

2日目の質問講義予定

温度ゼロの状態方程式で良いのか？

E1の意味

超高エネルギー宇宙線を利用した物理測定

中性子星の電磁波放出、磁場と自転軸

K_A と K_{nm} の関係

軽い核の崩壊が必要な理由

トロイダル以外に発見されていない励起状態はあるか？

PDRがSn付近にある理由

$B(E1)$ と $dB(E1)/dE_x$ の両方が使われている？

σ_{abs} を(γ ,n)で測定する場合の分岐比の測定方法は？

トロイダルが複数ピークに分かれている意味は？トロイダル励起から何が分かるか？

陽子散乱では高スピンは難しい？

変形核のほうが対称エネルギーを調べやすい？

原子核の粒子数は熱統計力学を適用するのに十分か？

どうしてアイソトープを測りたいか？

状態方程式から中性子星の構造や重力波を知る方法は？

なぜ非圧縮率の図がミスリーディングか？

中性子星のm-rと状態方程式の関係が1対1対応である理由か？

^{208}Pb は中性子スキンから中性子を放出した方が安定か？

原子核物質の状態方程式

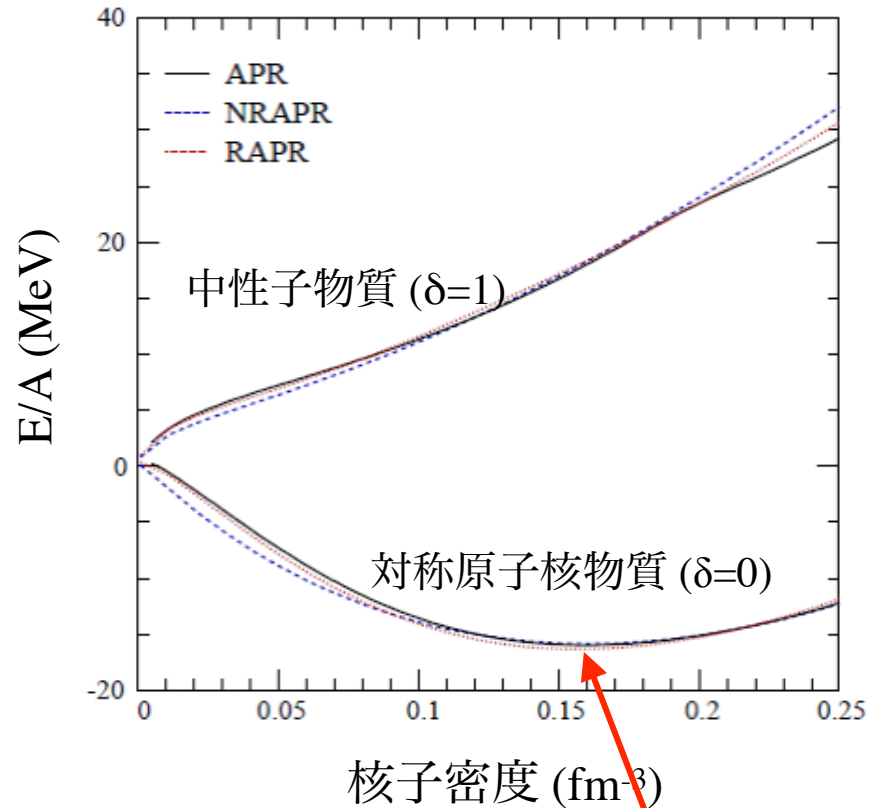
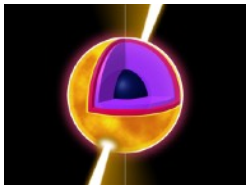
温度 ~ 0

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)

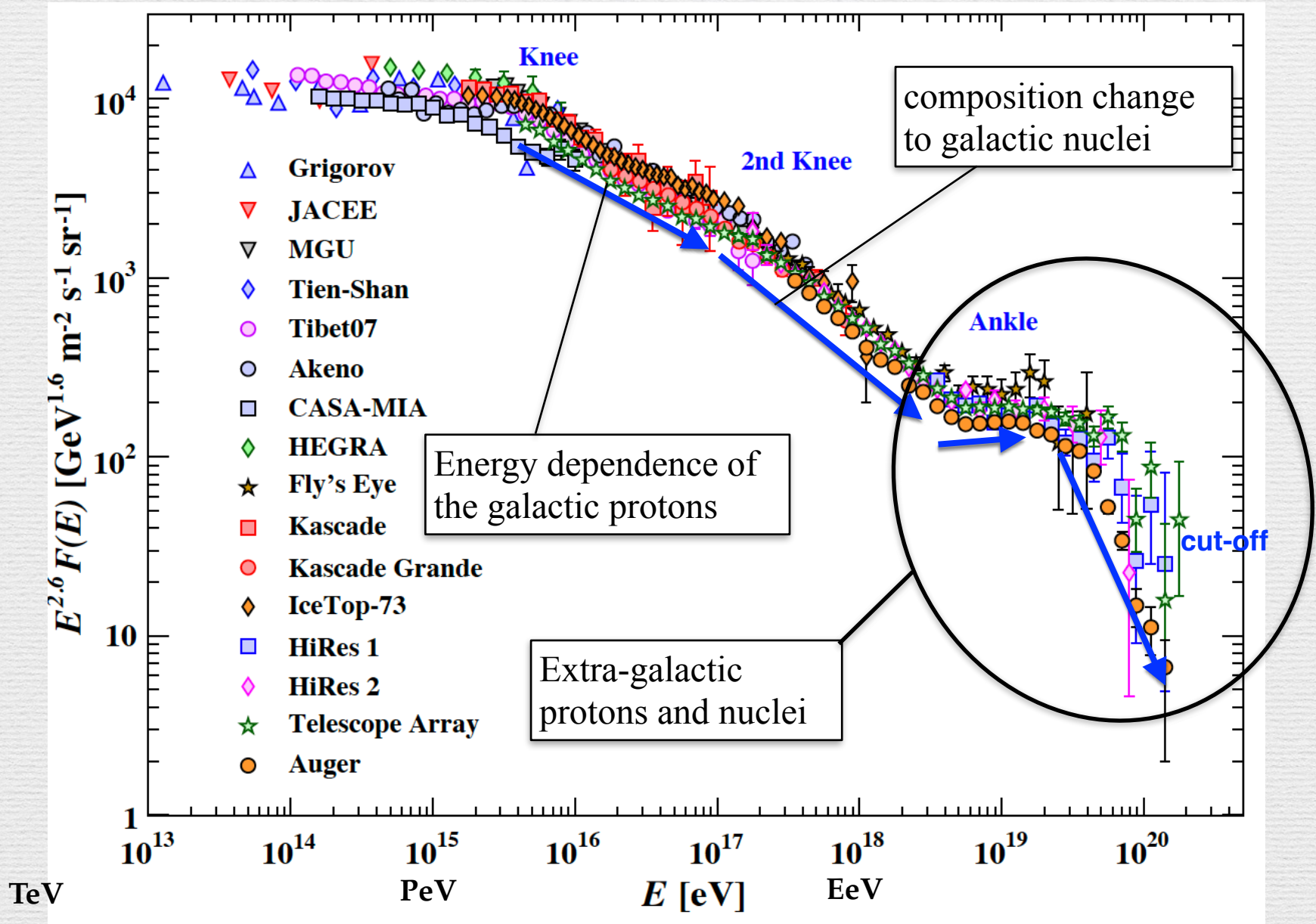
非対称度

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

中性子星



Ultra-High-Energy Cosmic Rays (UHECRs) [PDG2018]



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

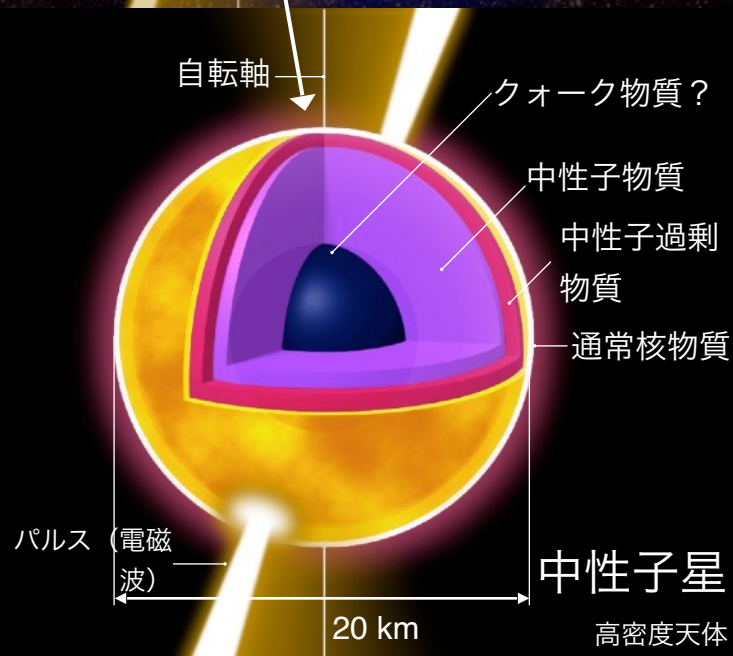
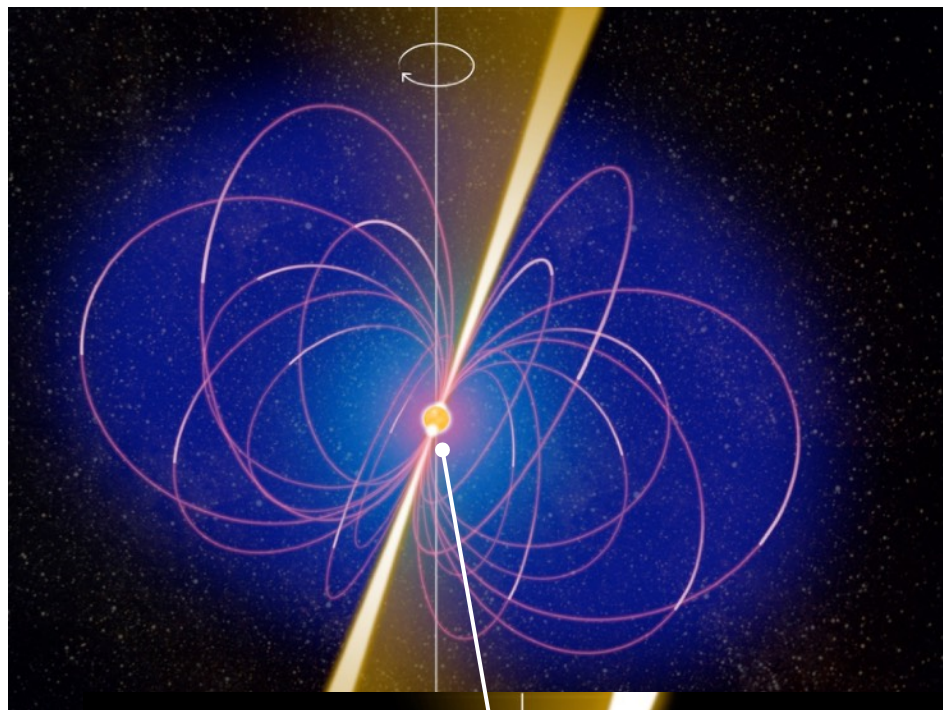
温度: 100万度

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！

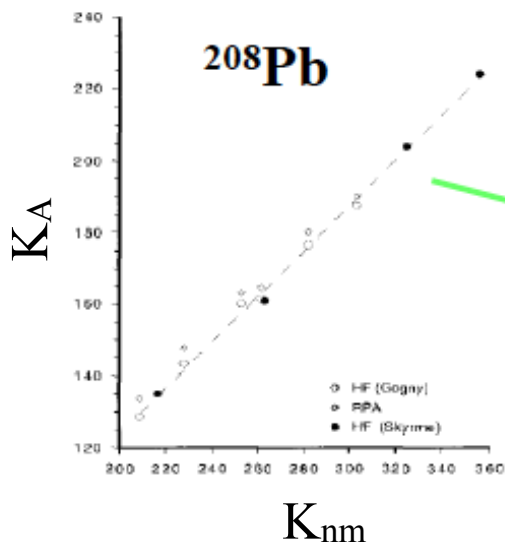


E/A : binding energy per nucleon

K_A : incompressibility

ρ : nuclear density

ρ_0 : nuclear density at saturation



K_A is obtained from excitation energy of ISGMR

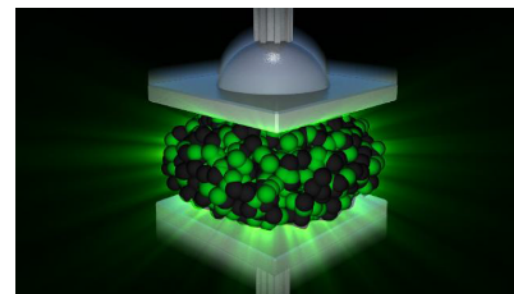
$$K_A = 0.64K_{nm} - 3.5$$

J.P. Blaizot, NPA591 (1995) 435

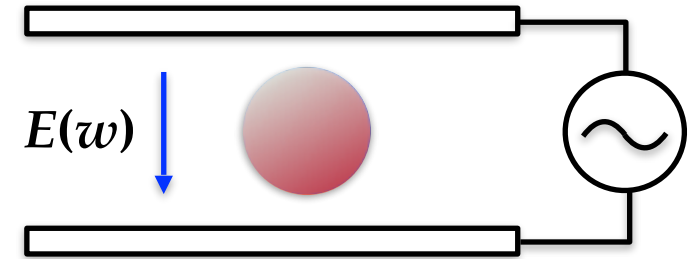
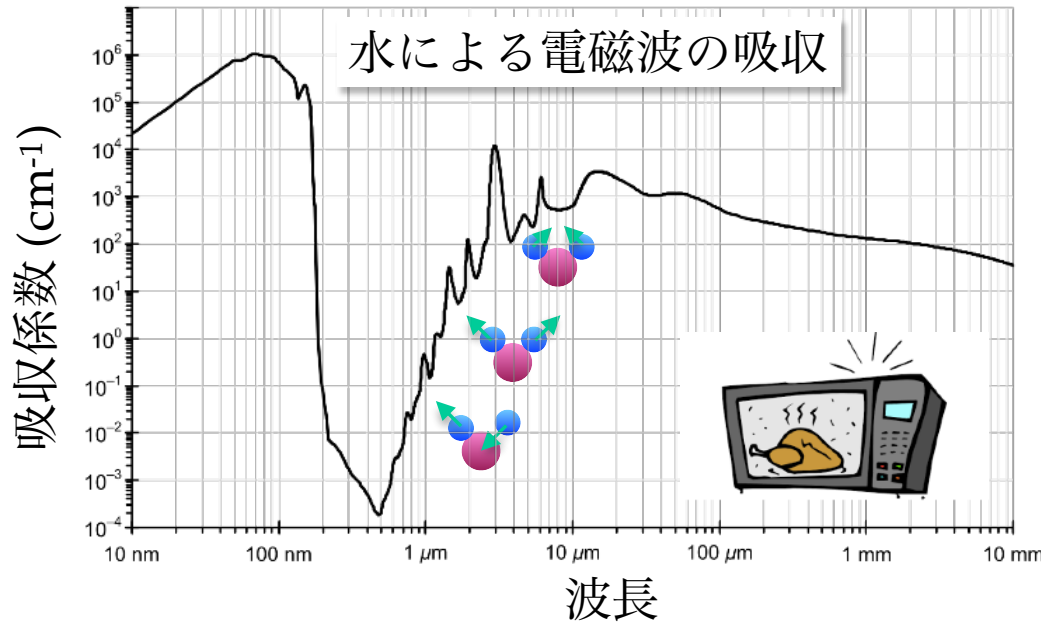
From GMR data on ^{208}Pb and ^{90}Zr ,

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

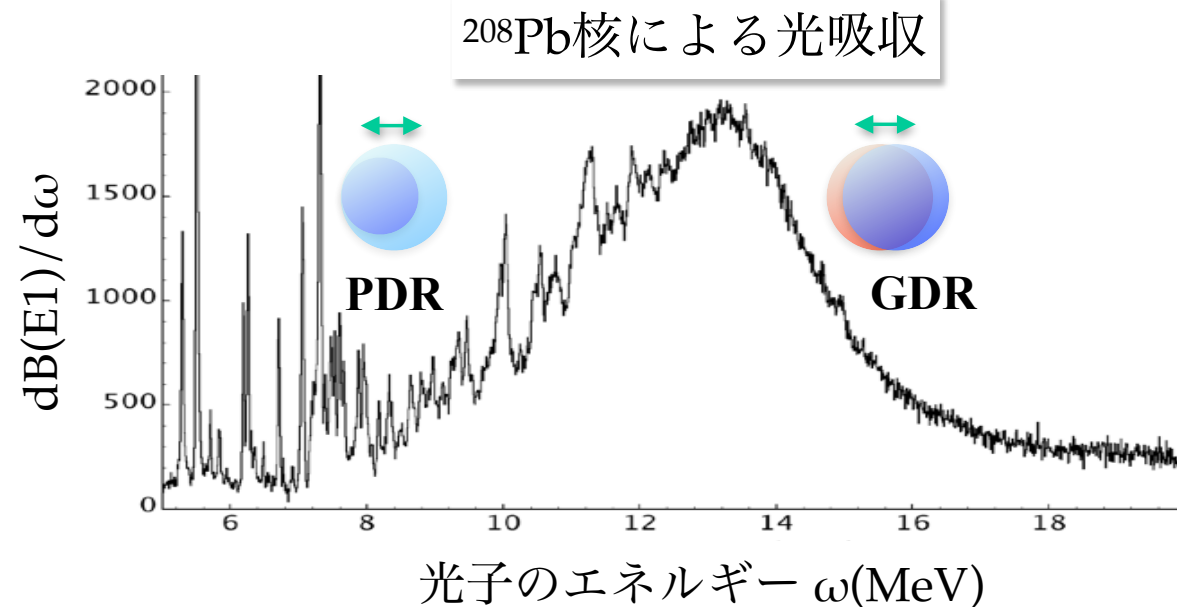
[See, e.g., G. Colò *et al.*, Phys. Rev. C 70 (2004) 024307]



原子核の電気応答



振動電場中の誘電体

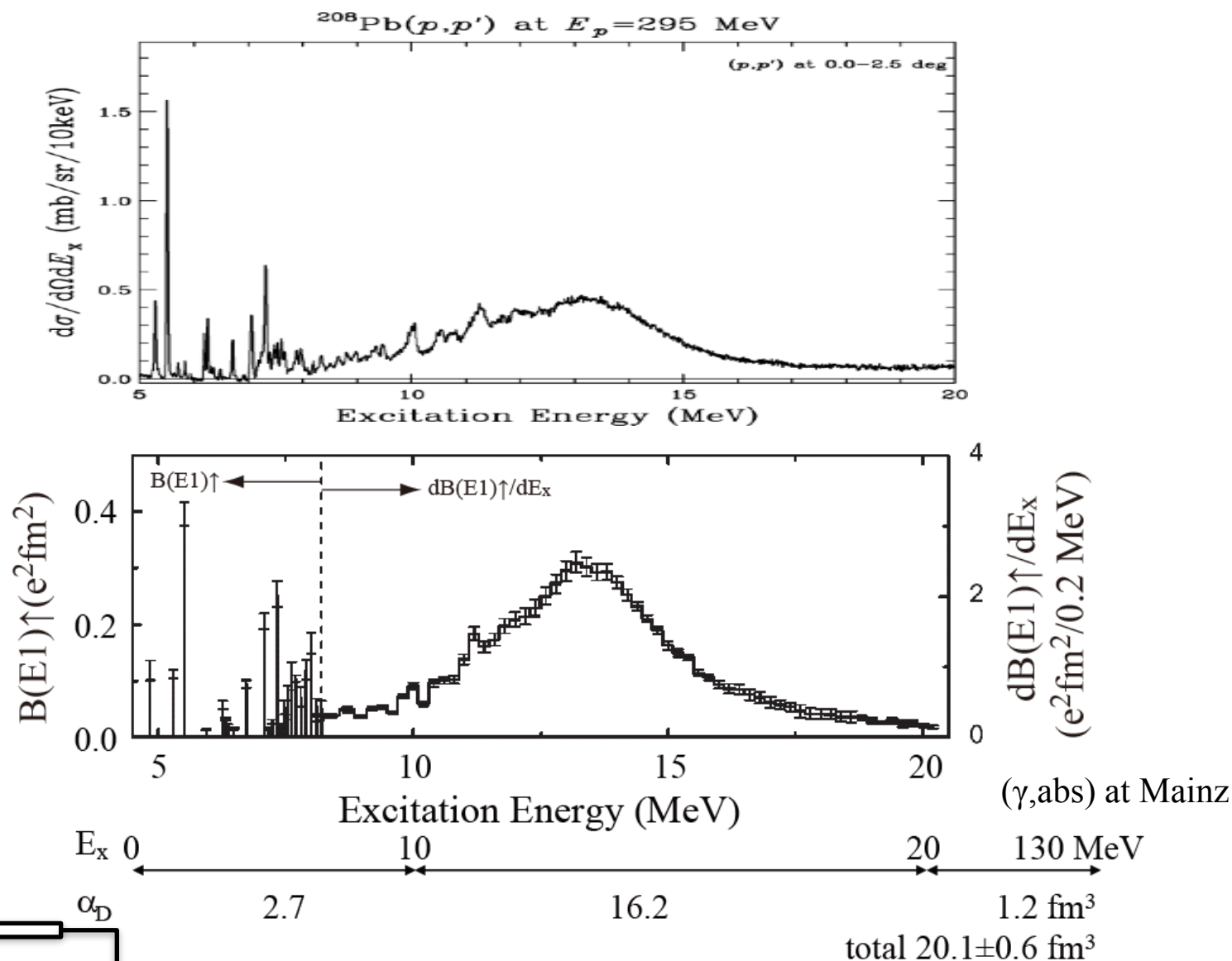


(E1) 光吸収断面積

E1 換算遷移確率

$$\sigma_{\text{abs}}^{E1} = \frac{16\pi^3\alpha\omega}{9} \frac{dB(E1)}{d\omega}$$

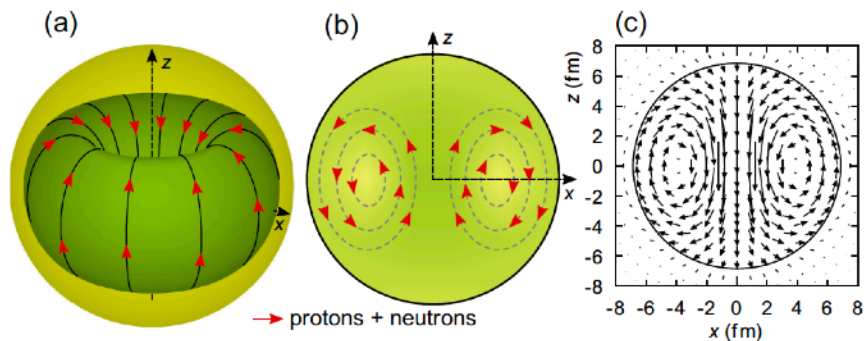
Electric Dipole Polarizability: ^{208}Pb



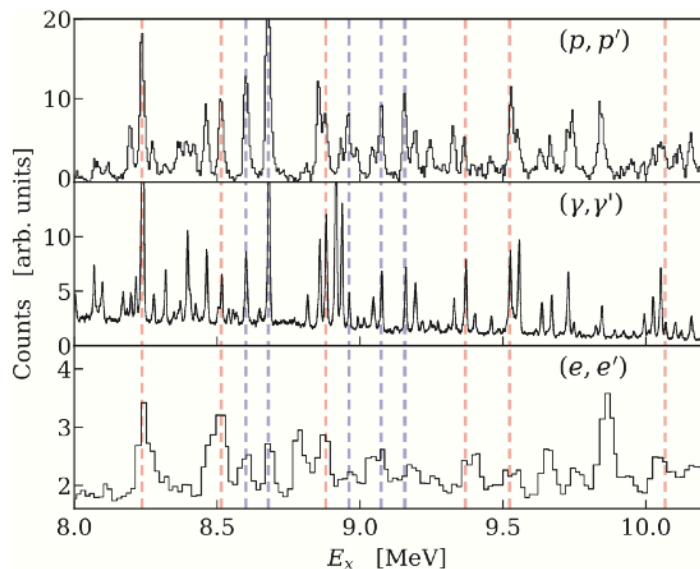
Candidate Toroidal Electric Dipole Mode in ^{58}Ni

P. von Neumann-Cosel et al., PRL**133**, 232502 (2024)

I. Brandherm et al., PRC**110**, 034319 (2024)



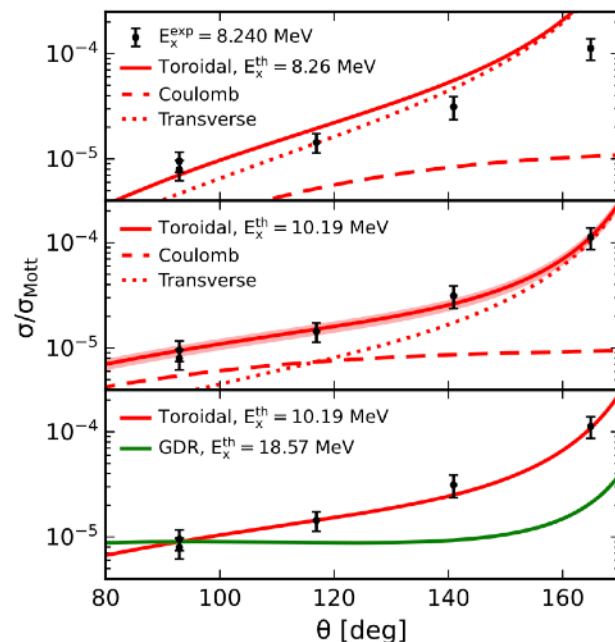
Toroidal Electric Dipole Mode



Several excited states assigned to $M1$ by (e, e')

→ found to be $E1$ by high-resolution (p, p') at RCNP

→ confirmed by (γ, γ') data



(e, e') angular distributions

→ consistent with toroidal dipole characterized by strong transverse current at backward angles

8 candidates of toroidal dipole states were found.

Smallest quantum vortex mode ever observed!

→ requires re-study of the Pygmy Dipole Resonance states found in many nuclei.

原子核の回転励起状態

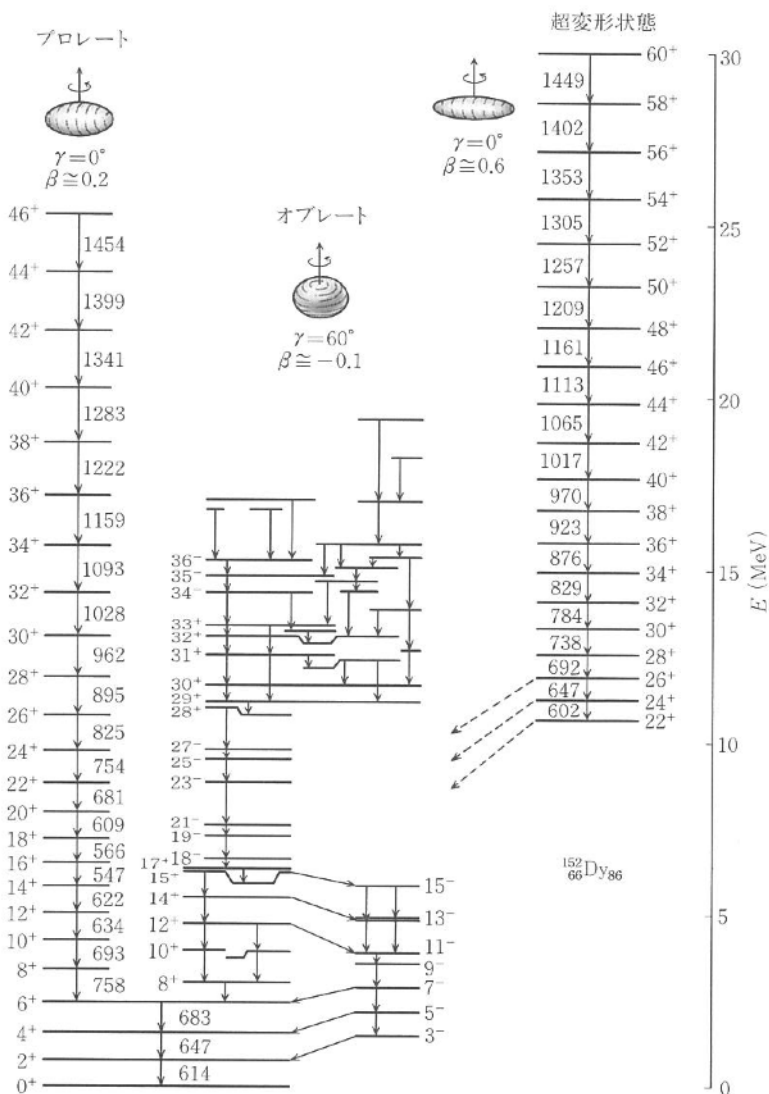


図 5-3 ^{152}Dy の励起スペクトル。矢印の横の数字は E 2 遷移のガンマ線のエネルギー (keV) を示す。(J. F. Sharpey-Schafer: Prog. Part. Nucl. Phys. Vol. 28 (1992)p. 187 による.)

高田・池田「原子核構造論」

物理的描像

集団励起状態(巨大単極子共鳴 GMR)

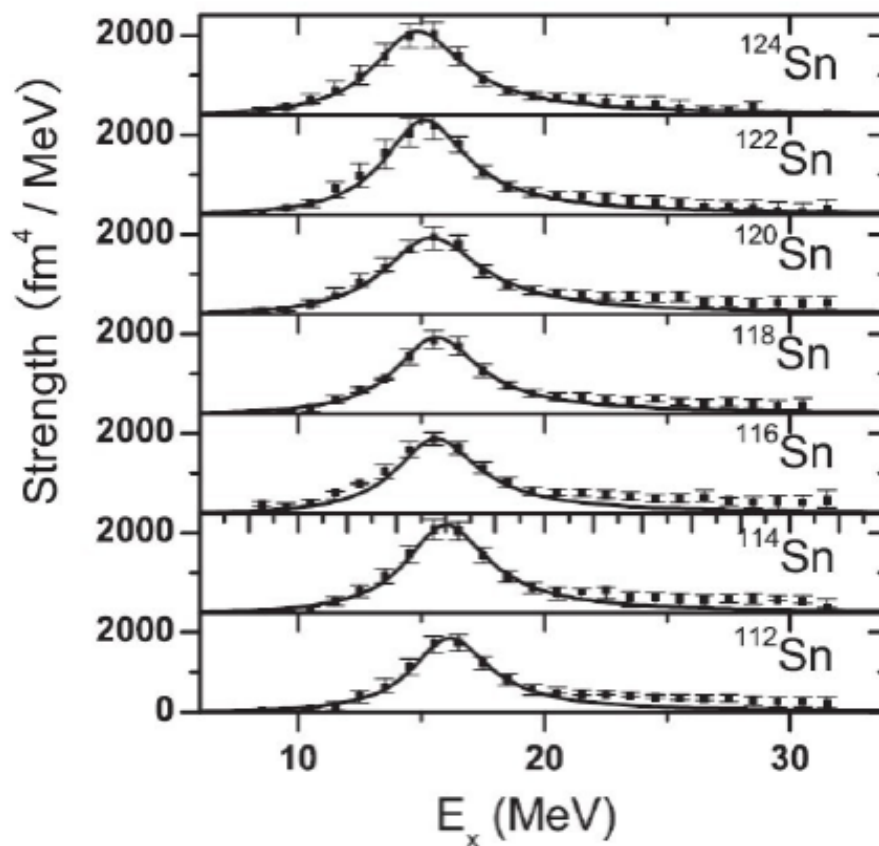
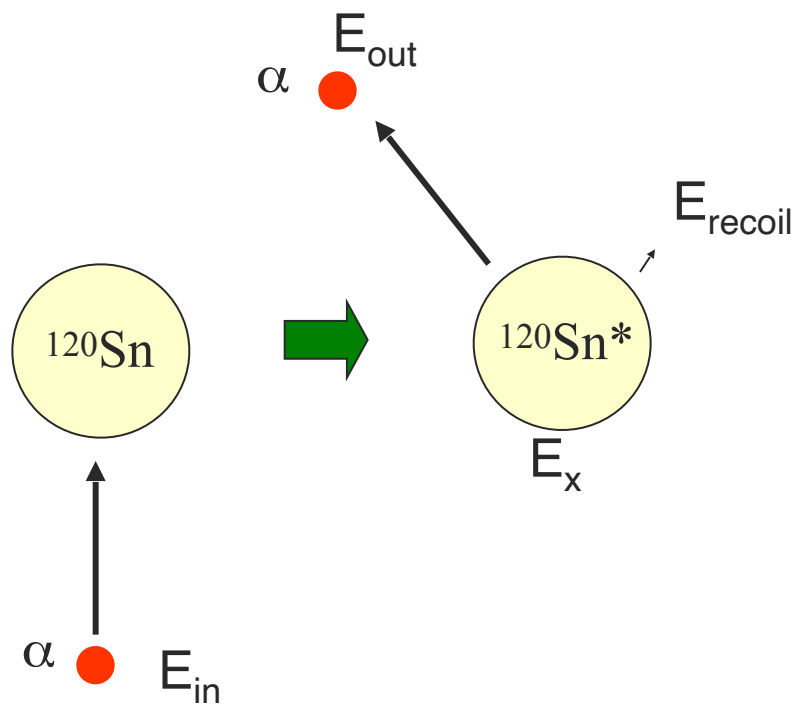
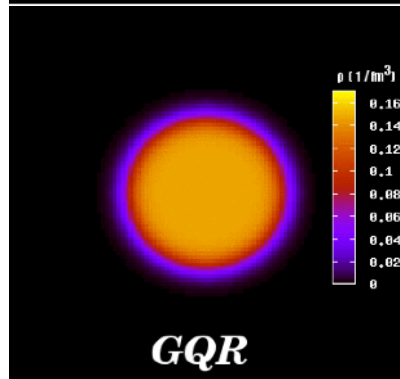
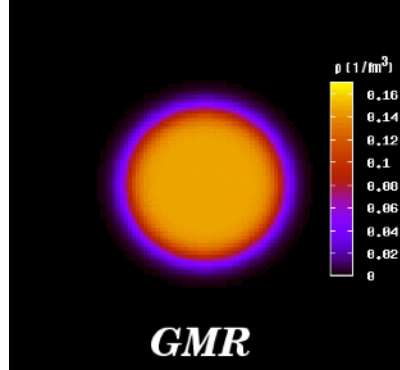
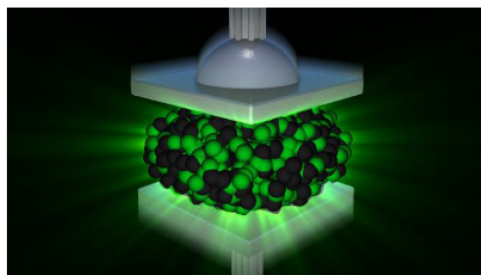


図 2.2.13: Sn 同位体の GMR 励起強度分布。

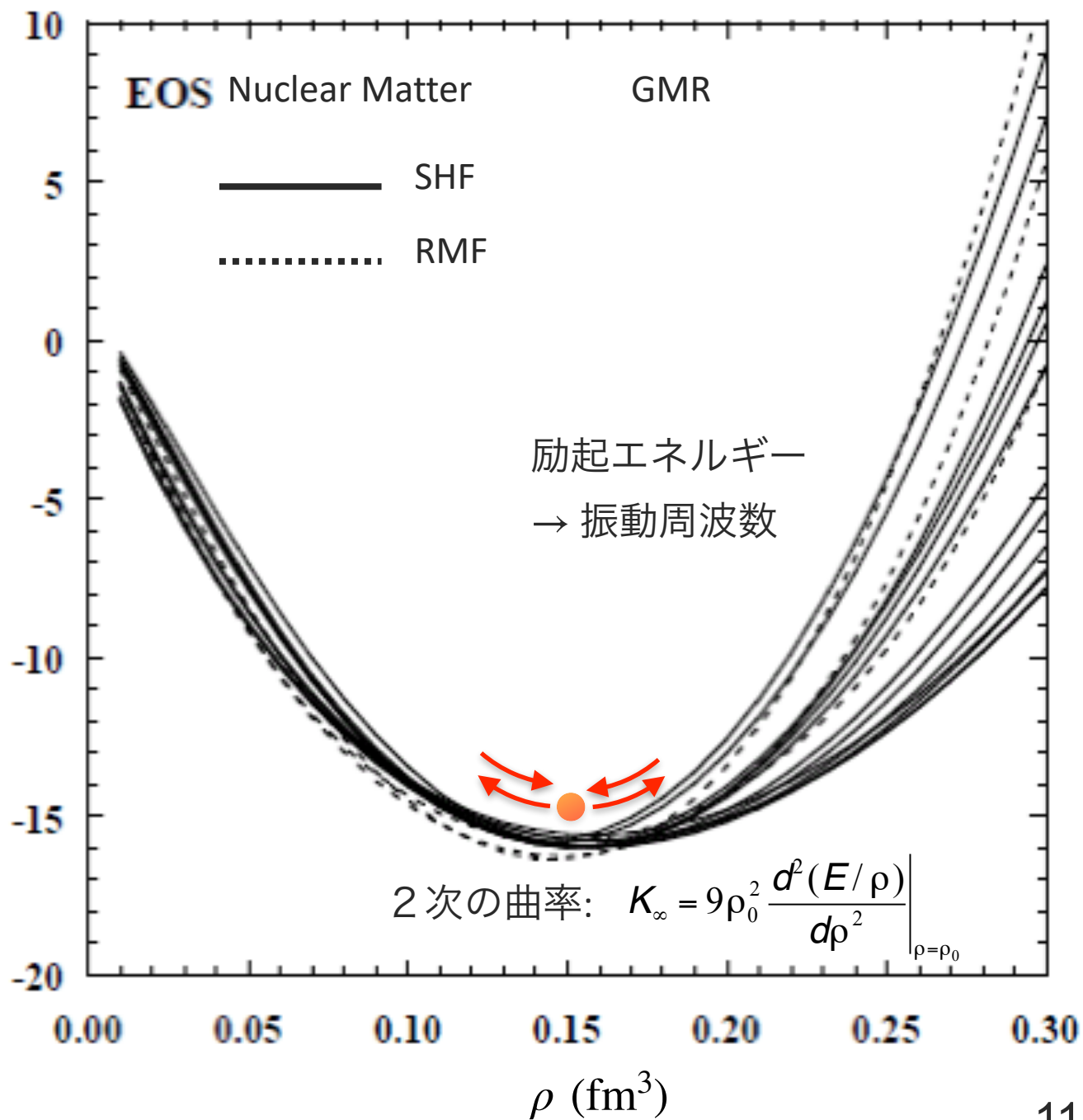


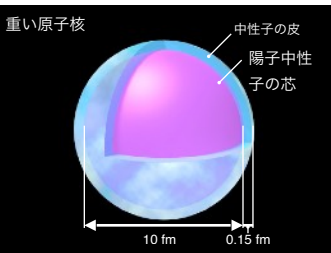
nuclear
incompressibility



※この図はややミス
リーディング...

E/A (MeV)

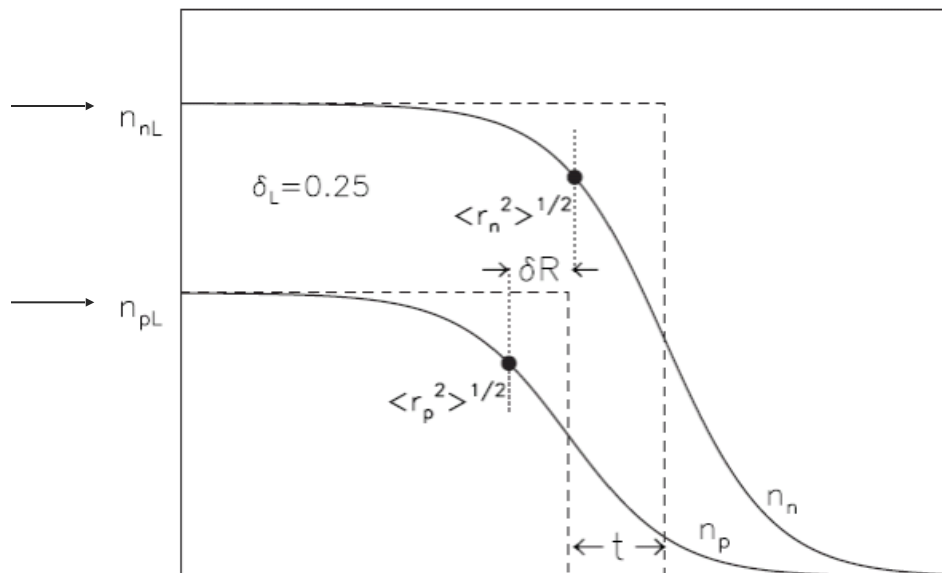




中性子スキンと対称エネルギー

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。