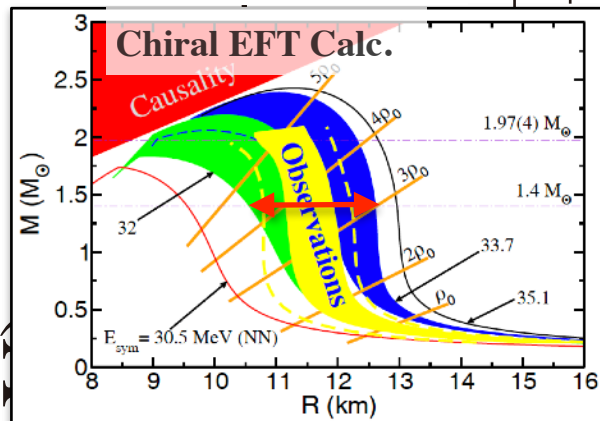
χ_{EFT} : Chiral Effective Field Theory,
Tews PRL2013

QMC: Quantum Monte-Carlo Calc.
Gandolfi, EPJA50, 10(2014).

DP: Dipole Polarizability
 ^{208}Pb AT PRL2011

Constraints on Symmetry Energy (J and L)

n-star Mass vs R



Tsang PRC2012

HIC: Heavy Ion Collision Analysis
Tsang PRL2009

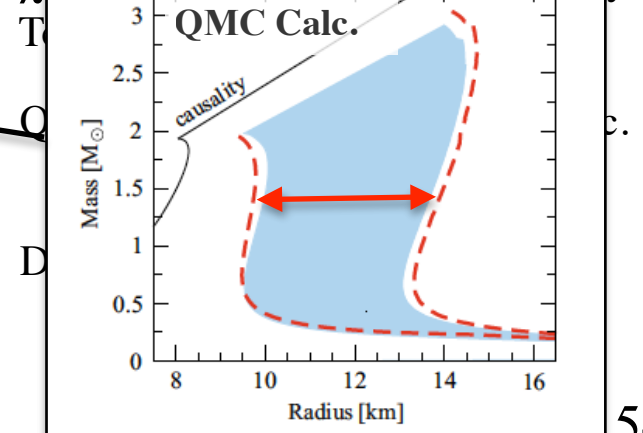
IAS: Isobaric Analog State Energy
Danielewicz&Lee NPA2009

PDR: Pygmy Dipole Resonance in
 ^{132}Sn , ^{68}Ni , Carbone PRC2010

FRDM: Finite Range Droplet Model
Moller PRL2012

n-star: Quiescent Low-Mass X-ray
Binaries, Stainer PRL2012

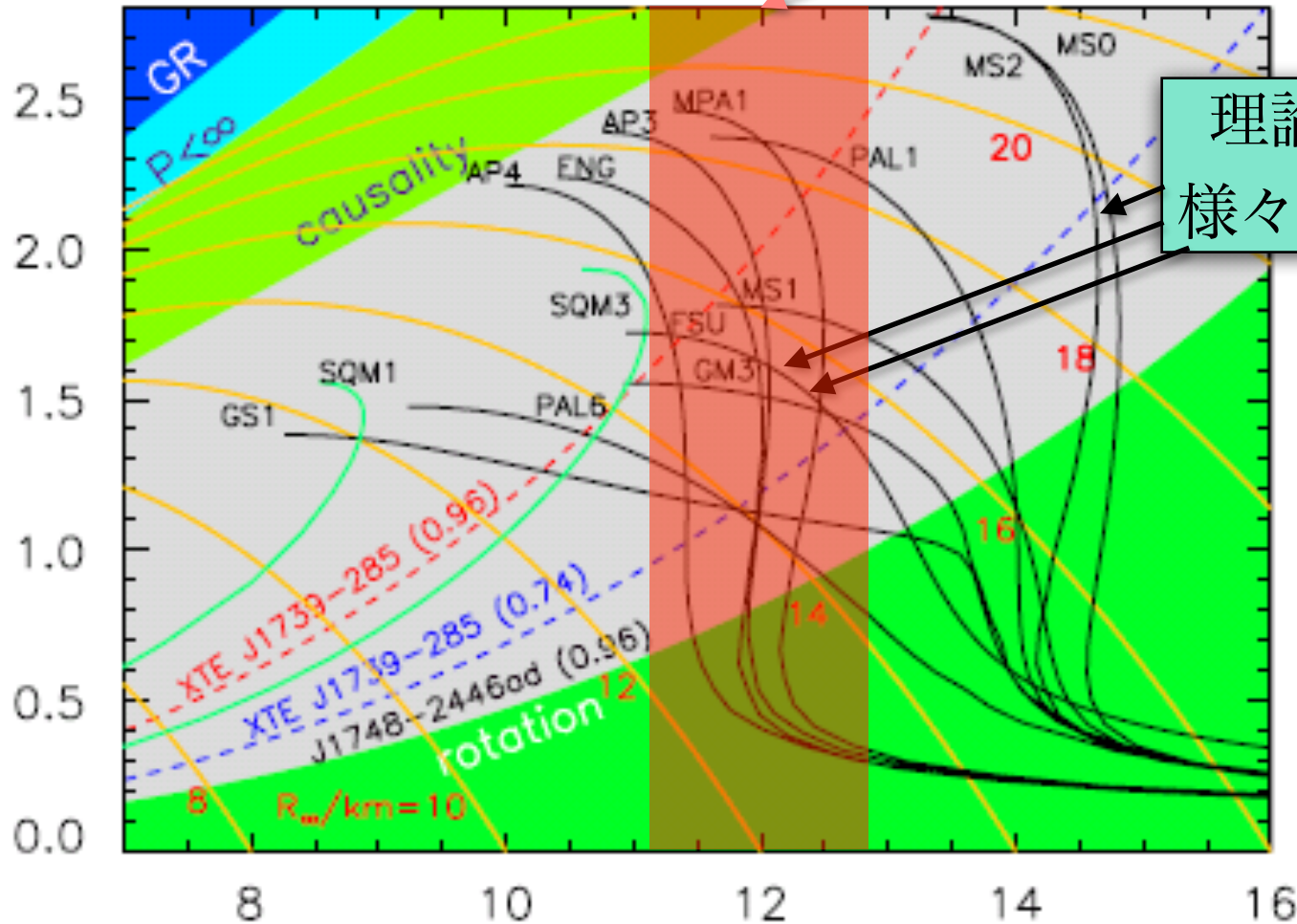
χ_{EFT} : Chiral Effective Field Theory,



中性子星の大きさ

1.4M $\odot$ 中性子星の半径としてこのあたり
が実験をもっともよく説明する

中性子星の重さ (単位: 太陽の重さ)



理論が予言する
様々な状態方程式

中性子星半径 (km)

重力波の観測

朝日新聞
DIGITAL

検索

目次

Lar

トップニュース

スポーツ

カルチャー

特集・連載

オピニオン

ラ

新着 社会 政治 経済・マネー 国際 テック&サイエンス 環境・エネルギー 地域 朝デジスベシ

朝日新聞デジタル > 記事

サイエンス

宇宙・天文

有料記事

星の合体、重力波で観測 発生源から光も 米欧グループ

田中誠士、斎藤義浩 小林哲 2017年10月16日23時21分

シェア

146

ツイート

list

ブックマーク

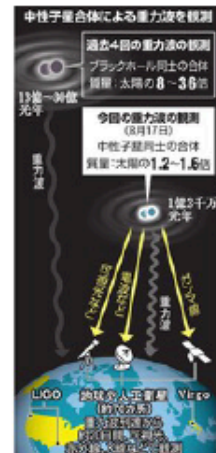
9

スクラップ

メール

印刷

続きから読む



中性子星合体による重力波を観測



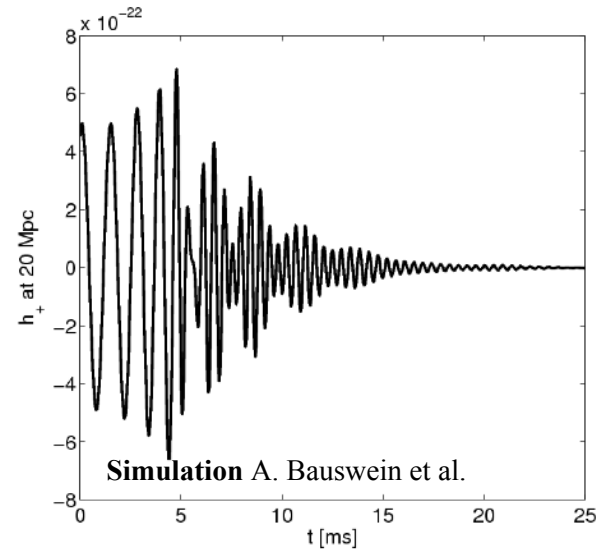
地球から1・3億光年離れた二つの「中性子星」が合体した様子を、重力波と光で観測することに成功したと、米欧の研究グループが16日、発表した。宇宙のかなたからやってくる重力波を手がかりに、発生源からの光をとらえたのは世界で初めて。天文観測の新たな手法として期待される。米専門誌「フィジカル・レビュー・レターズ」などに論文が掲載される。

重力波は、ブラックホールのような重い天体が動いた際に生じる時空のゆがみ。光速でさざ波のように広がるとされる。アインシュタインが約100年前に存在を予測し、2015年に初めて検出され、成果は今年のノーベル物理学賞に選ばれた。観測への応用も期待されていたが、過去4回検出された重力波はいずれも、光を吸

収するブラックホール同士の合体で生じたため観測できなかった。

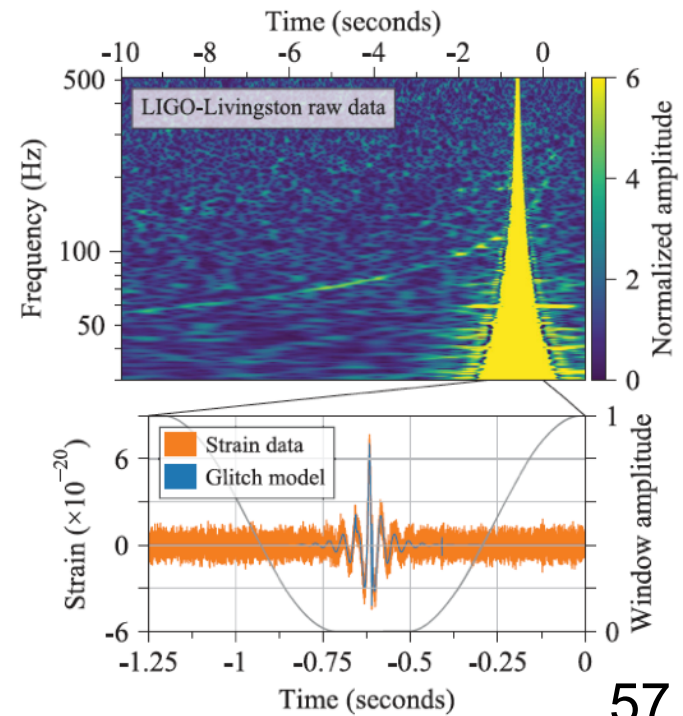
今回とらえた重力波は、地球から約1億3千万光年離れたところで、お互いに引き合っていた二つの中性子星（質量は太陽の1・2倍～1・6倍）が一つに合体した際に生

重力波の観測



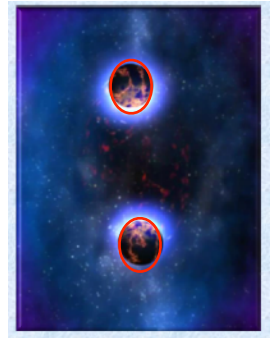
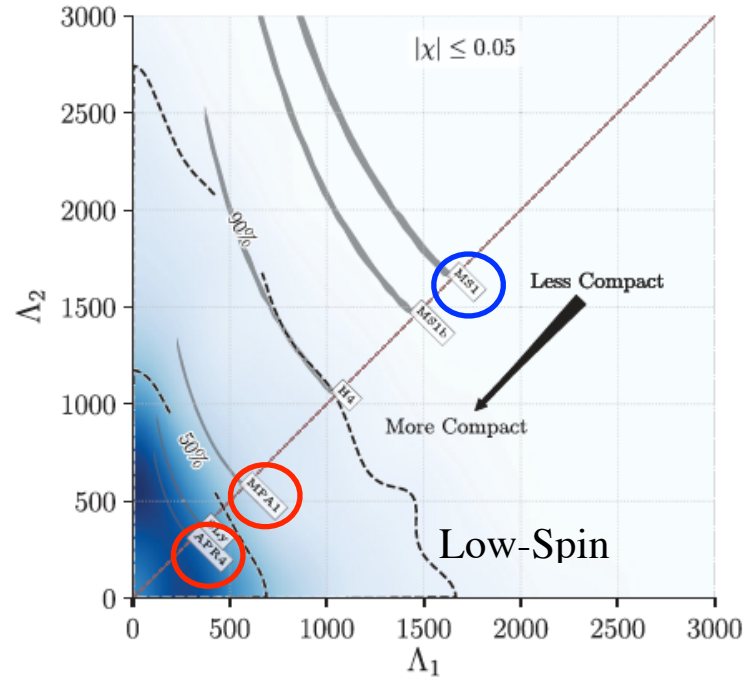
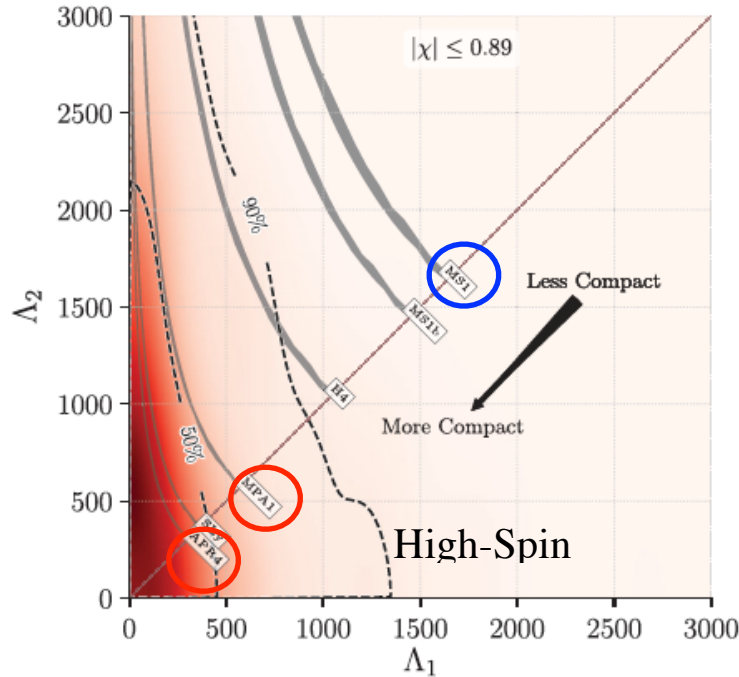
GW
PRL119, 161101(2017)

Advanced LIGO



Constraints from the N-Star Merger GW

PRL119, 161101(2017)



Tidal Deformation

潮汐力

Tidal Deformation Parameters

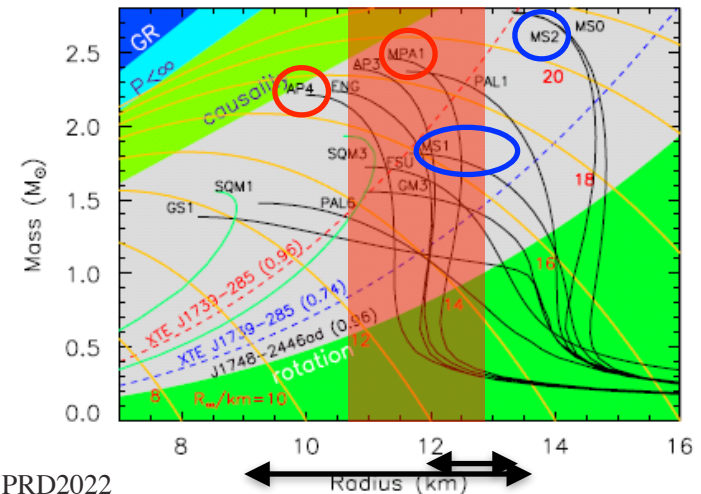
N-Star Radius ($1.4M_\odot$)

$R^{1.4} < 13.76 \text{ km}$ F.J. Fattoyev et al., PRL120, 172702(2018)

$12.00 < R^{1.4} < 13.45 \text{ km}$ E.R. Most et al., PRL120, 261103(2018)

$9.0 < R^{1.4} < 13.6 \text{ km}$ I. Tews et al.,

N-star merger GW analysis is giving constraints on the nuclear EOS that are consistent with the study of atomic nuclei.



高感度化された重力波検出器の今後の観測で2000個の

重力波観測で 5-200m の精度で中性子半径がわかる(!) K. Chatziioannou, PRD2022