

偏極Drell-Yan実験によるSiversクォーク分布関数の測定

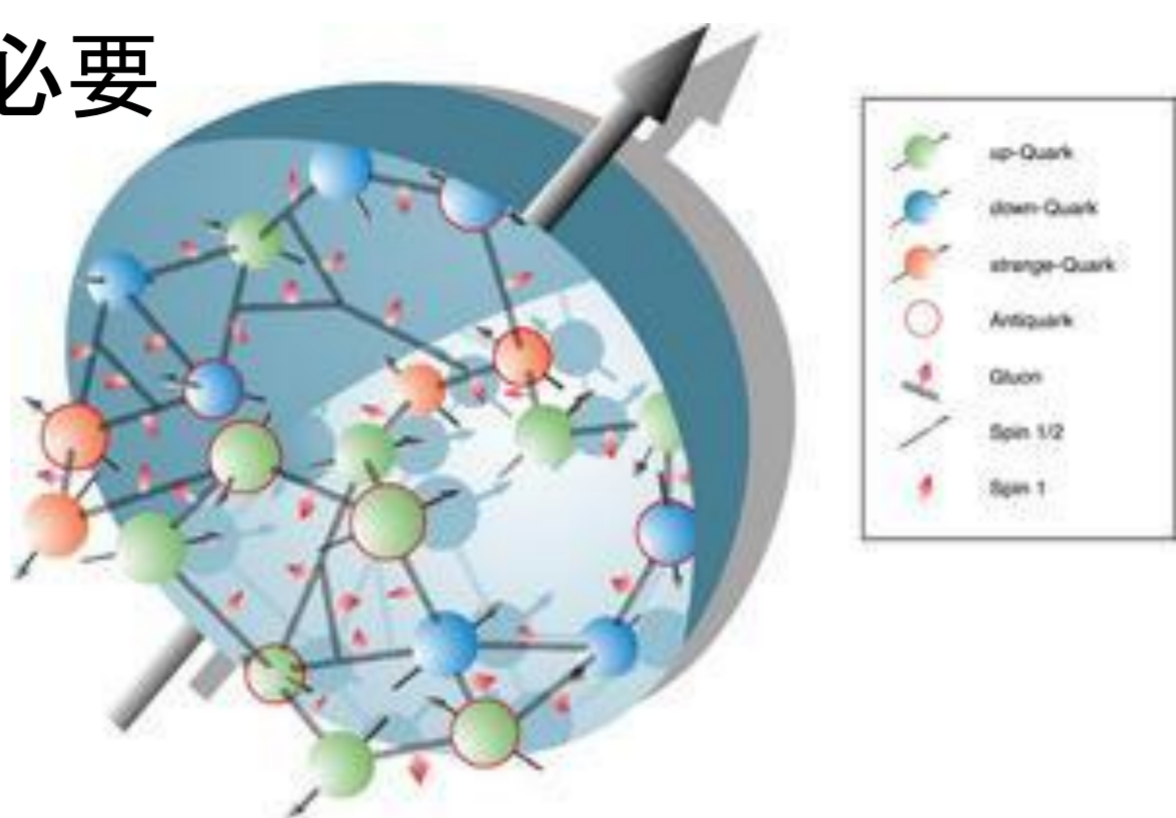
柴田研究室 14M01063 齋藤 航

1. 陽子のスピ構造

- 陽子のスピンは1/2
- 陽子スピンに対するクォークスピンの寄与は約33%
- 残りの要素はグルーオンスピンとグルーオン・クォークの軌道角運動量
- それぞれの成分を詳しく調べることが必要

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + \Delta G + L_q + L_g$$

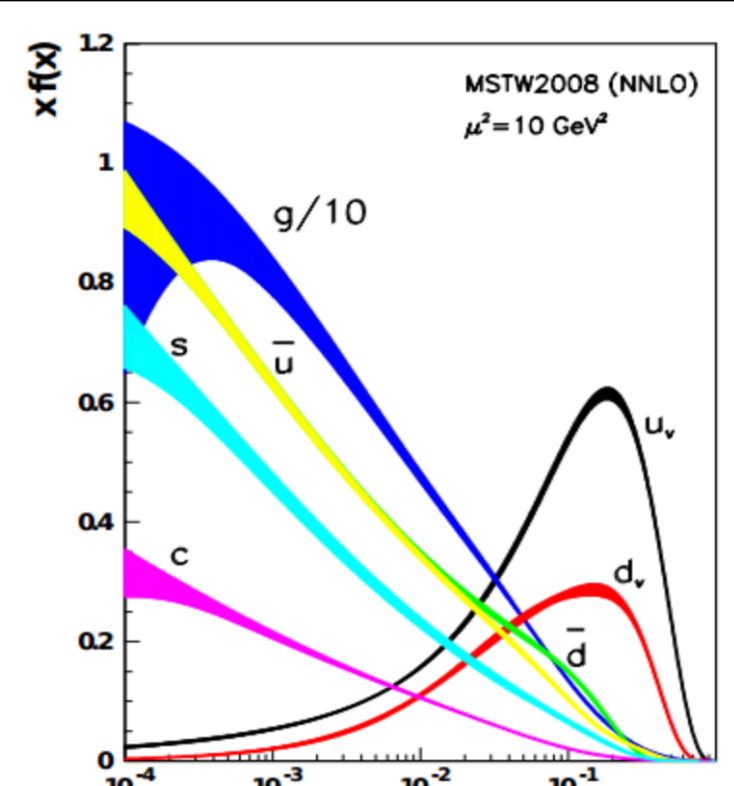
クォークのスピ グルーオンのスピ クォークの軌道角運動量 グルーオンの軌道角運動量



2. Siversクォーク分布関数 f_{1T}^\perp

パートン分布関数

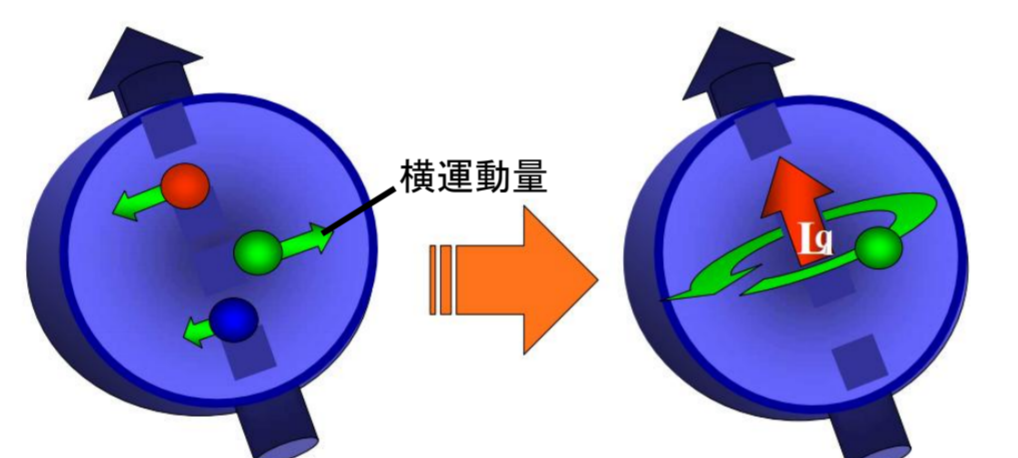
- 核子の構成要素は点状の粒子(パートン)
- パートンの運動量分布をパートン分布関数と呼ぶ
- スピンや運動量の方角によって分類することができる



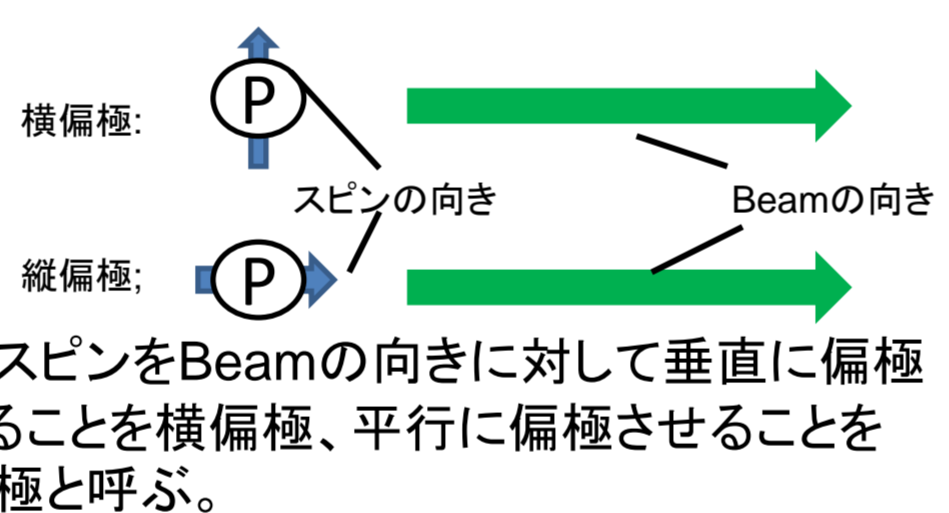
陽子のパートン分布関数。横軸はBjorken x、縦軸は陽子の構造関数とxの積

Siversクォーク分布関数

- パートン分布関数のうちのひとつ
- 横偏極した核子内にある非偏極クォークの横運動量分布
- 核子のスピンとクォークの横運動量の相関を表現
- L_q はクォークの横運動量に関係がある
- $f_{1T}^\perp(x, k_T^2) \neq 0$ なら、横運動量に偏りがある。



Sivers分布関数(左)とクォーク軌道角運動量(右)のイメージ図。核子のスピンに対して垂直な運動量が横運動量である。

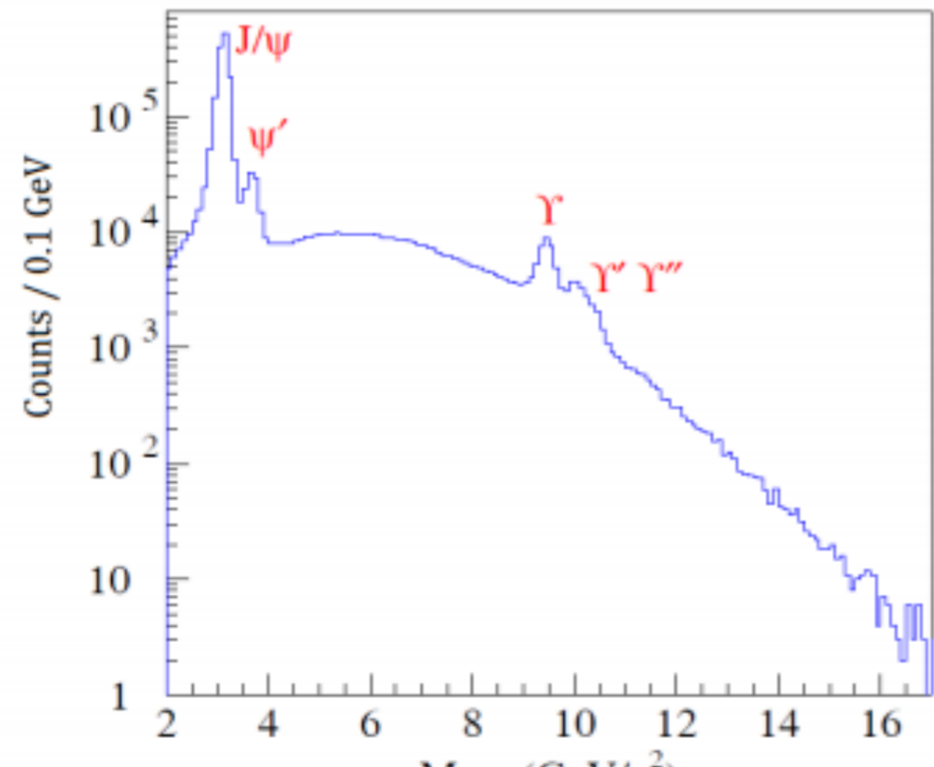
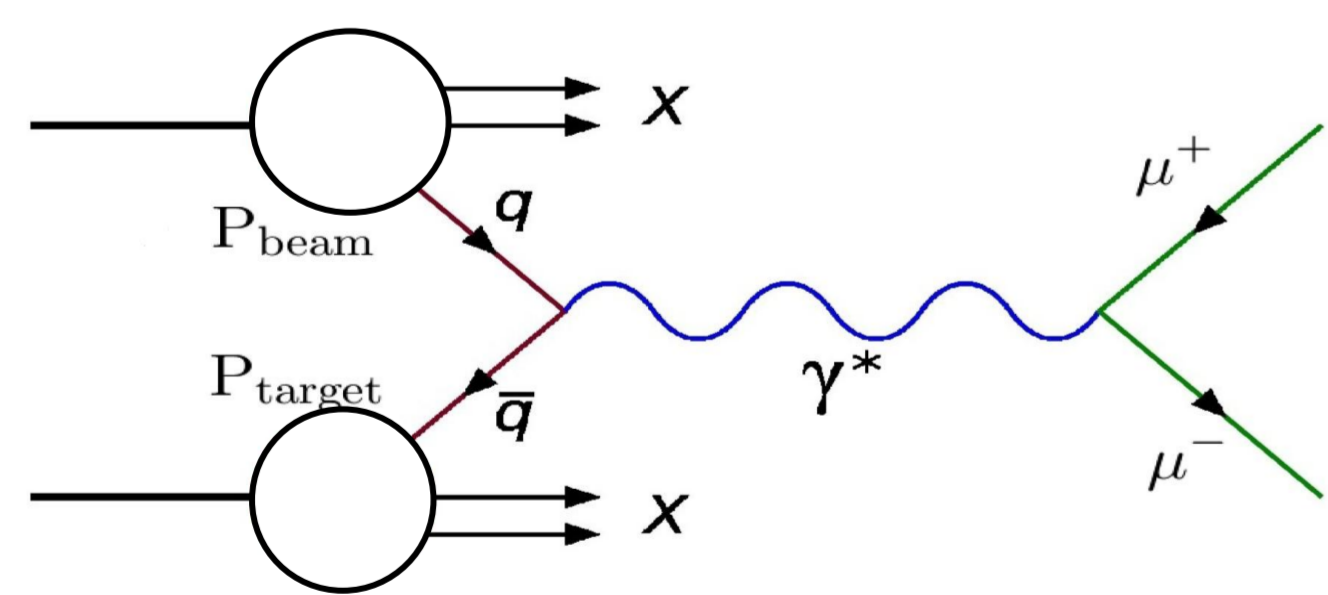
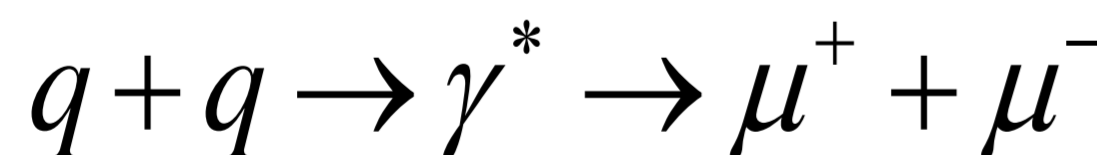


陽子スピンをBeamの向きに対して垂直に偏極させることを横偏極、平行に偏極させることを縦偏極と呼ぶ。

軌道角運動量による陽子スピンへの寄与が、0でないつまり $L_q \neq 0$

3. ドレル・ヤン過程

- 固定標的型実験(ビームと標的)
- ハドロン衝突で電磁相互作用によって発生
- 一つのハドロンクォークと別のハドロン反クォークが対消滅し不変量の大きなレプトン対を生成



dimuonの質量分布。ピーク部分はメソンによるものであり、ピーク以外の部分がドレルヤン過程である。

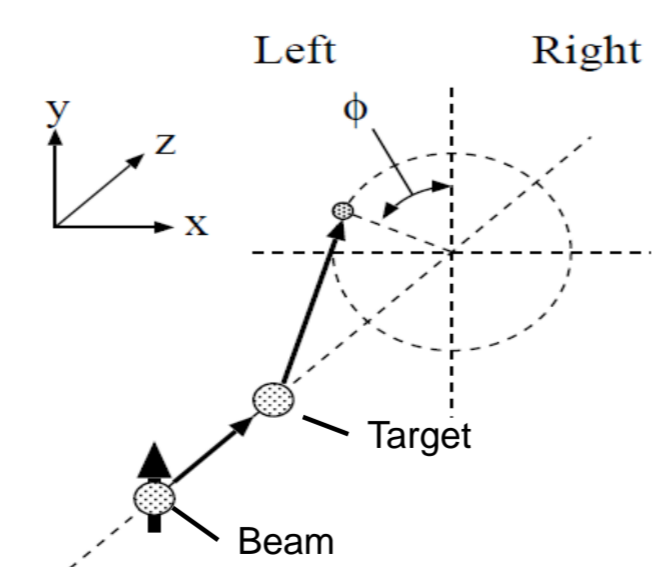
特徴

- 散乱の運動学が明確
- 反クォークが必ず生成に関与

反応断面積

$$\frac{d^2\sigma}{dx_b dx_t} = \frac{4\pi\alpha^2}{9M^2} \sum_i e_i^2 \left[q_i^b(x_b) \bar{q}_i^t(x_t) + \bar{q}_i^b(x_b) q_i^t(x_t) \right] \quad (b: beam, t: target)$$

- xは陽子が持つ運動量に対するクォークが持つ運動量の割合
- 実験は前方で測定するから $x_b \gg x_t$
- 大きいxで $q(x) \gg \bar{q}(x)$



この実験では反応断面積は以下のように近似できる

$$\frac{d^2\sigma}{dx_b dx_t} \approx \frac{4\pi\alpha^2}{9M^2} \sum_i e_i^2 q_i^b(x_b) \bar{q}_i^t(x_t)$$

実験は固定標的または陽子ビームの一方を偏極させて衝突させる。検出された粒子の左右の非対称度を測定する。

Siversクォーク分布関数を使って、非対称度を表わす事が出来る。

測定量

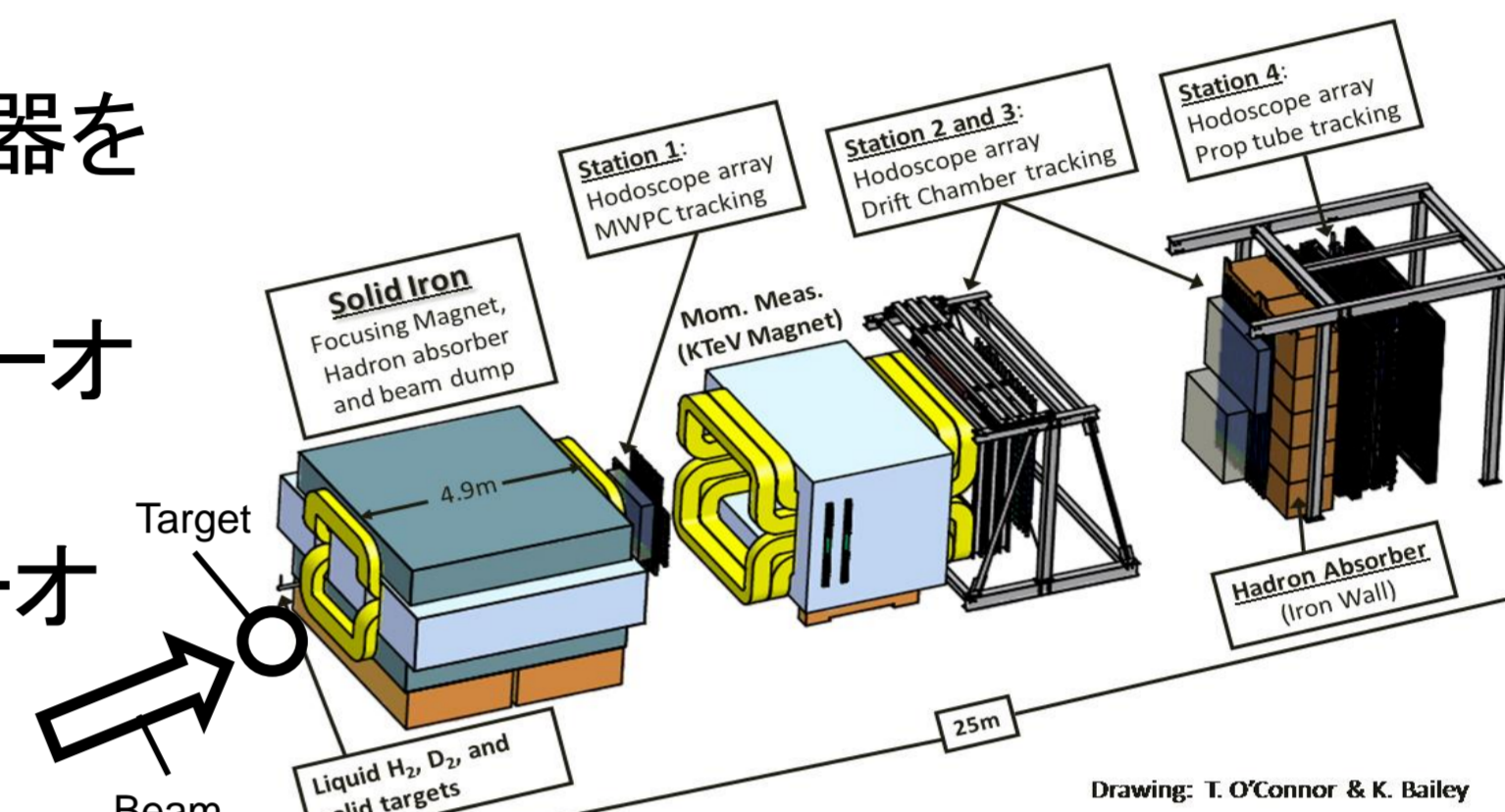
$$A_N = \frac{\sigma^{right} - \sigma^{left}}{\sigma^{right} + \sigma^{left}} \propto \begin{cases} \frac{f_{1T}^{\perp u}(x_B) \cdot \bar{u}(x_T)}{u(x_B) \cdot \bar{u}(x_T)} & (\text{偏極ビームの場合}) \\ \frac{u(x_B) \cdot f_{1T}^{\perp u}(x_B)}{u(x_B) \cdot u(x_T)} & (\text{偏極標的の場合}) \end{cases}$$

4. 偏極Drell-Yan実験

米国フェルミ国立加速器研究所で計画されている実験を紹介する

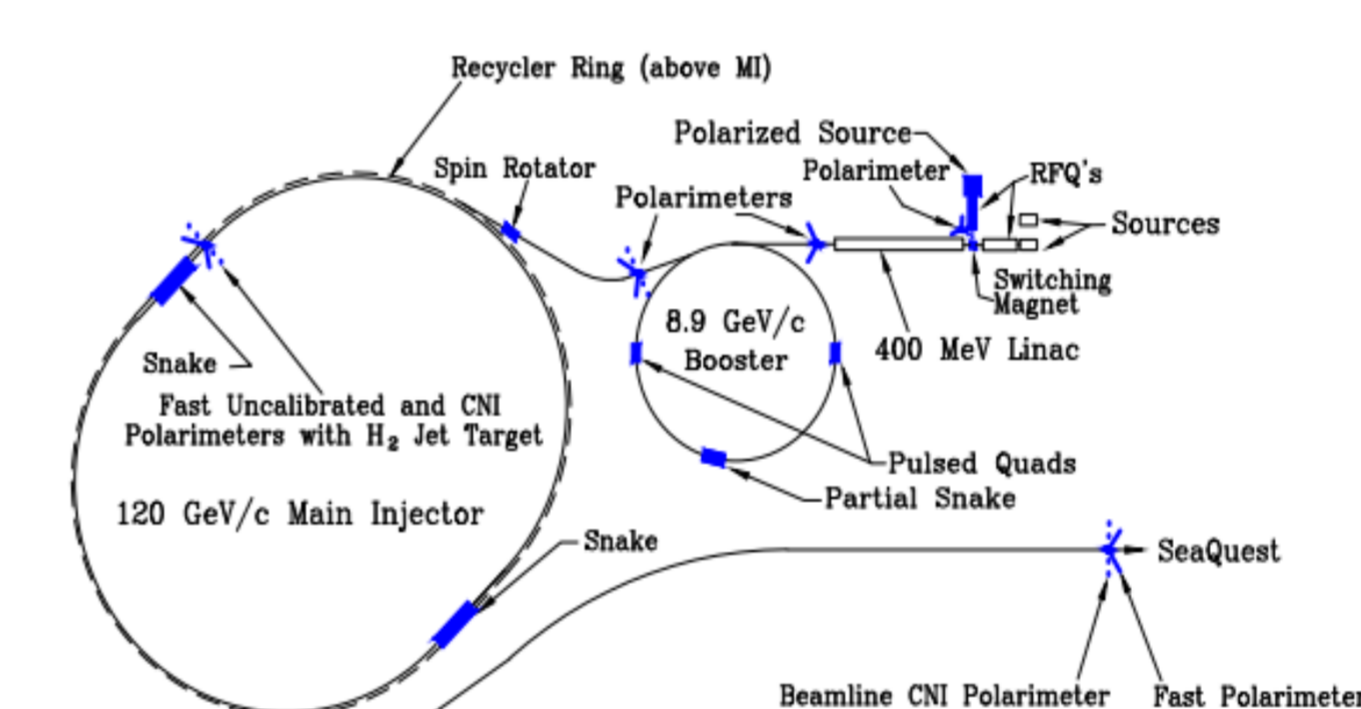
検出器

- 現在のSeaQuest実験の検出器を調節して使用
- 3つのドリフトチェンバーでミュオンの飛跡を再構成
- マグネット2での曲率からミュオンの運動量を測定

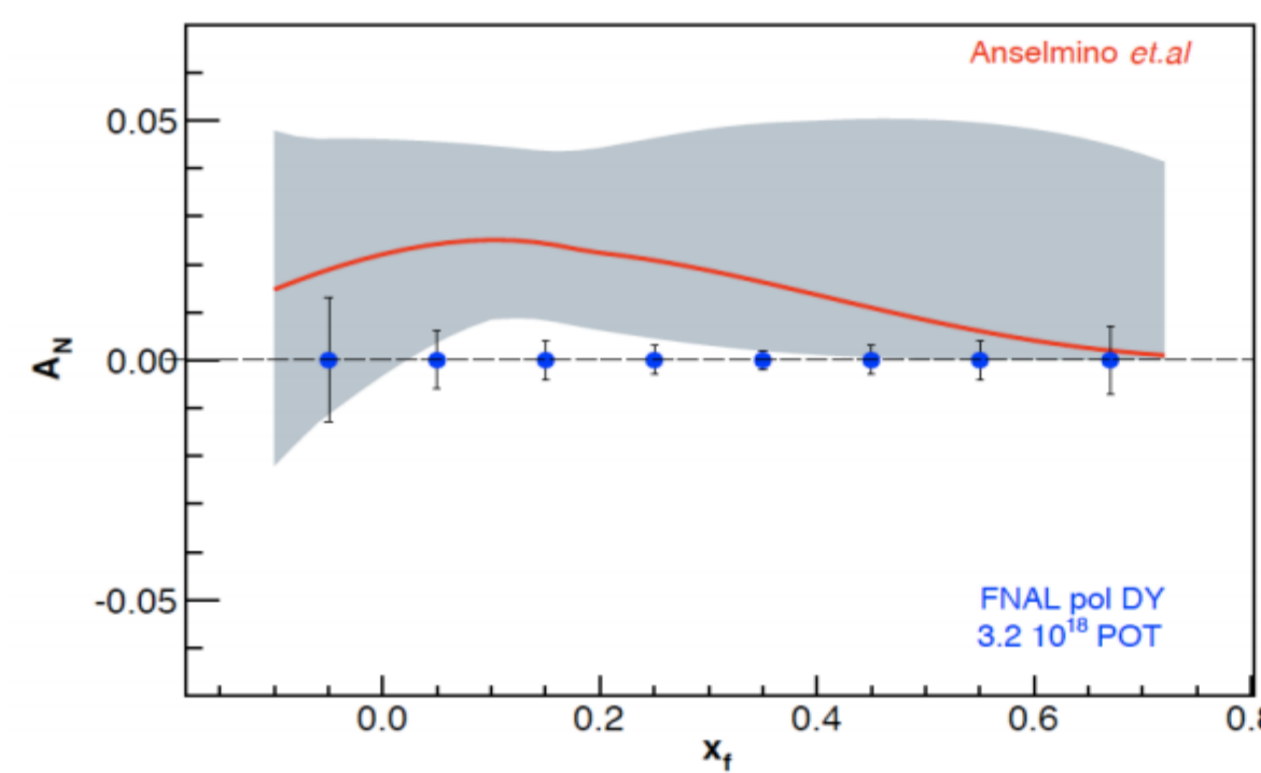


偏極ビームDrell-Yan実験(E1027)

- 120 GeVの偏極陽子ビームと非偏極標的(LH₂とLD₂)を使用
- ビームの偏極度は約70%
- HERMES、COMPASSの解析と比較
- Siversクォーク分布関数の符号の反転の確認が目的



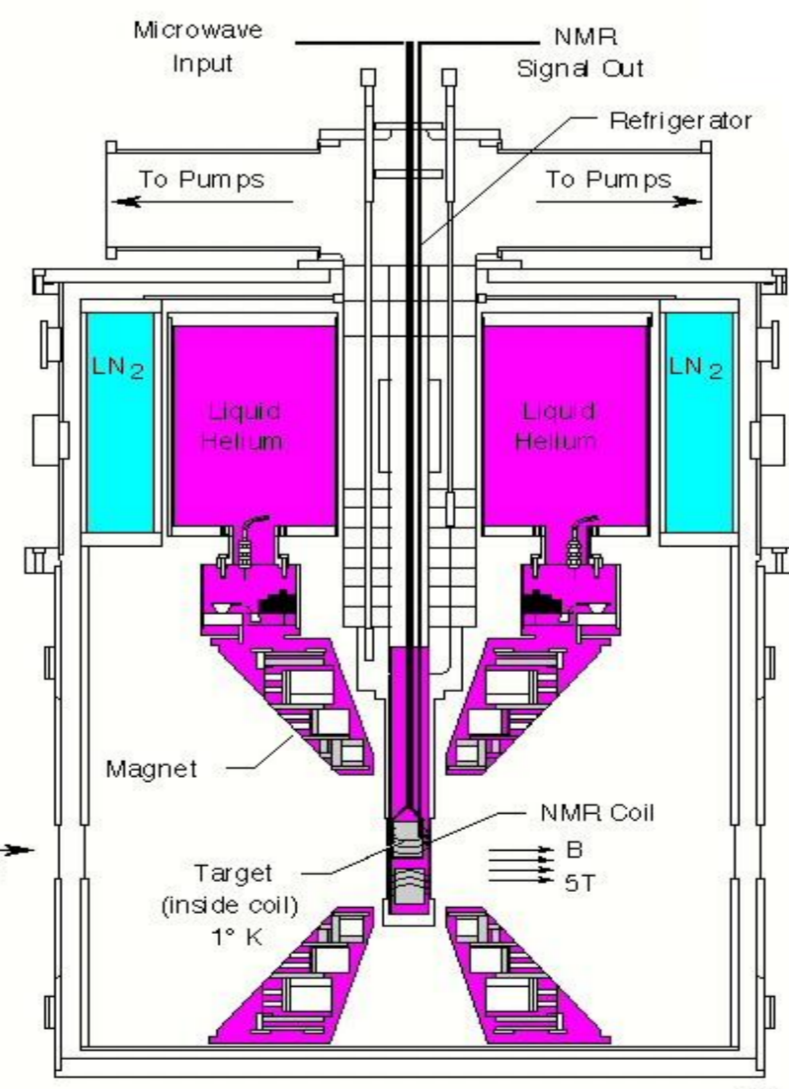
Fermi国立加速器研究所にある加速器の全体図。2015年までに偏極ビームを供給予定。青い部分がアップグレードする部分。



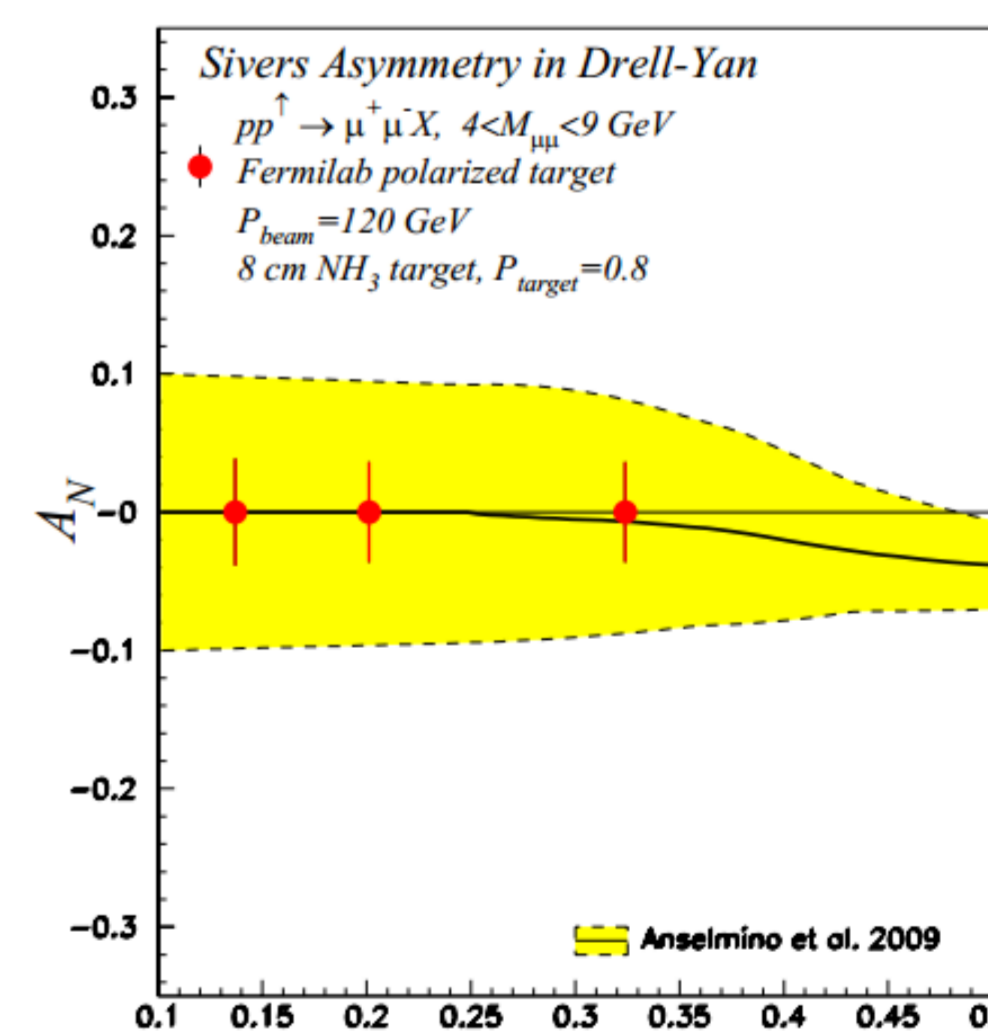
理論と過去の実験から予想される実験データ。赤線が予想されるデータ。灰色の部分が誤差帯域。青点が予想される統計誤差。

偏極標的Drell-Yan実験(E1039)

- 120 GeVの非偏極陽子ビームと偏極標的(NH₃)を使用
- 標的の偏極度は約80%
- 反クォークのSiversクォーク分布関数を測定



実験で使用される偏極標的の図。超電導磁石とマイクロ波を使うことによって、大きい偏極度を可能にする。



理論と過去の実験から予想される実験データ。測定は反クォークに関する測定を行う。黒線が理論的に予想される測定結果。黄色が誤差帯域。赤点が統計誤差。

5. まとめ

- 陽子のスピンは1/2
- 陽子スピンに対するクォークスピンの寄与は約33%
- 残りの要素はグルーオンスピンとグルーオン・クォークの軌道角運動量
- Siversクォーク分布関数によって、クォークの軌道角運動量の情報が得られる
- Drell-Yan過程を使うことによって、クォークと反クォークの判別が可能
- 偏極ビームと非偏極標的、非偏極ビームと偏極標的を使う実験が予定されている