

Introduction to the spin physics

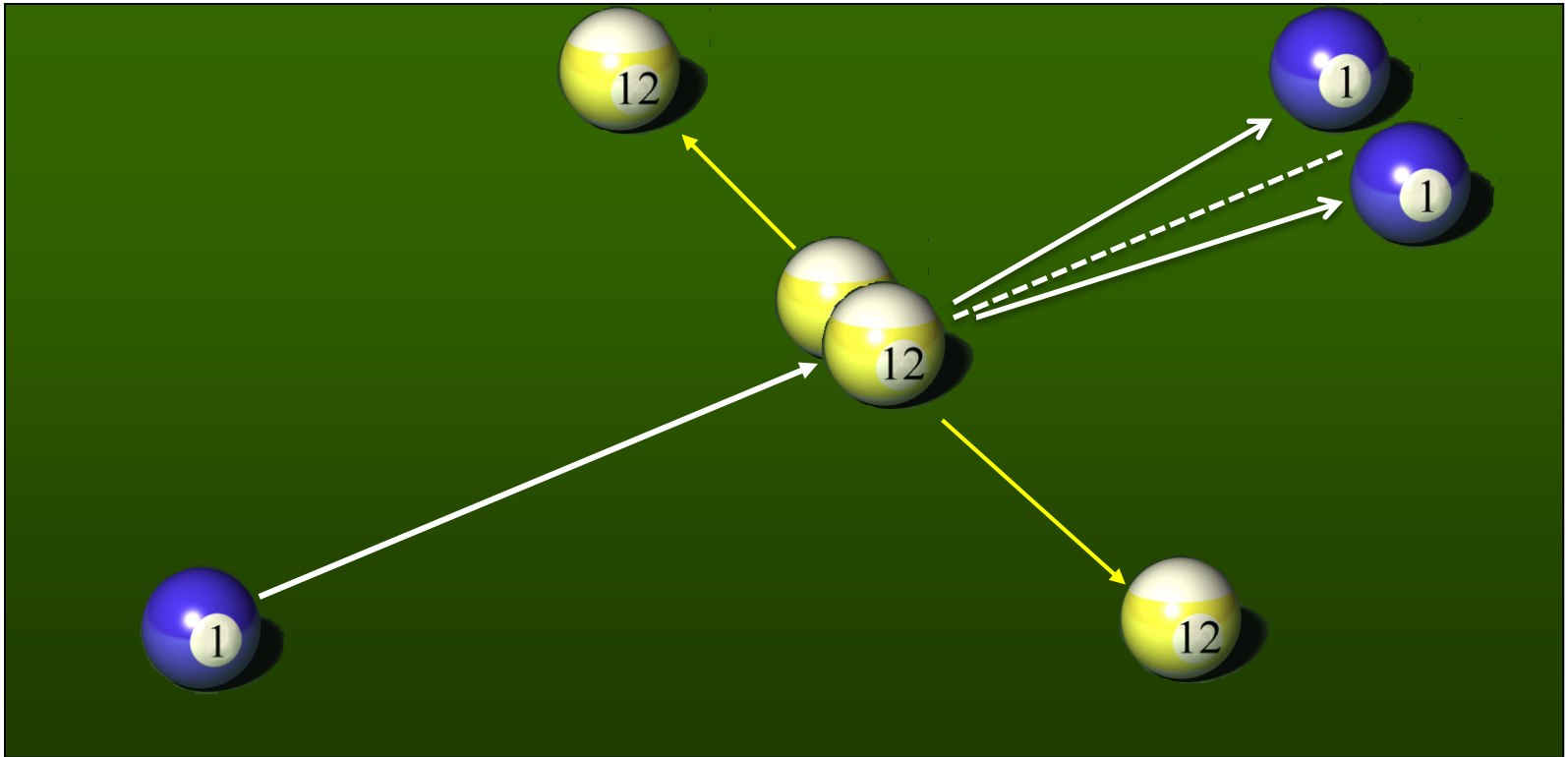
RIKEN/RBRC

Itaru Nakagawa

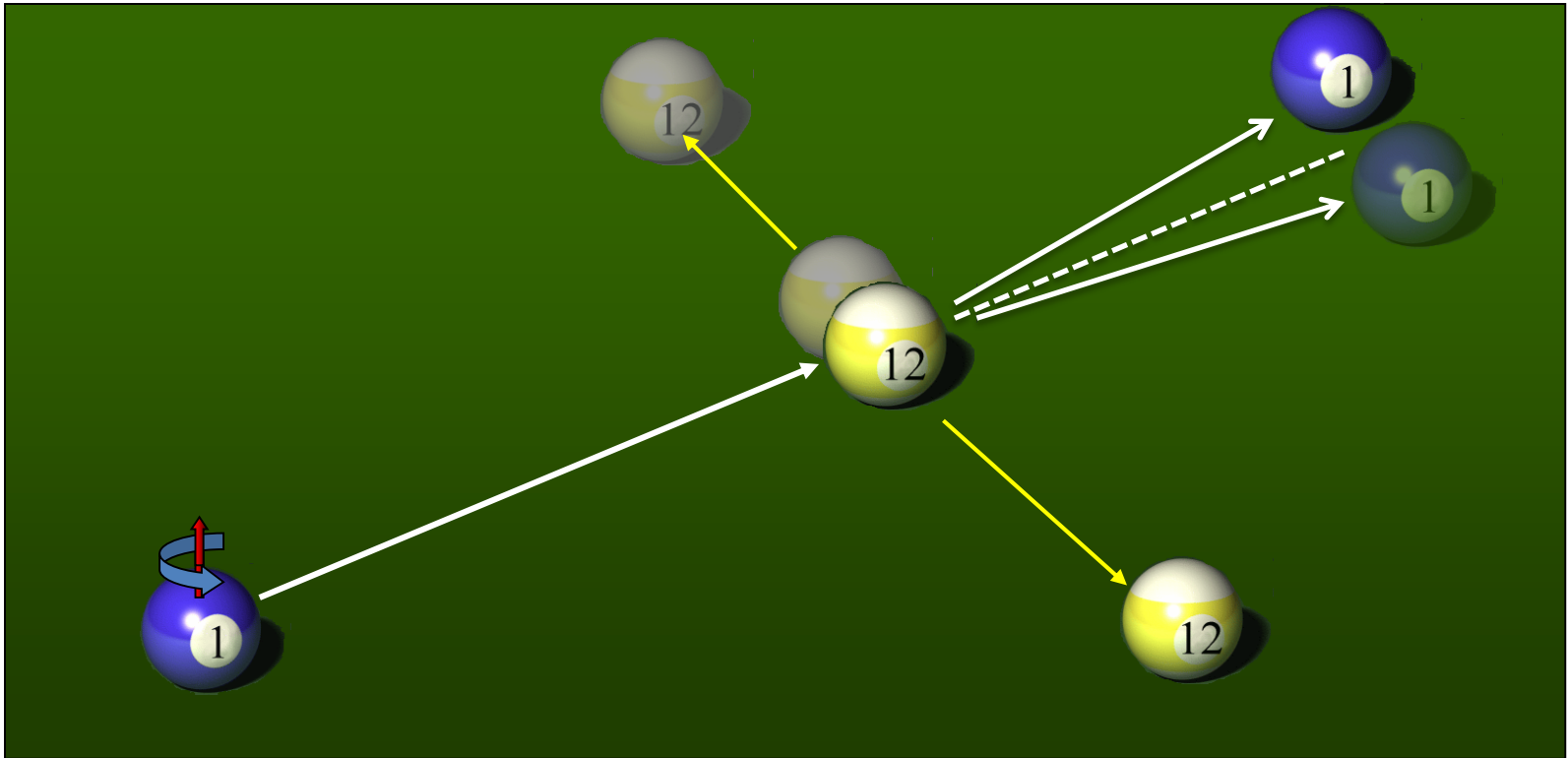
中川格

目次

- 難しい話は抜きにして、非対称測定とはなんぞやについてザックリとお話しします。

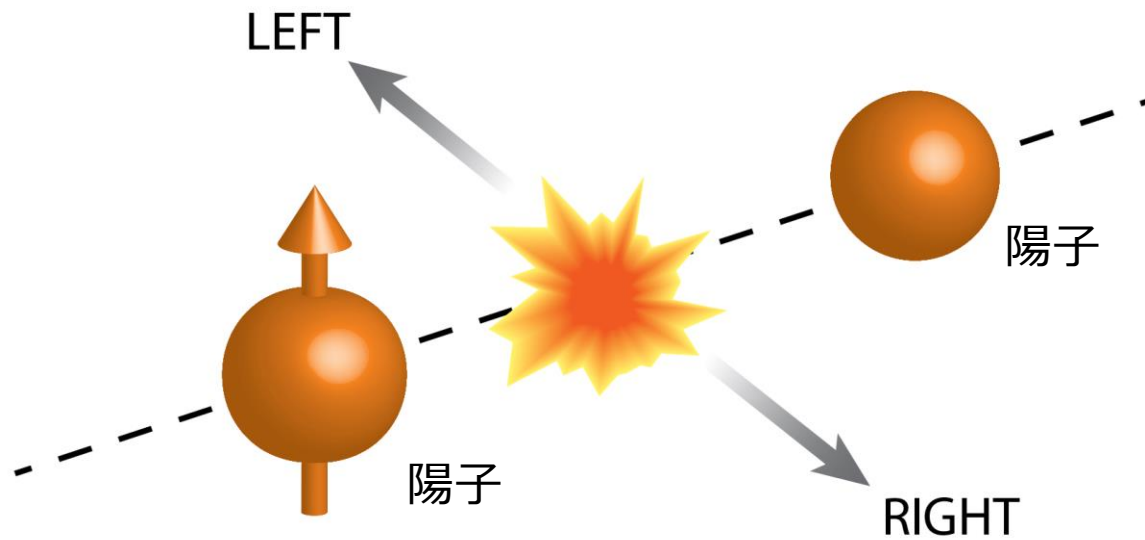


手玉に自転をかけない場合 → 左右のポケットに落ちるのは半々



手玉に”特定の”スピンをかけた場合 → ポケットに落ちる数に左右の偏りがでる。

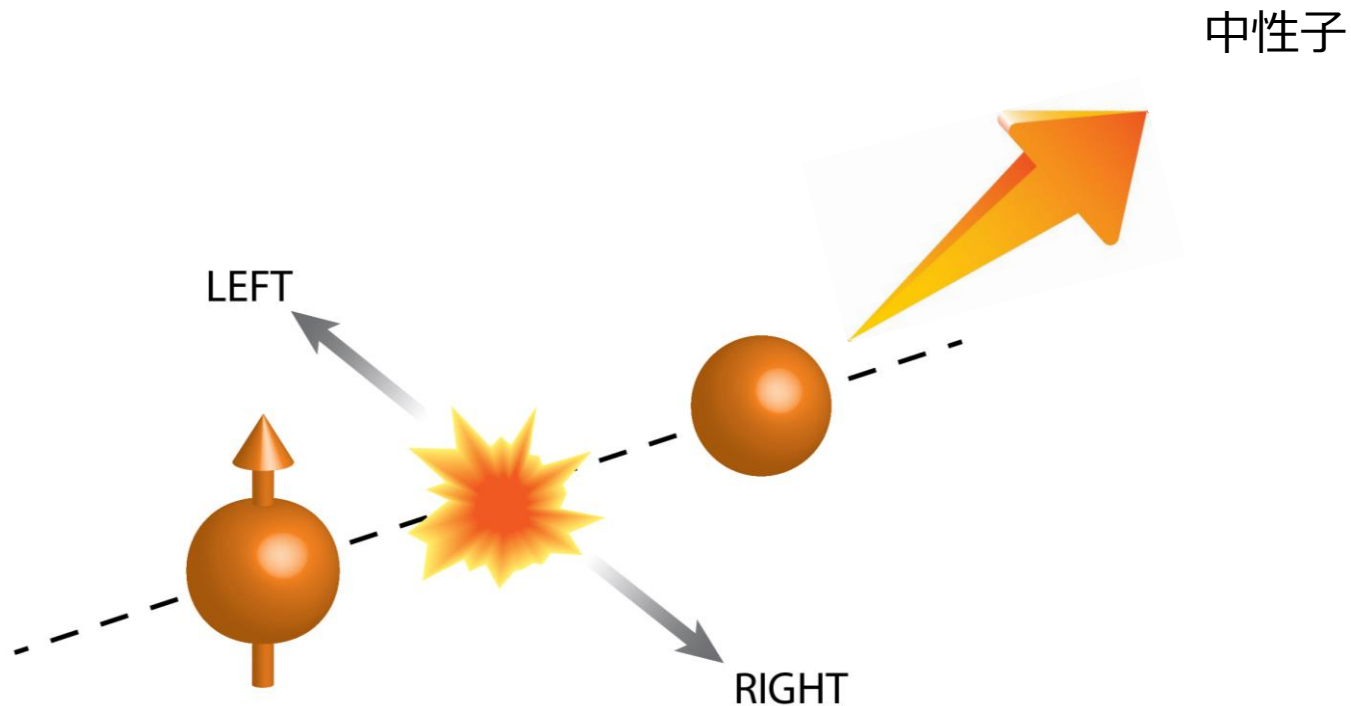
(量子の場合は確率に支配される)



Transverse Single Spin Asymmetry

横偏極単スピンスピン非対称性

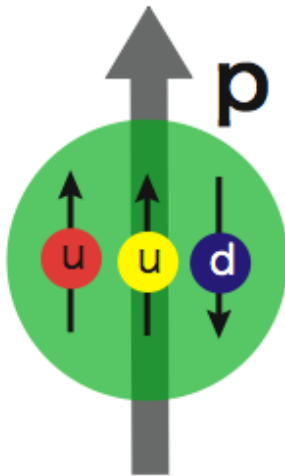
超前方中性子生成非对称性



Pion Cloud Model

パイオンの雲モデル

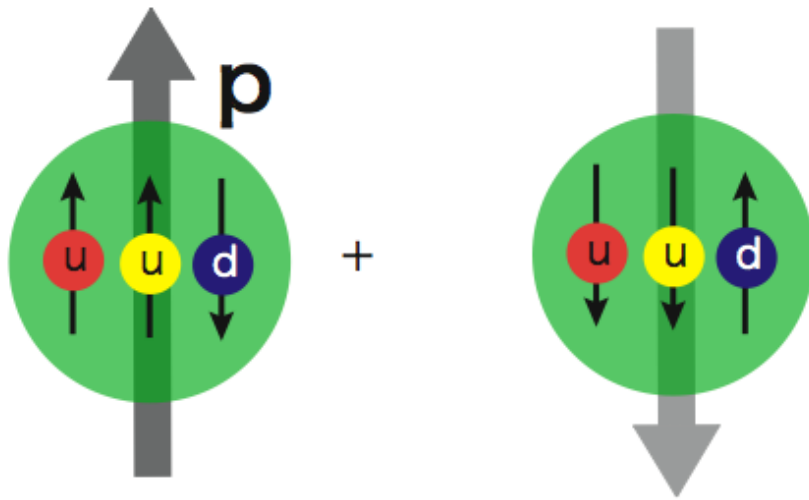
Proton Spin +1/2



$|p\rangle$

$$S + L = J \quad +\frac{1}{2} + 0 = +\frac{1}{2}$$

Proton Spin +1/2

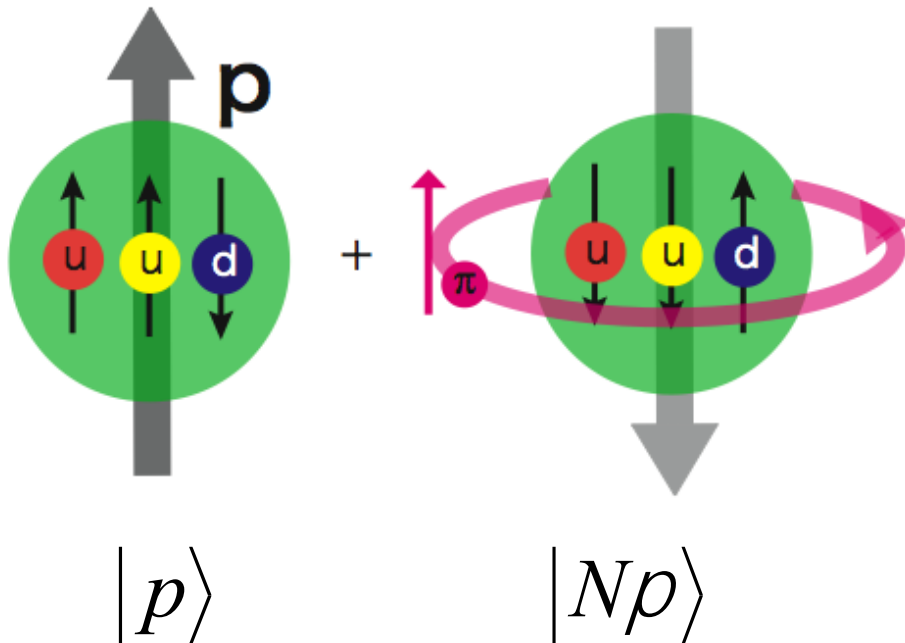


$|p\rangle$

$$S + L = J \quad +\frac{1}{2} + 0 = +\frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + 0 = 0$$

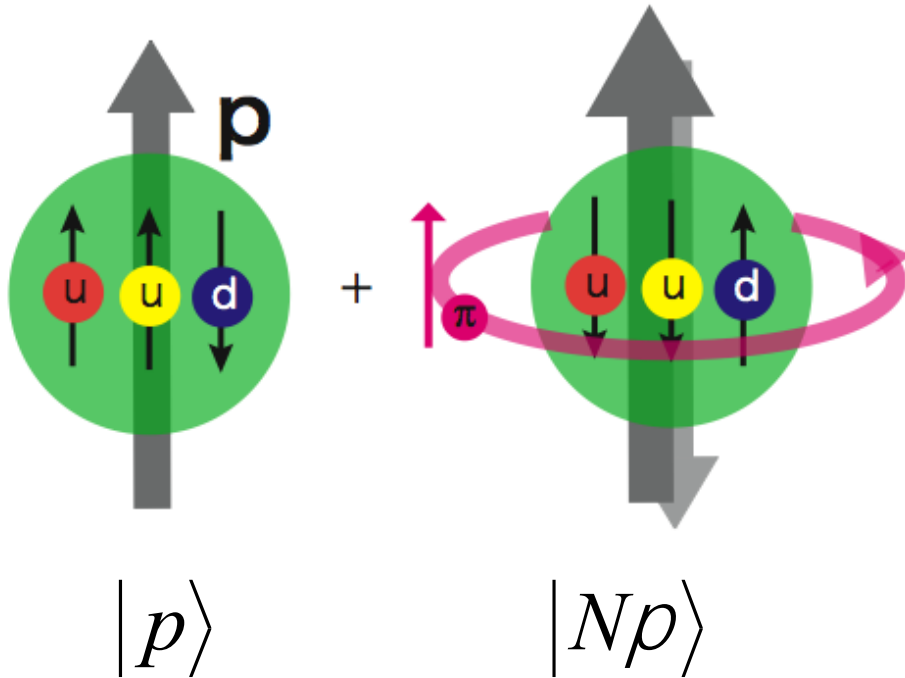
Proton Spin +1/2



$$S + L = J \quad + \frac{1}{2} + 0 = + \frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} - \frac{1}{2} + 0 + (0 + 1) =$$

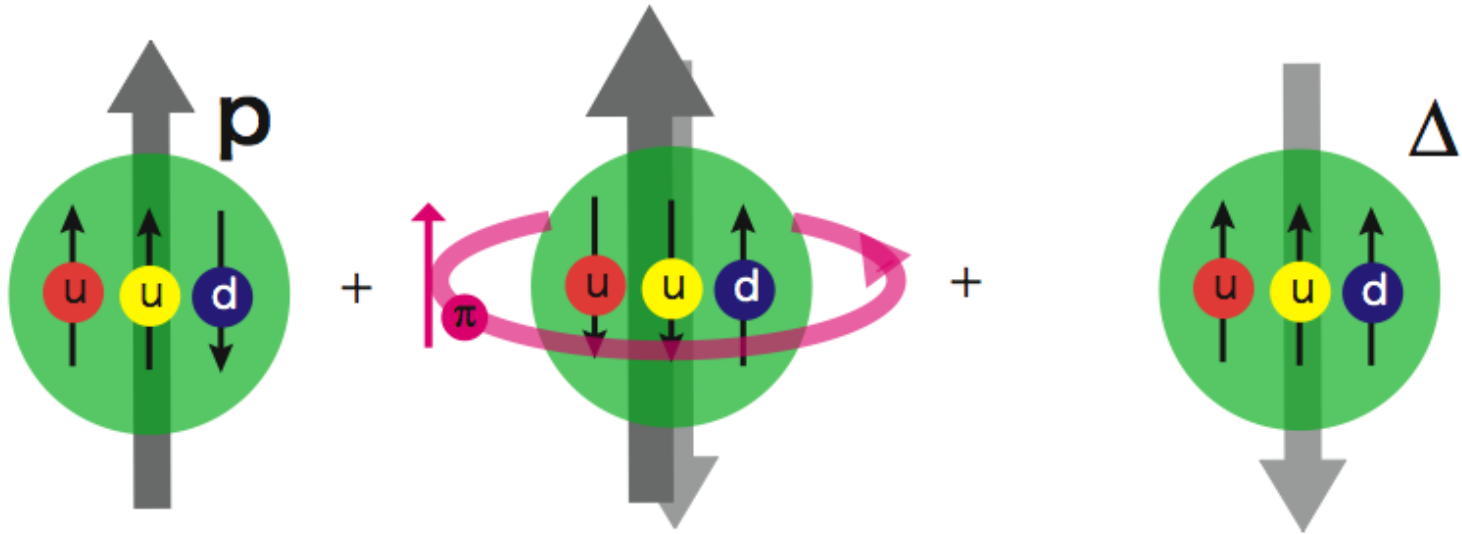
P-wave

Proton Spin +1/2



$$S + L = J \quad + \frac{1}{2} + 0 = + \frac{1}{2} \quad \frac{\cancel{e}}{e} - \frac{1}{2} + 0 + (0 + 1) = + \frac{1}{2}$$

Proton Spin +1/2



$|p\rangle$

$|Np\rangle$

Δ

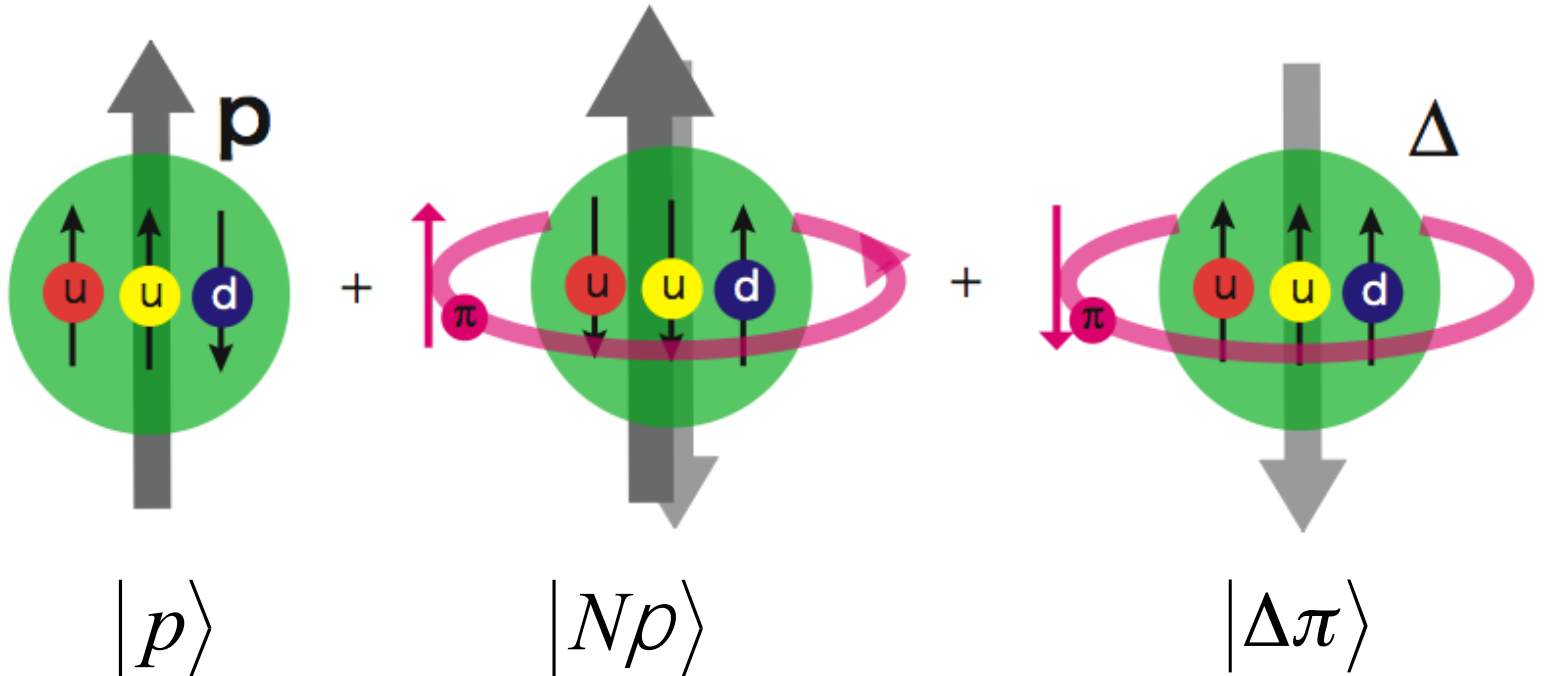
$$S + L = J$$

$$+\frac{1}{2} + 0 = +\frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + 0 + (0 + 1) = +\frac{1}{2}$$

$$\frac{3}{2} + 0 = \frac{3}{2}$$

Proton Spin +1/2



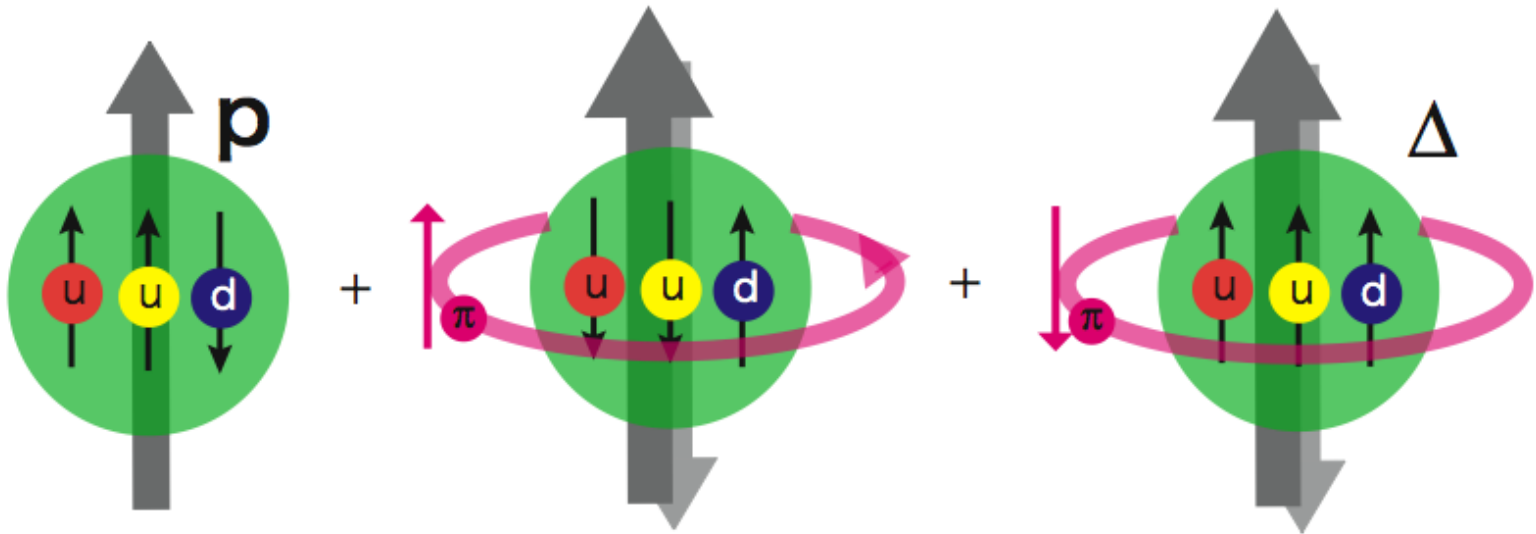
$$S + L = J$$

$$+ \frac{1}{2} + 0 = + \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + 0 + (0 + 1) = + \frac{1}{2}$$

$$\frac{3}{2} + 0 + (0 - 1) =$$

Proton Spin +1/2



$|p\rangle$

$|Np\rangle$

$|\Delta\pi\rangle$

$S + L = J$

$$+\frac{1}{2} + 0 = +\frac{1}{2}$$

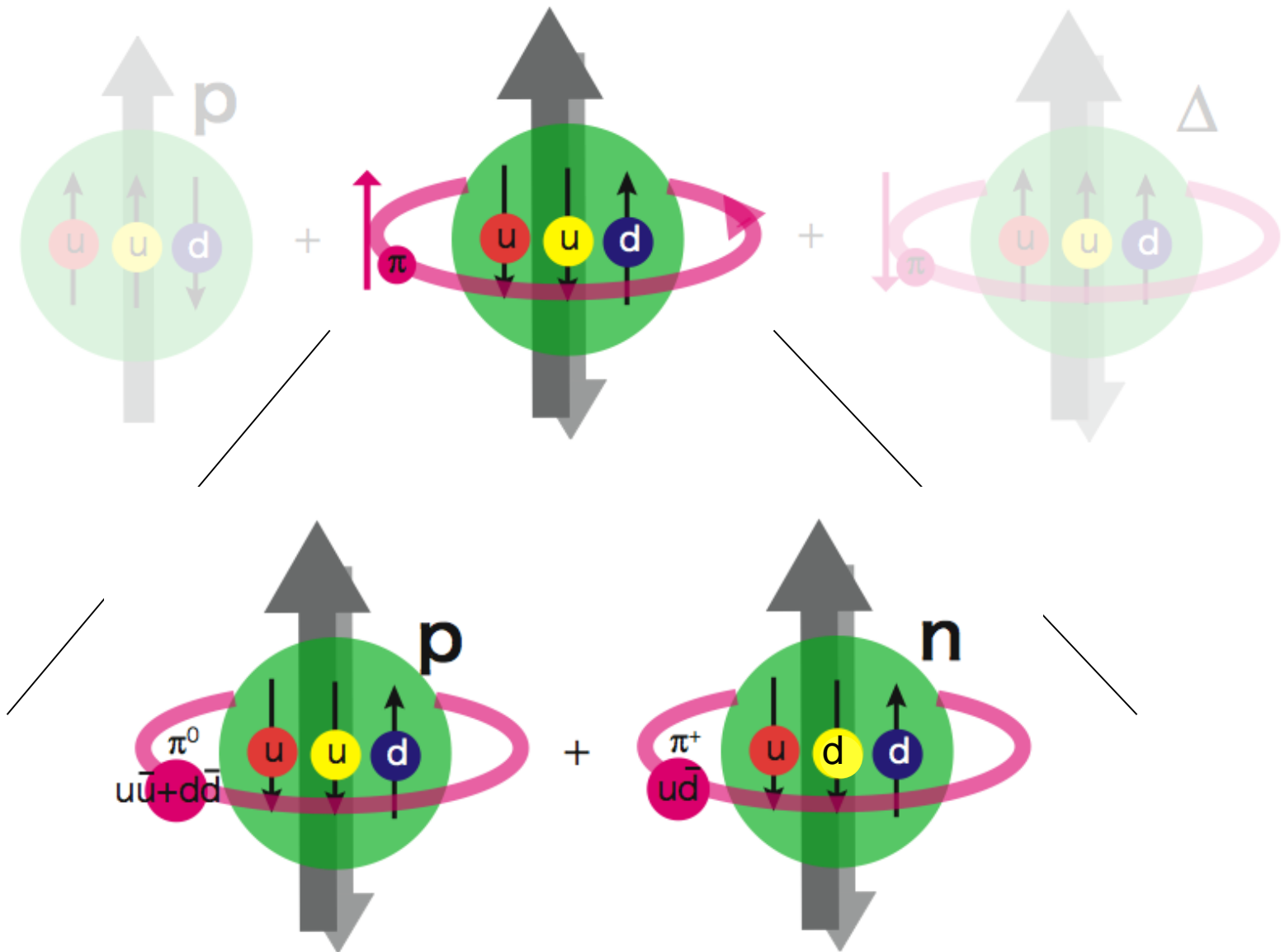
$$-\frac{1}{2} + 0 + (0 + 1) = +\frac{1}{2}$$

P-wave

$$+\frac{3}{2} + 0 + (0 - 1) = +\frac{1}{2}$$

P-wave

Proton Spin +1/2

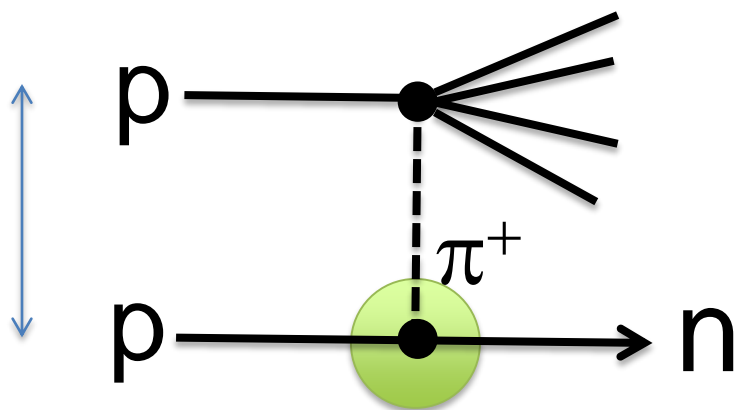


Very forward neutron production

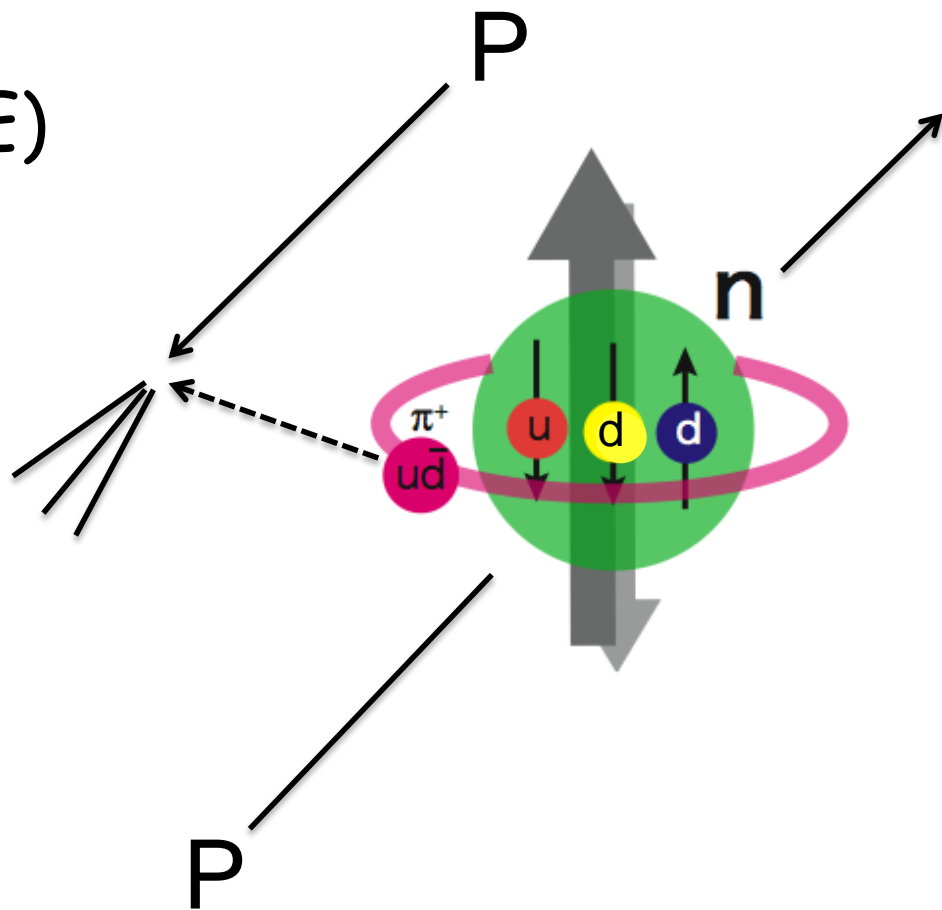
超前方中性子生成

超前方中性子生成反応

One Pion Exchange (OPE)

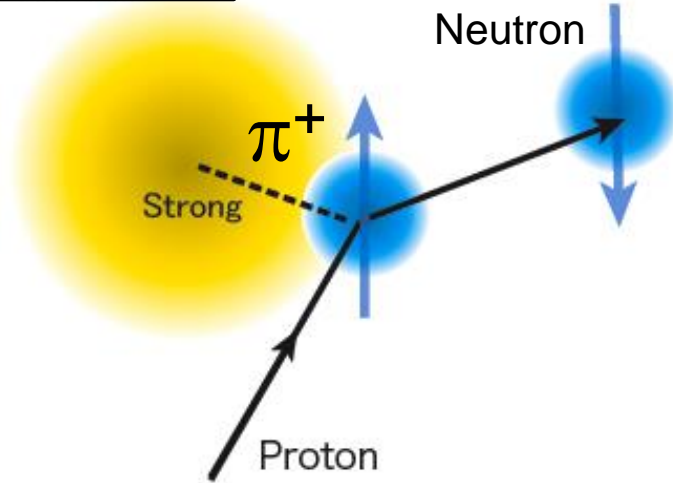


インパクトパラメーターbが大きい

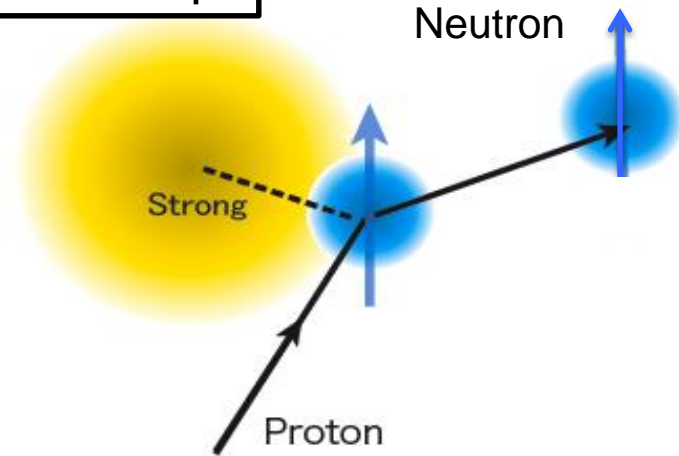


$p \uparrow p$ Forward Neutron

Spin flip



Spin non-flip

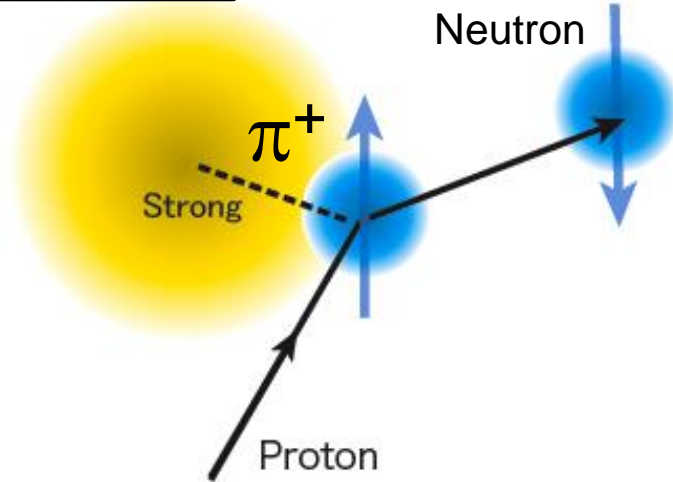


厳密にはスピントリップ、non-トリップはヘリシティ状態への分解で定義

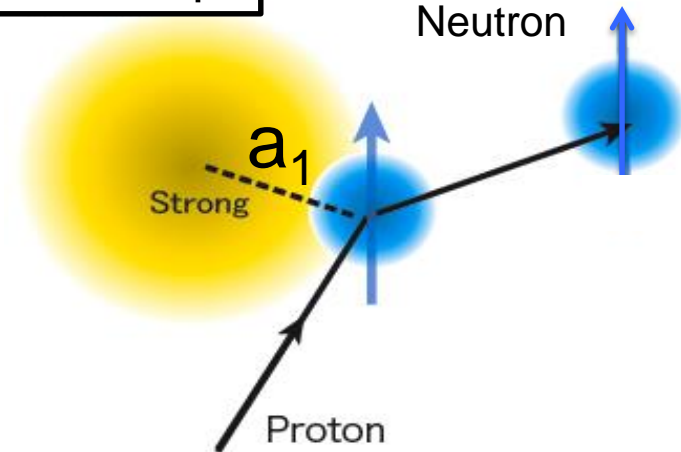
$$|\uparrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle + i|-\rangle), \quad |\downarrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle - i|-\rangle)$$

$p \uparrow p$ Forward Neutron

Spin flip



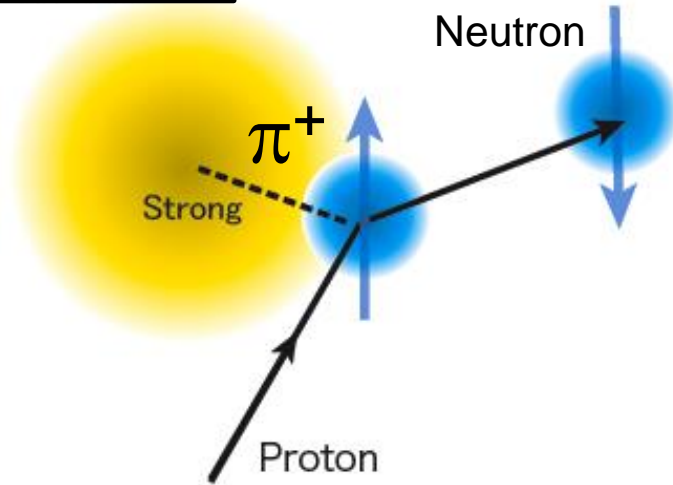
Spin non-flip



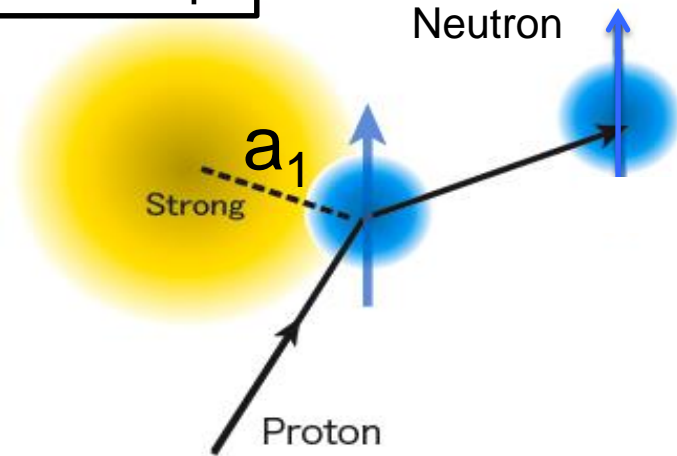
a_1 (1260) Reggeon
Spin Parity = 1^+

$p \uparrow p$ Forward Neutron

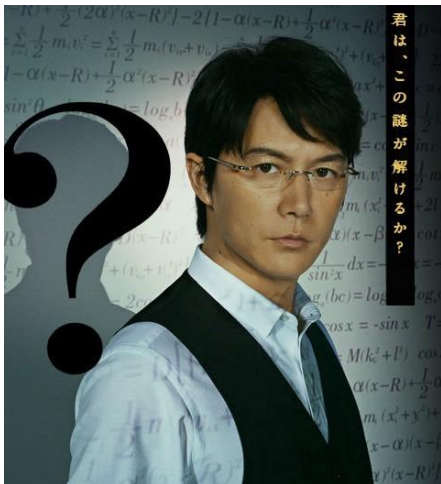
Spin flip



Spin non-flip

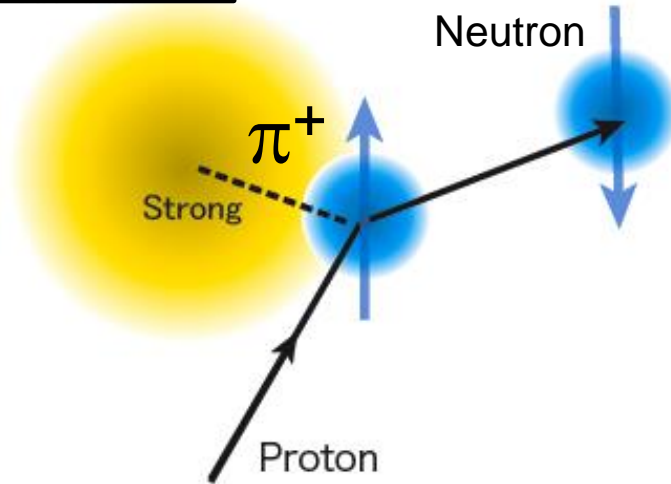


滅多に露出のない、
ぶっちゃけマイナーキャラ

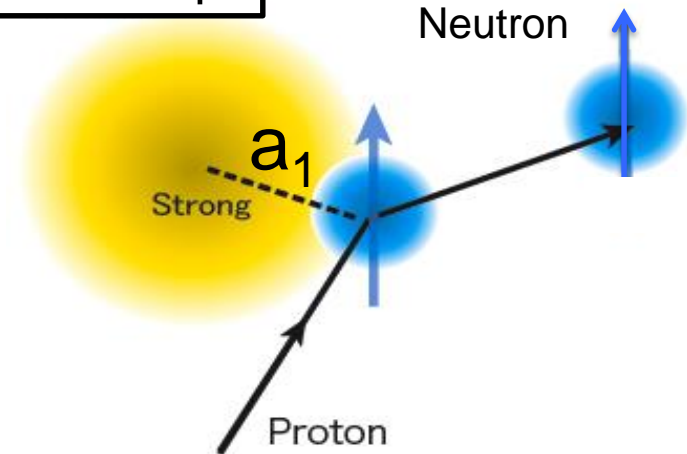


$p \uparrow p$ Forward Neutron 断面積

Spin flip



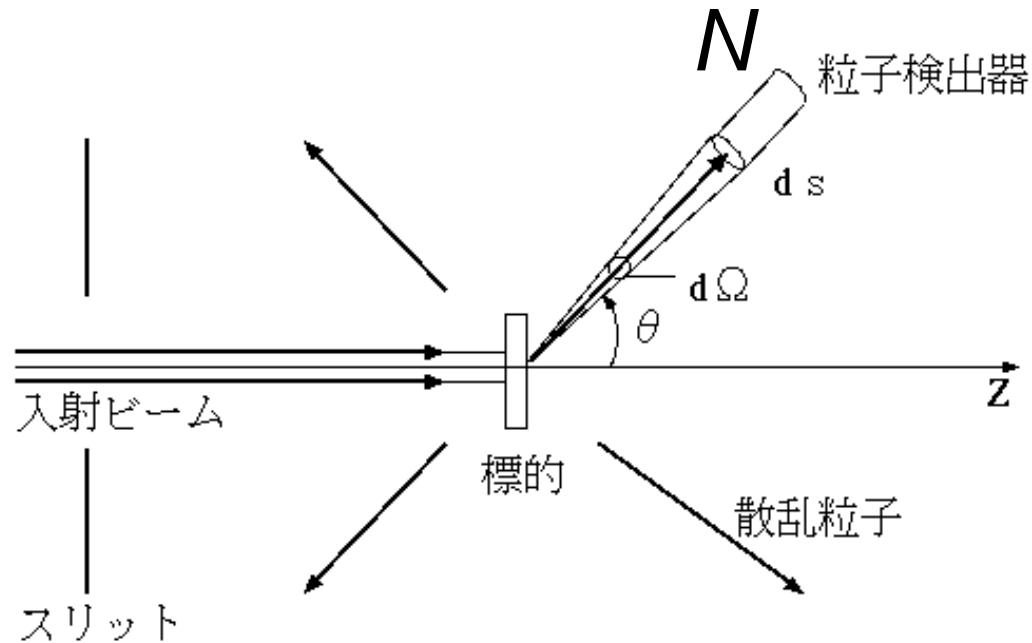
Spin non-flip



$$S = S^- + S^- = \left| f_{non-flip} \right|^2 + \left| f_{flip} \right|^2$$

断面積の測定

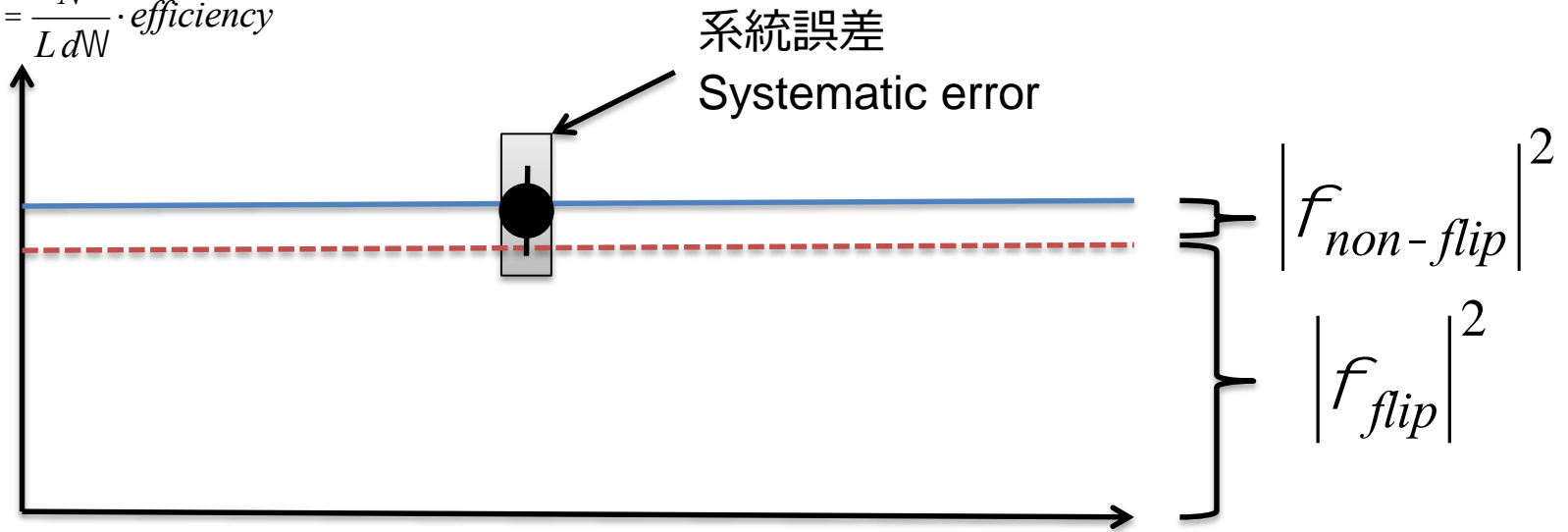
Cross section measurement



$$\frac{dS}{dW} = \frac{N}{L dW} \cdot \text{efficiency}$$

断面積測定

$$\frac{dS}{dW} = \frac{N}{LdW} \cdot \text{efficiency}$$



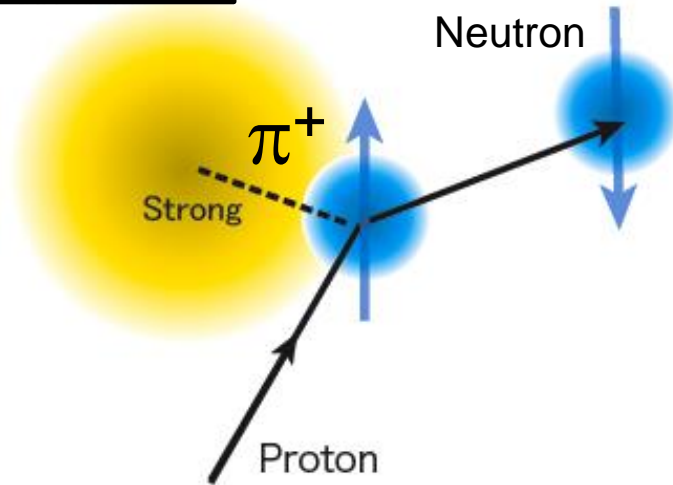
$$S = S^- + S^- = |f_{non-flip}|^2 + |f_{flip}|^2 \gg S_{OPE}$$

$$f_{non-flip}^{cl} \ll f_{flip}^p$$

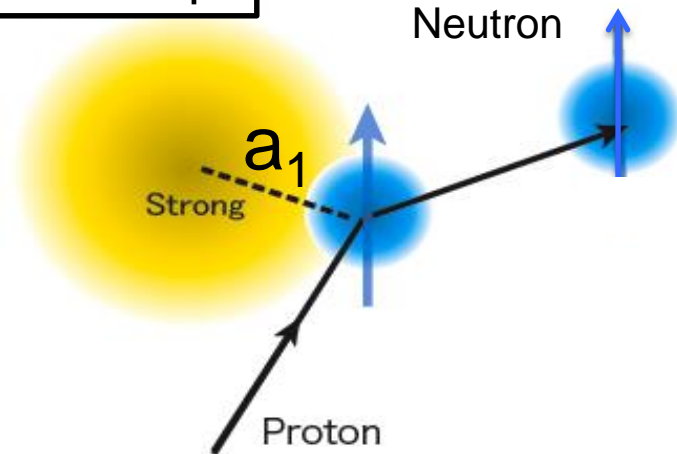
小さな振幅を測定するにはそれ以上の精度で断面積を測定しなければならない

$p \uparrow p$ 非对称性 A_N

Spin flip



Spin non-flip



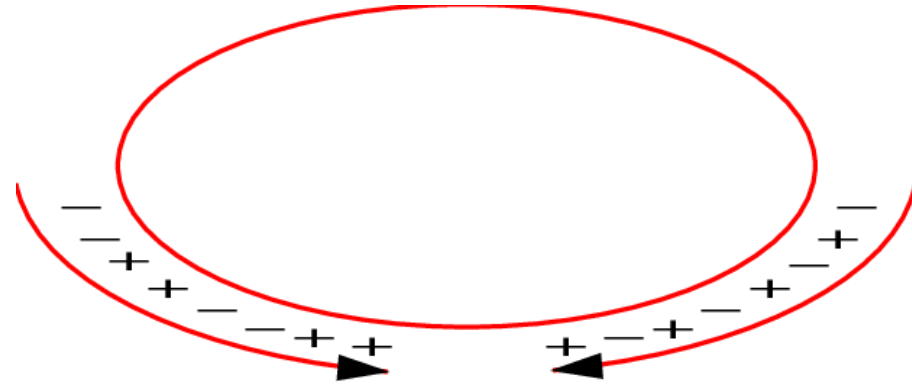
$$A_N \gg \frac{S^- - S^-}{S^- + S^-} = \frac{f_{non-flip}^* f_{flip} d}{|f_{non-flip}|^2 + |f_{flip}|^2}$$

δ : 相对位相

非対称性の測定

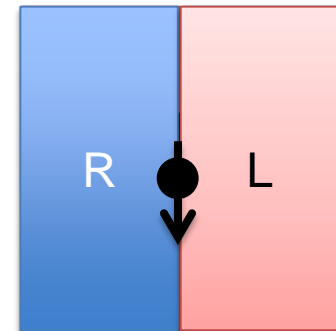
$$\frac{dS^\uparrow}{dW} = \frac{N^\uparrow}{L^\uparrow dW} \cdot \text{efficiency}$$

$$\frac{dS^\downarrow}{dW} = \frac{N^\downarrow}{L^\downarrow dW} \cdot \text{efficiency}$$

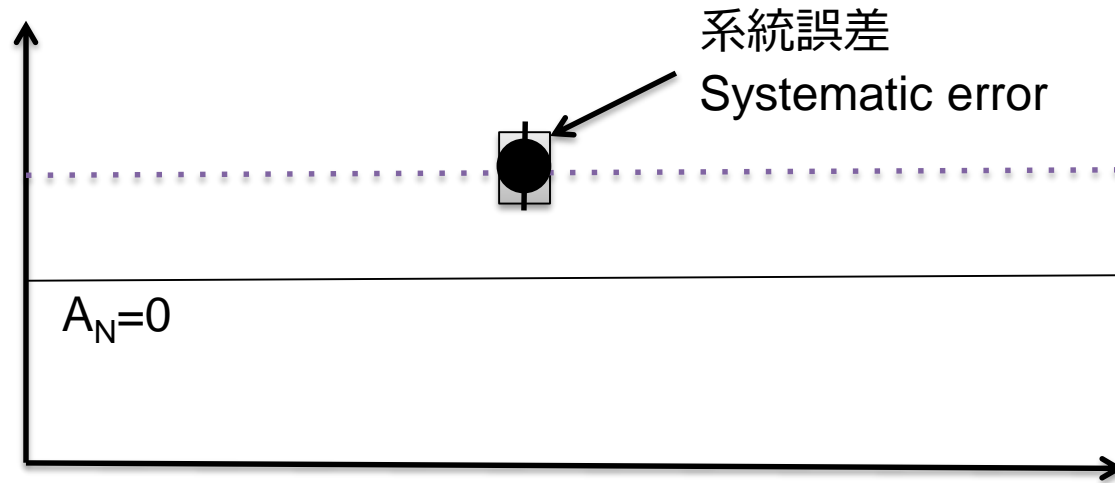


$$A_N \gg \frac{S^- - S^+}{S^- + S^+} = \frac{N^- - eN^+}{N^- + eN^+} = \frac{N^L - eN^R}{N^L + eN^R}$$

$$e = \frac{L^-}{L^+}$$



干渉による信号の増幅



$$A_N \gg \frac{S^- - S^+}{S^- + S^+} = \frac{f_{non-flip}^* f_{flip} d}{|f_{non-flip}|^2 + |f_{flip}|^2}$$

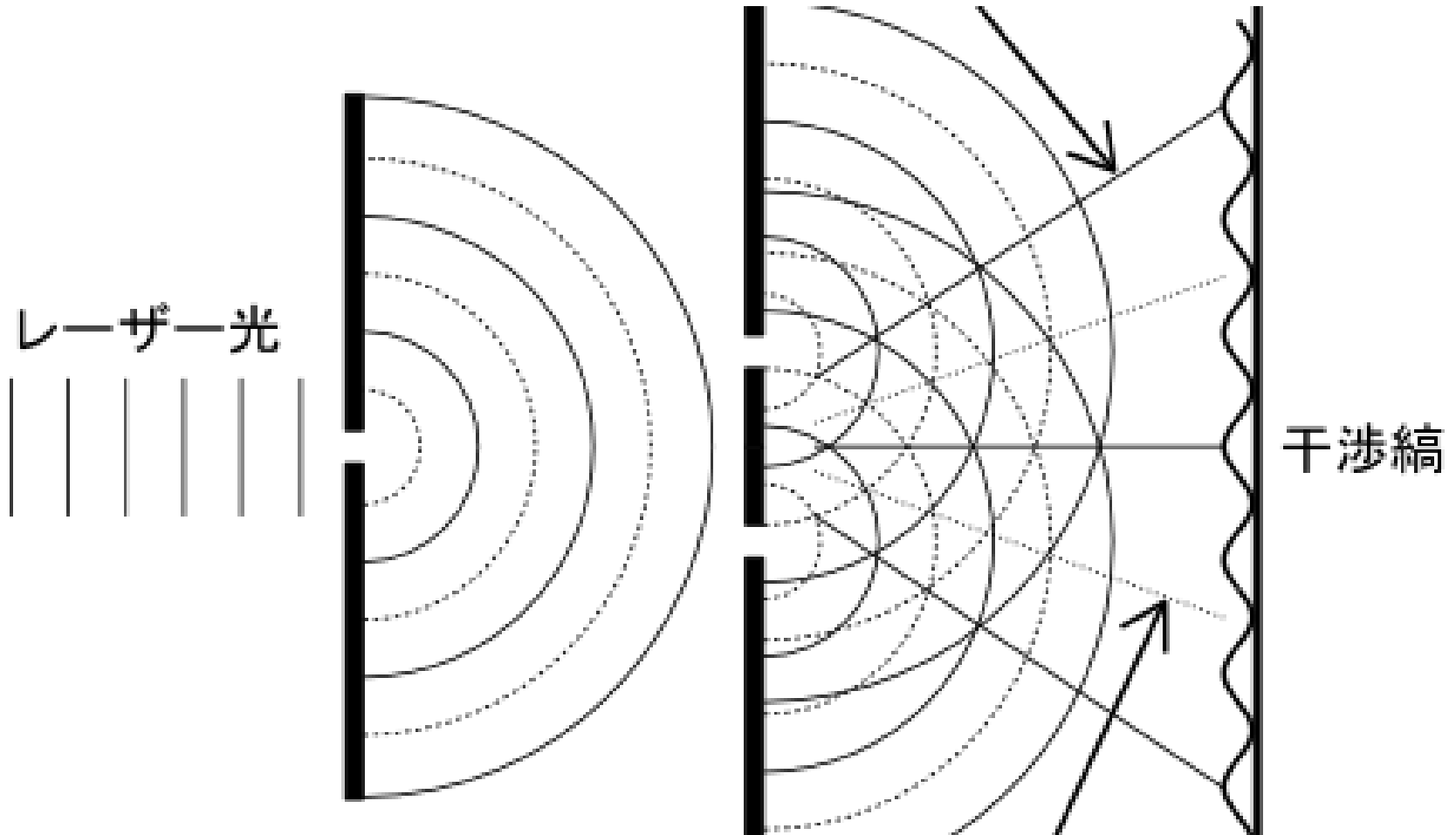
アクセプタンスや検出効率がキャンセルして、系統誤差は小さく抑えられる

人気者に便乗して
ウハウハ♥

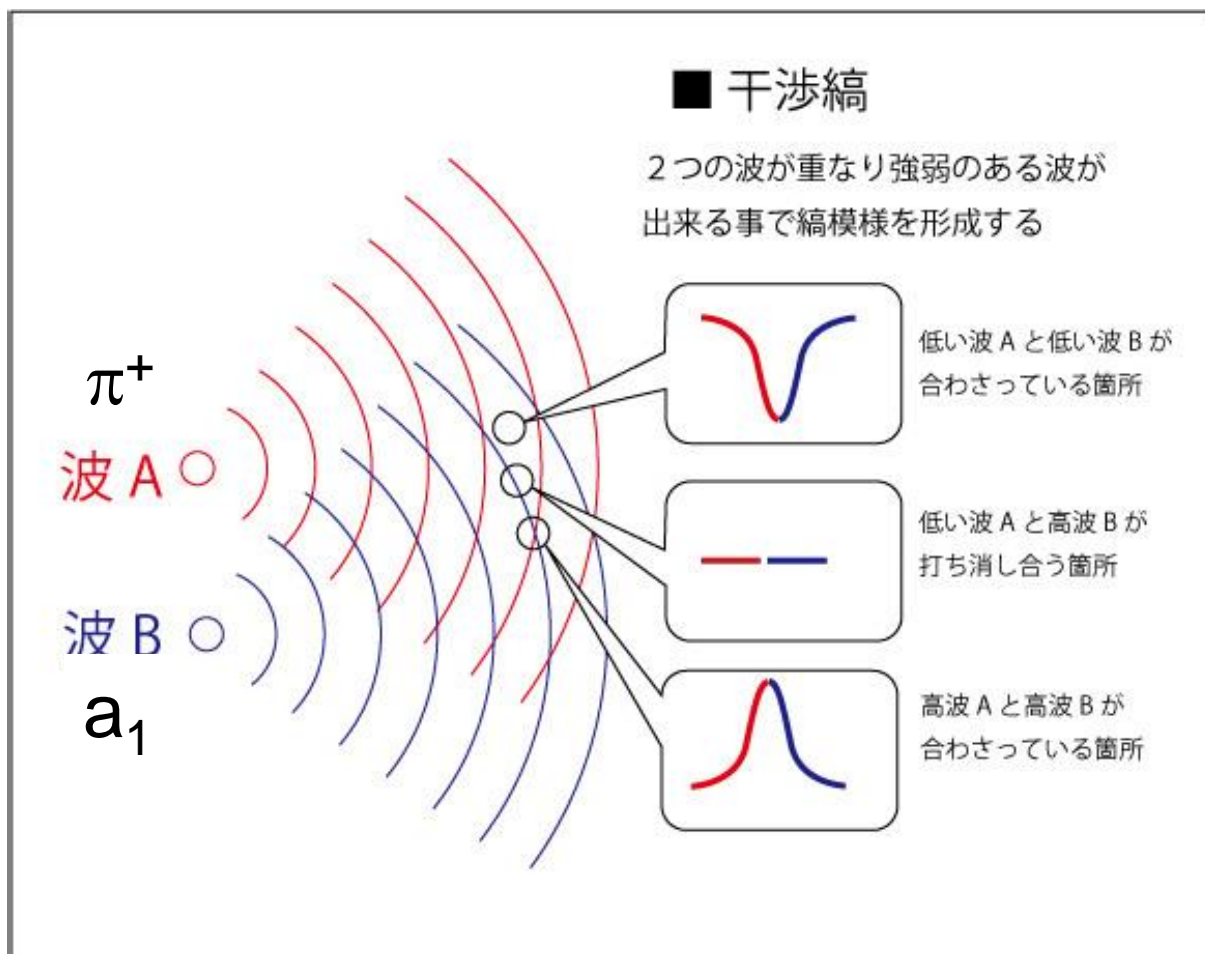


$$A_N \gg \frac{S^- - S^-}{S^- + S^-} = \frac{f_{non-flip}^* f_{flip} d}{|f_{non-flip}|^2 + |f_{flip}|^2}$$

回折(Diffraction)現象



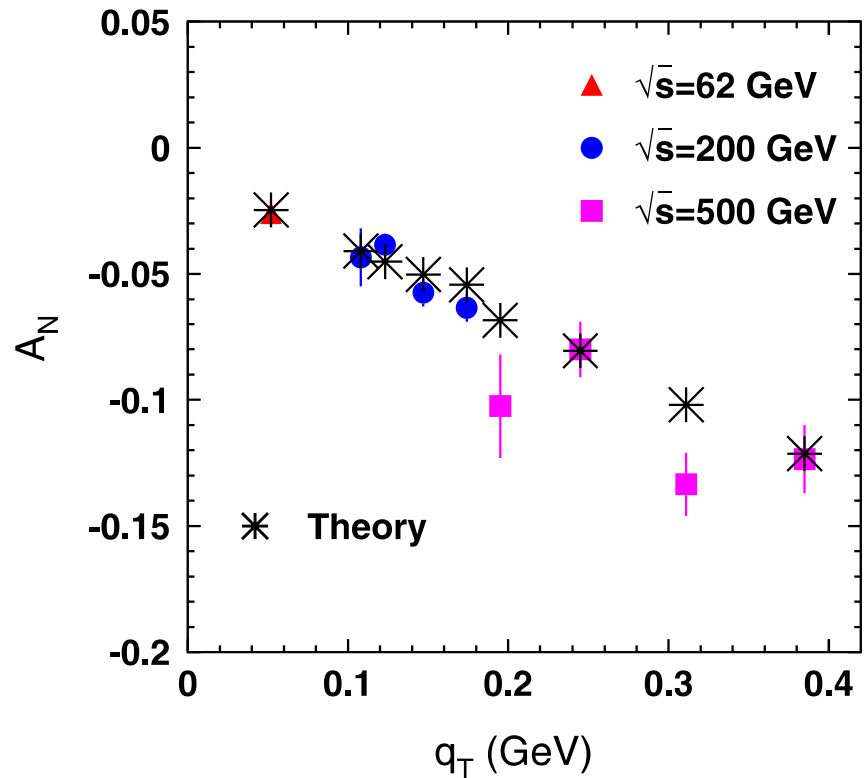
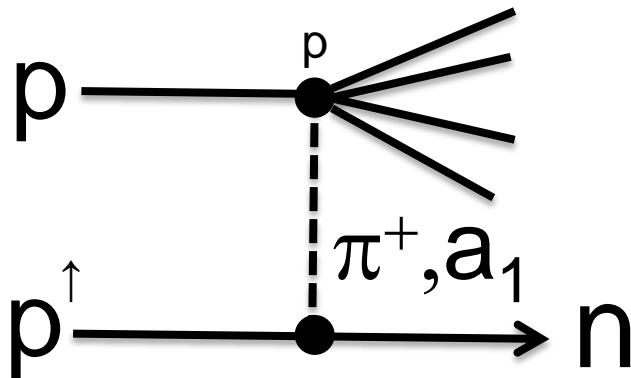
干渉縞と相対位相



位相：波を打つタイミング

$p \uparrow p$ Forward Neutron A_N

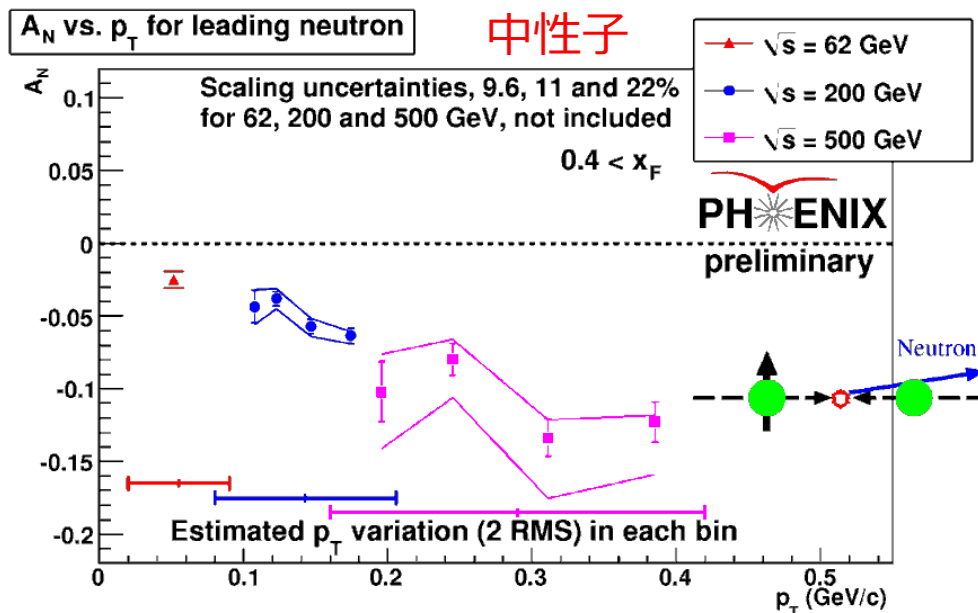
PRD84,114012(2011)



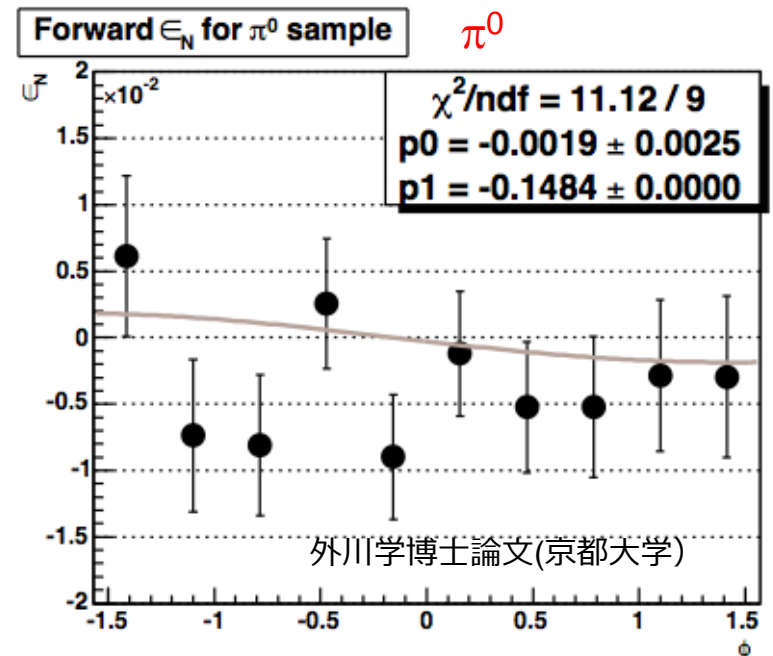
Well explained by the interference between π and a_1 Region

RHICf実験の目的

超前方中性子、 π^0 を高精度測定し、diffractiveな非摂動論的理論を厳しく検証



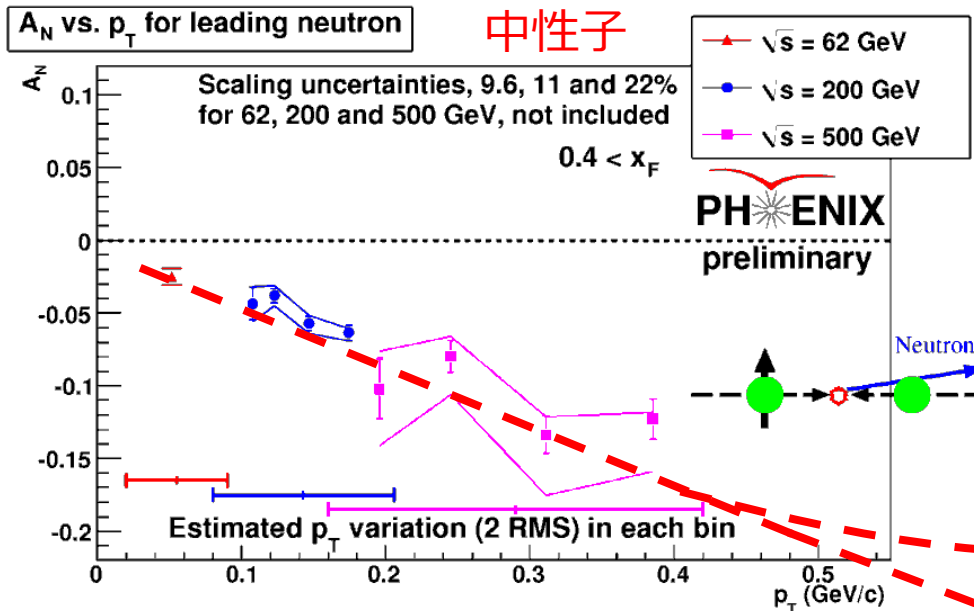
一見 p_T 依存で A_N が大きくなっているようにも見えるが、衝突エネルギーに依存しているのかもしれない。



RHIC稼働初期の測定。統計精度が不十分。

RHICf実験の目的

超前方中性子、 π^0 を高精度測定し、diffractive な非摂動論的理論を厳しく検証



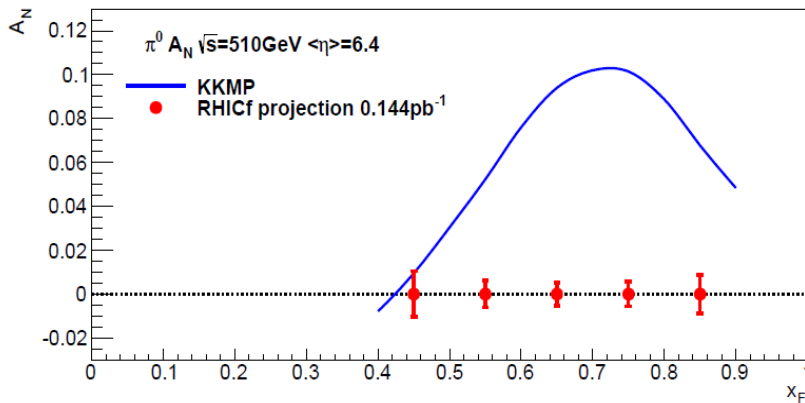
p_T (GeV)	$N (\times 10^3)$	δA
0.0–0.1	2,310	0.0013
0.1–0.2	2,570	0.0012
0.2–0.3	1,710	0.0015
0.3–0.4	2,190	0.0014
0.4–0.5	1,210	0.0018
0.5–0.6	1,130	0.0019
0.6–0.7	402	0.0032
0.7–0.8	260	0.0039
0.8–1.2	104	0.0062

測定領域を $p_T < 1.2 \text{ GeV}$ まで拡張

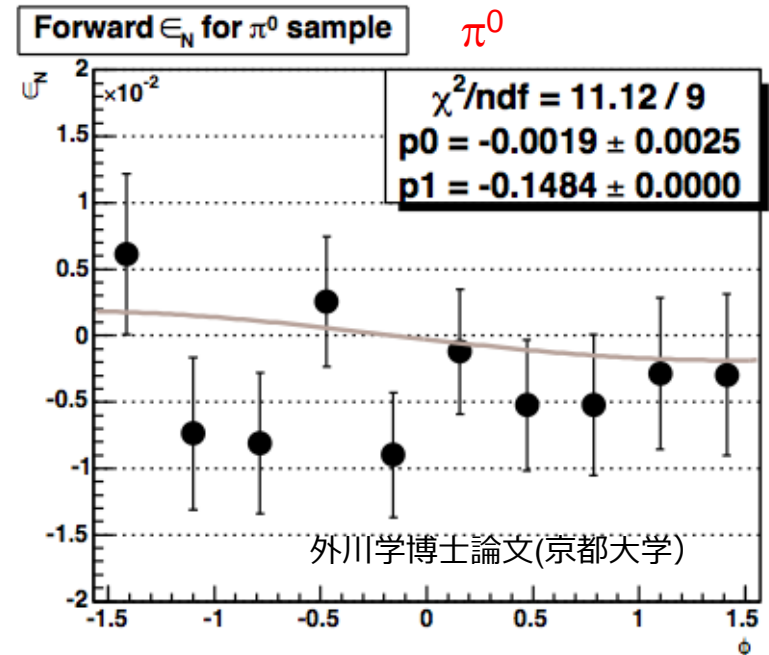
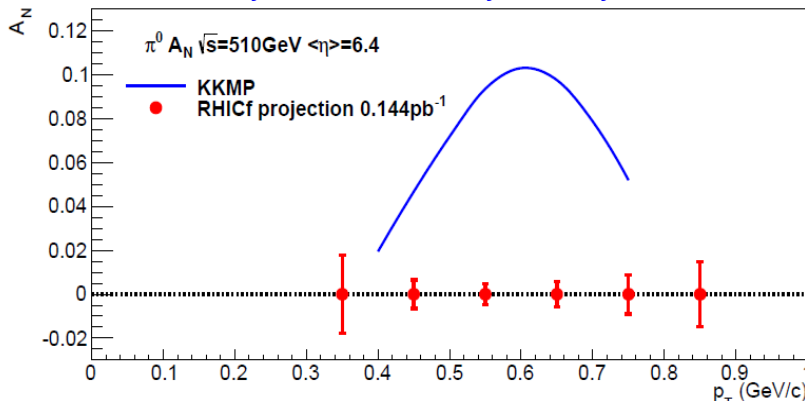
位置分解能の向上により p_T 決定精度を一桁改善

RHICf実験の目的

超前方中性子、 π^0 を高精度測定し、diffractiveな非摂動論的理論を厳しく検証



Theory calculation by Pitonyak



← pQCD計算予測と予想される統計誤差。Diffractive理論計算とも比較し、既存前方 ($2 < \eta < 4$) データとの統一的理解を試みる。

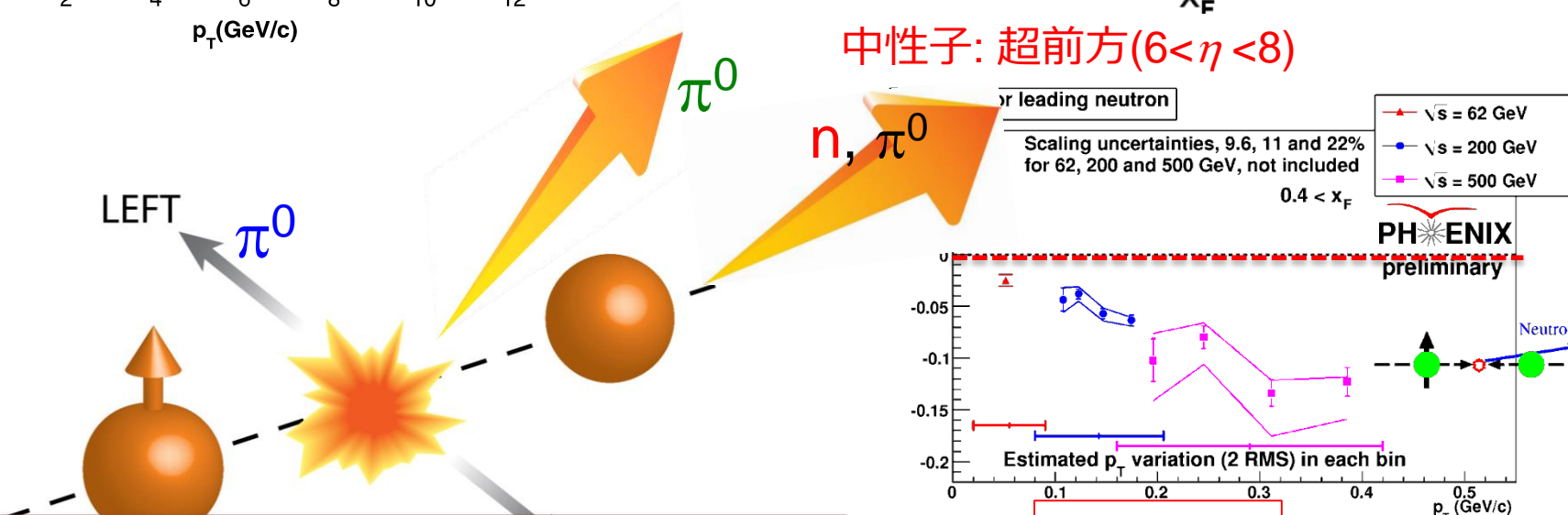
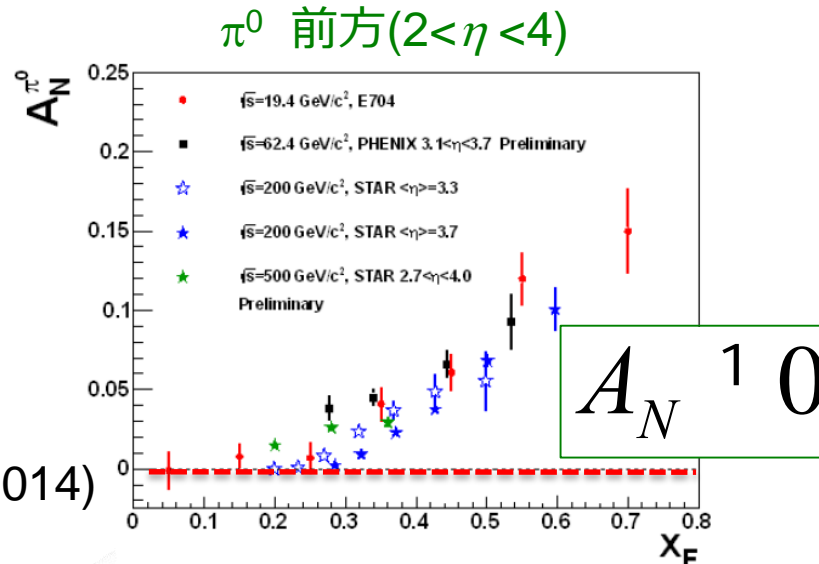
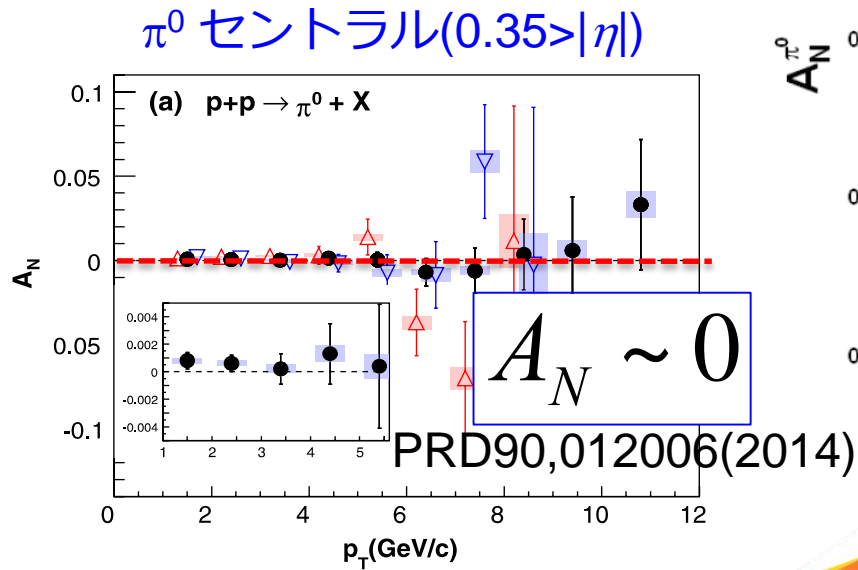


まとめ

- 非対称性の測定は、人気キャラに便乗して不人気キャラにスポットライトを当てる。一見うさんくさいが、合法。
- 非対称測定は、真面目な断面積測定は放棄して、様々なキャンセル効果を使って楽しんで信号にアクセスできる美味しい商売。



横偏極能 A_N のラピディティ依存



(超)前方にのみ非対称度を観測

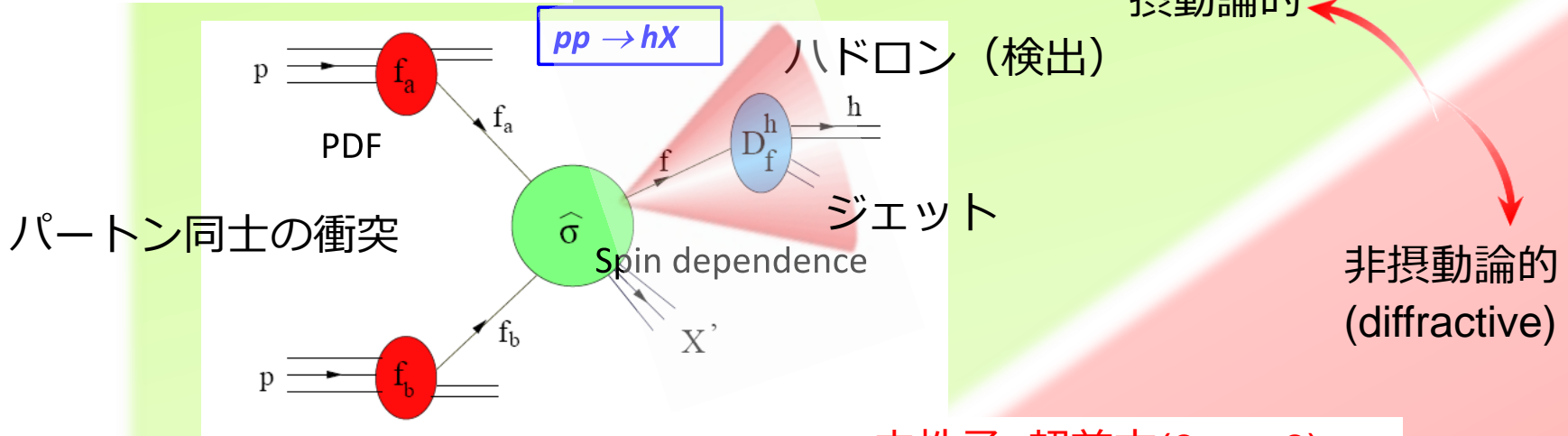
$A_N > 0$

ハドロン生成メカニズム

π^0 セントラル ($0.35 > |\eta|$)

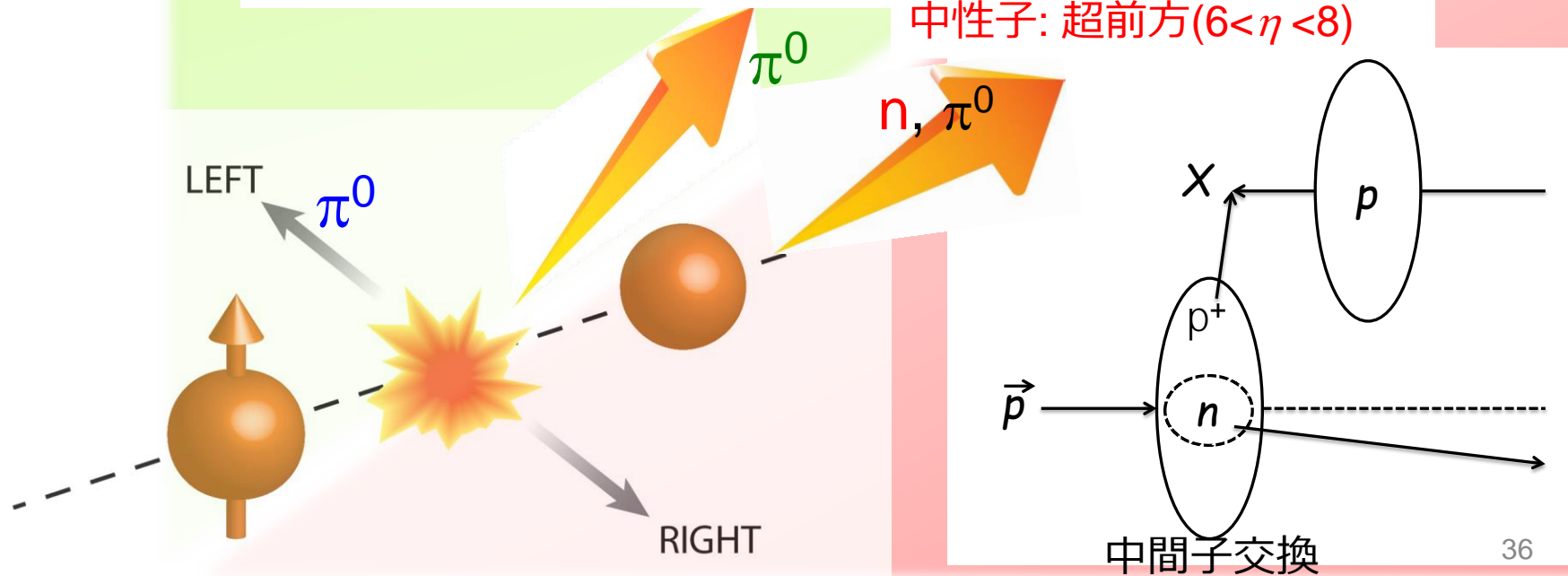
π^0 前方 ($2 < \eta < 4$)

摂動論的

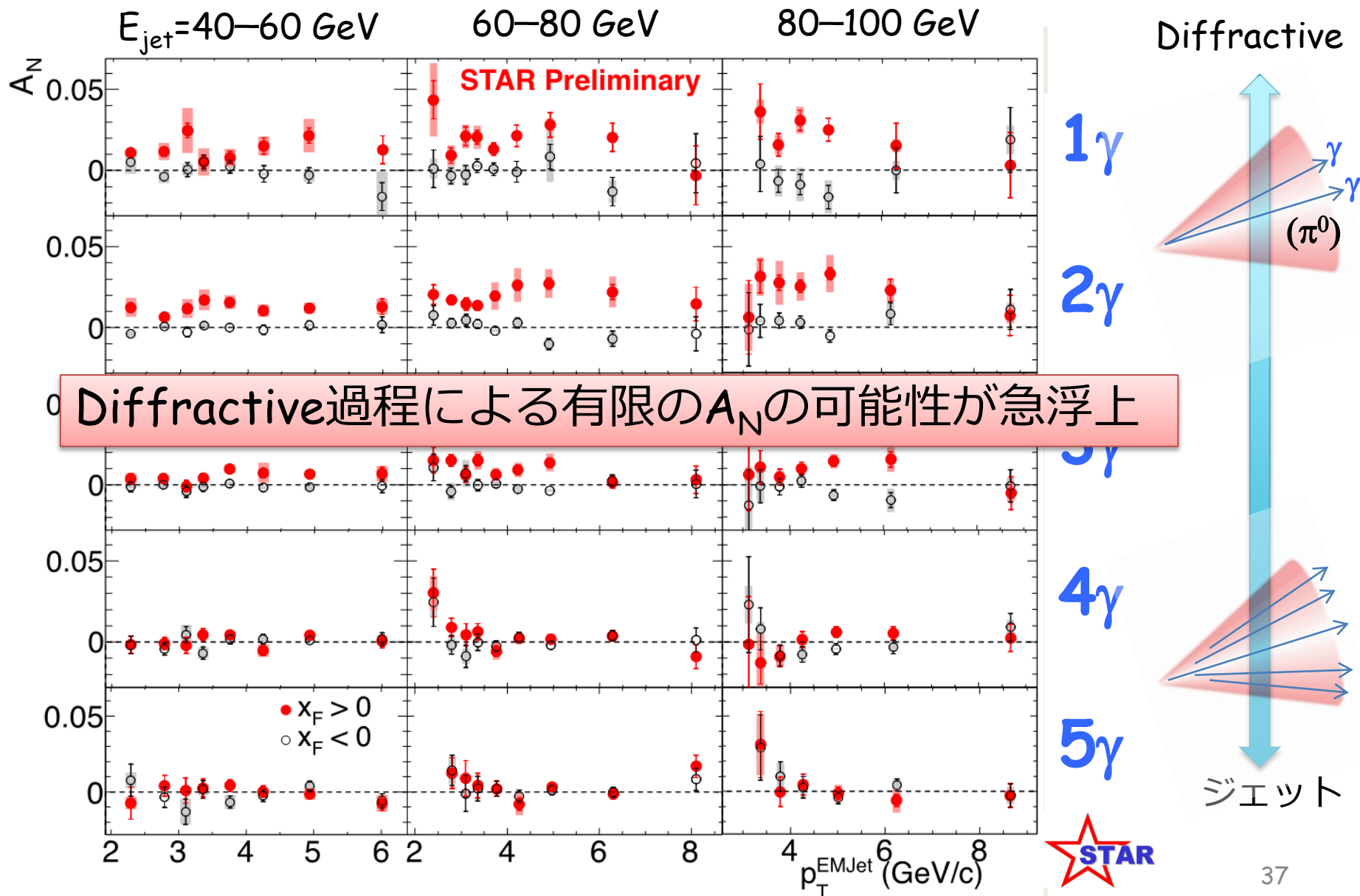


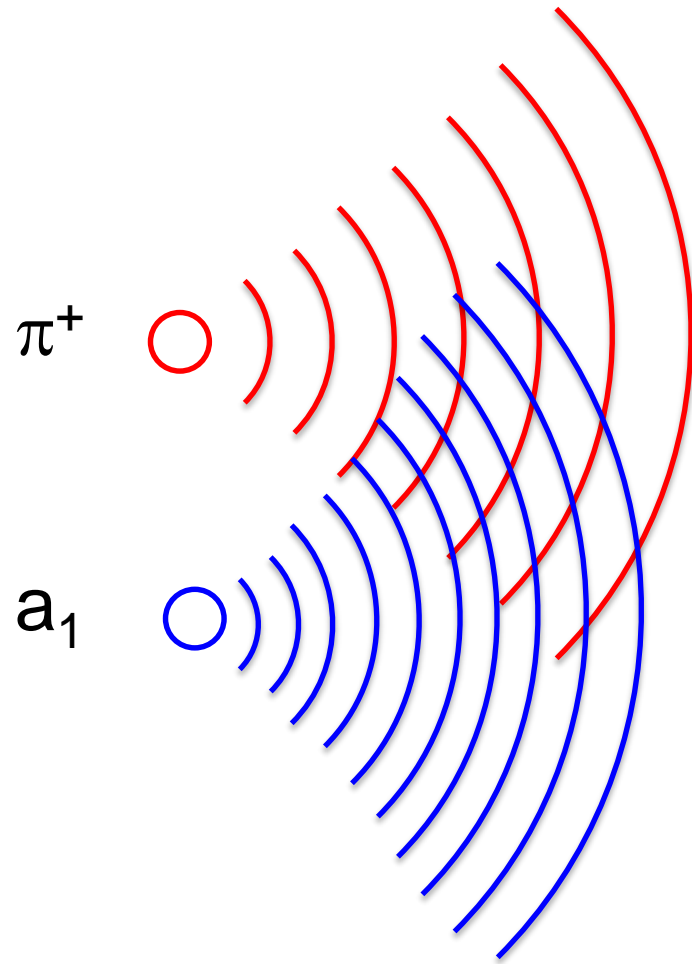
非摂動論的 (diffractive)

中性子: 超前方 ($6 < \eta < 8$)



前方($2 < \eta < 4$) π^0 A_N の多重度依存性





位相の違う波の干渉