

核子構造WG報告

「日本の核物理の将来」WG代表者会議

2011年2月22日(火) @理研

後藤雄二(理研)

目次

- これまでの経緯
- 研究の対象
- 背景/歴史
- 現在の目標
- 5～10年後の目標
- 10～20年後の目標
- 実験の現状
- 実験計画
- 今後の方針

これまでの経緯

- WGメンバー
 - 実験11名、理論10名
 - メールングリスト
 - nucleon-structure-wg@riken.jp
- 会合
 - 理研INDICO
 - <http://indico.riken.jp/indico>
 - Research Project → 核物理懇・将来計画WG → 核子構造
 - 2010年10月～2010年11月
 - WGミーティング2回
 - 2010年11月～2011年2月
 - 月例(第4金曜日)
 - オープンミーティング4回
 - 2011年1月7日～8日
 - KEK研究会「核子構造研究の新展開2011」
- 文書
 - 各メンバー担当分の記述

研究の対象

- 時空の構造
- 物質の起源
- 宇宙の起源

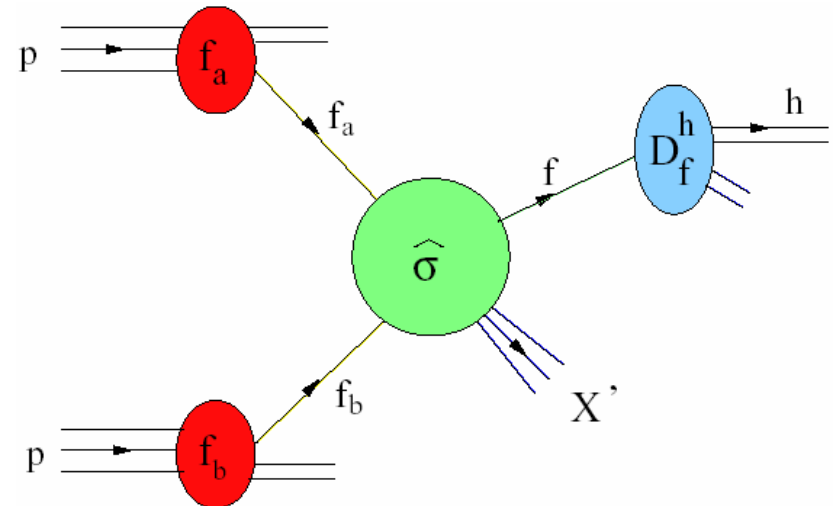
- 物質
 - 通常物質4%
 - 原子を作っているもの、主に核子
 - (ニュートリノ)
 - 暗黒物質23%
 - 暗黒エネルギー73%

研究の対象

- 通常の物質の構造の理解
 - 原子を作っているもの、主に核子
- 核子構造の理解
- 核子構造の物理
 - 第1原理であるQCDによる理解
 - 高エネルギーからのアプローチ
 - 閉じ込めの力学を探るための高エネルギーからのアプローチ

背景/歴史

- 低エネルギー散乱
 - 形状因子
 - 電荷分布、磁化分布
 - ハドロン自由度による記述
- 高エネルギー散乱
 - パarton自由度による記述
 - 断面積、構造関数の測定
 - QCD因子化
 - パarton分布関数(PDF)
 - 偏極核子構造
 - 非対称度、偏極構造関数の測定
 - QCD因子化
 - 偏極パarton分布関数(pol-PDF)



背景/歴史

- スピンパズル: 核子のスピンを担っているものは何か?
 - クォークスピンの寄与
 - 1980~1990年代: CERN(EMC/SMC), SLAC
 - 1990~2000年代: DESY(HERMES), CERN(COMPASS), JLab
 - グルーオンスピンの寄与
 - 2000年代: CERN(COMPASS), RHIC(PHENIX/STAR)
- 横偏極現象
 - 1990年代: Fermilab(E704)
 - 1990~2000年代: DESY(HERMES), CERN(COMPASS), RHIC(PHENIX/STAR), JLab
- 反クォーク分布のフレーバー非対称性
 - 1990年代: CERN(NMC/NA51)
 - 1990~2000年代: Fermilab(E866/E906)
- 偏極破碎関数
 - 2000年代: KEK(BELLE)
- 形状因子(高運動量移行)
 - 1980~1990年代: SLAC
 - 2000年代: JLab

現在の目標

- スピンパズルの解明

- 核子のスピンを担っているものは何か？

- クォークスピンの寄与

- レプトン散乱での精密測定

- 偏極DIS(深非弾性散乱)実験

- 約30%の寄与

- グルーオンスピンの寄与

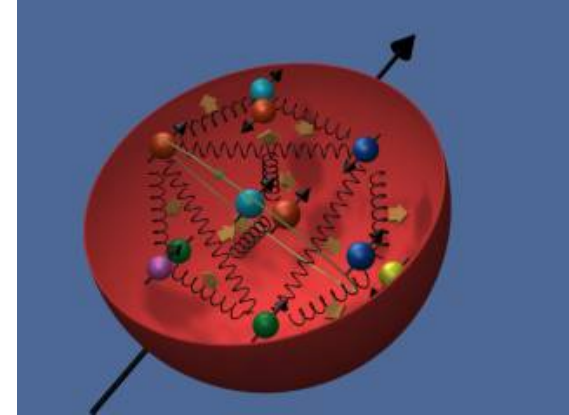
- 偏極SI(semi-inclusive)DIS実験、偏極核子衝突実験により、大きな制限がかけられてきている

- 精密化を進める

- 軌道角運動量の寄与

- GPD(一般化パートン分布)関数

- Jiの和則による軌道角運動量の決定



$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + \Delta g + L$$

現在の目標

- 横偏極現象の解明

- 核子衝突実験、SIDIS実験でのSSA (single-spin asymmetry) 測定、角分布測定

- パートン間の独立 (incoherent) な散乱では大きなSSAを説明できない
- 縦偏極またはヘリシティー構造とは異なる力学の探索

- QCDによる解明

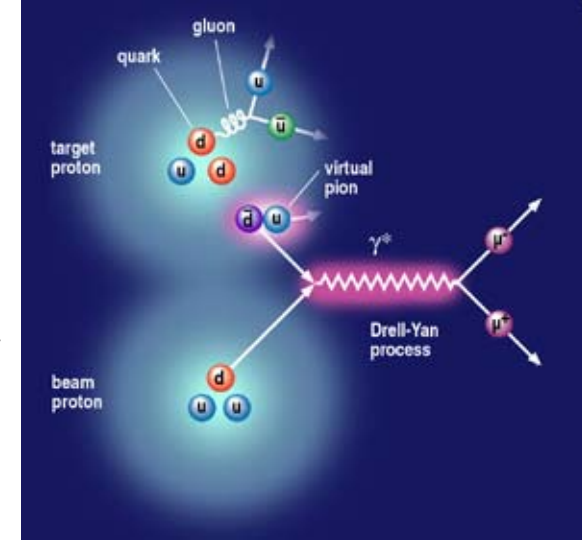
- TMD (横運動量依存) 因子化、TMD分布関数
- Transversity分布関数 + Analyzerとしての破砕関数
- 高次ツイスト効果

現在の目標

- 新しい(偏極)核子構造の理解
 - GPD(一般化パートン分布)関数
 - 形状因子とPDFを包含した概念
 - 因子化の証明(process independentである)
 - J_i の和則より軌道角運動量に結びつく
 - レプトン散乱による測定
 - 多次元データが必要
 - TMD(横運動量依存)分布関数
 - レプトン散乱、核子衝突の様々な測定
 - SSA測定、角分布測定
 - process independentでない
 - final/initial state interactionの役割？
 - transverse motionと軌道角運動量の定量的な関係？
 - 高次ツイスト効果
 - パートン間の量子的多体相関

現在の目標

- PDF (及びpol-PDF) の精密化
 - 反クォーク分布、フレーバー依存の測定
 - Drell-Yan反応
 - weak boson生成
 - QCDグローバル解析の発展
 - Small-x、Large-xの理解
- 破砕関数、偏極破砕関数の測定
 - Transversity分布関数のAnalyzer
 - Collins破砕関数
 - Interference破砕関数
- 形状因子の測定
 - 高運動量移行領域への拡張
 - 2光子交換プロセス
 - ハドロン自由度とパートン自由度のハイブリッド領域



現在の目標

- QCD摂動論
 - 高次計算
 - Log発散の再総和
- QCD非摂動論
 - 格子QCD
 - 荷電半径
 - 異常磁気能率
 - クォークの全角運動量
 - 有効理論、有効模型
 - メソンクラウド模型
 - カイラルソリトン
 - VMD (Vector Meson Dominance)
 - インスタントン描像
 - AdS/CFTからのアプローチ
 - 閉じ込めの力学？ QCDの真空構造？
 - (究極の目標？)

5~10年後の目標

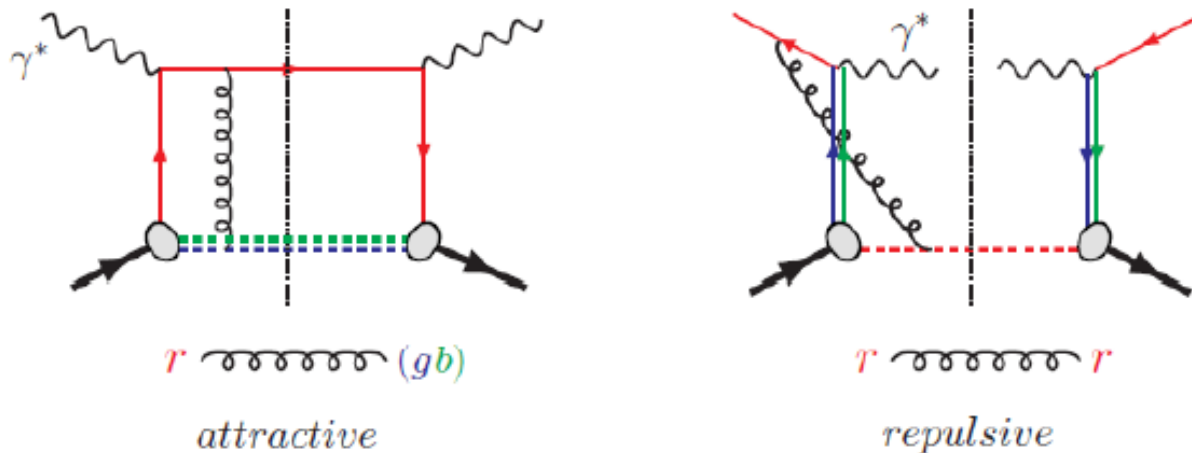
- TMD分布関数の測定

- 理論的基盤の確立

- 偏極SIDIS過程と偏極Drell-Yan過程による測定

- SIDIS過程 + final-state interaction

- Drell-Yan過程 + initial-state interaction



$$f_{1T}^\perp(x, k_\perp)|_{\text{SIDIS}} = -f_{1T}^\perp(x, k_\perp)|_{\text{DY}}$$

- transverse-motionと軌道角運動量の関連

10~20年後の目標

- GPD関数の測定

- レプトン散乱による測定

- DVCS (Deeply Virtual Compton Scattering)
- HEMP (Hard Exclusive Meson Production)

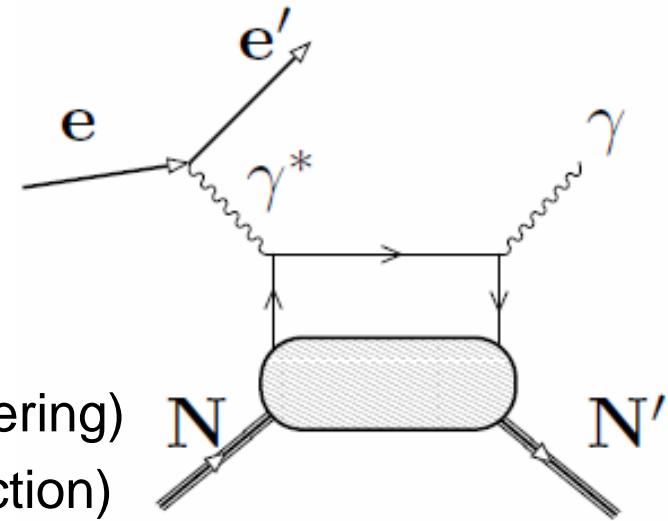
- Jiの和則から軌道角運動量を導出

- 核子スピンへの軌道角運動量の寄与を実験的に分離して導出する曖昧さのない手段

$$\frac{1}{2} = \sum_q J^q + J^g = \left(\frac{1}{2} \Delta\Sigma + \sum_q L^q \right) + J^g$$

- 多次元データが必要

- 新しい「核子」像に基づくさらなる発展...

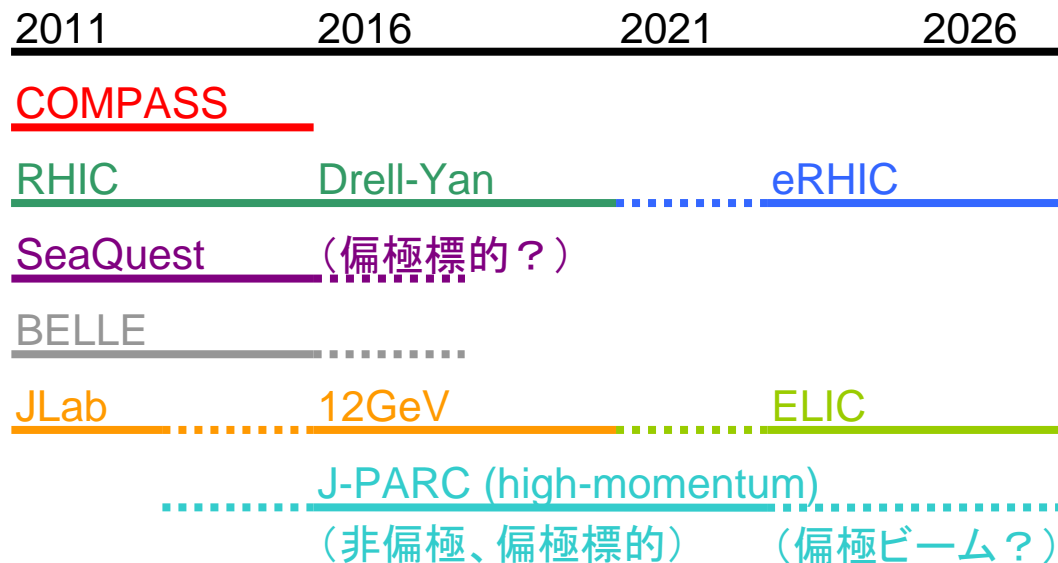


実験の現状

- CERN/COMPASS
 - 山形大、宮崎大
 - 約10名
 - 科研費、その他
- RHIC(スピン物理)
 - 理研、京大、東工大、立教大、KEK
 - 約30名
 - 理研:約2億円/年
- Fermilab/SeaQuest
 - 東工大、理研、山形大、KEK
 - 約10名
 - 科研費、大学運営費、その他:約3千万円/年
- BELLE(破砕関数)
 - 理研
 - 数名

実験計画

- CERN/COMPASS
- RHIC
- Drell-Yan実験
- BELLE
- JLab-12GeV
- EIC/ENC/LHeC
- J-PARC
- GSI/FAIR
- LHC
- Neutrino散乱、Neutrino factory



今後の方針

- 会合
 - オープンミーティング
 - 月例(第4金曜日)
 - 3月14日～15日
 - 研究会「核子構造研究の将来像」@理研仁科ホール
- 文書
 - 2月
 - 章立て
 - 各メンバー担当分の記述をまとめてドラフトを作成
 - 3月
 - さらに議論
 - ドラフトを改訂