

Struttura 3D di nucleoni e nuclei

Sergio Scopetta

Perugia, Dipartimento di Fisica e Geologia, 20/03/18

Offerta Tesi AA 2017-2018



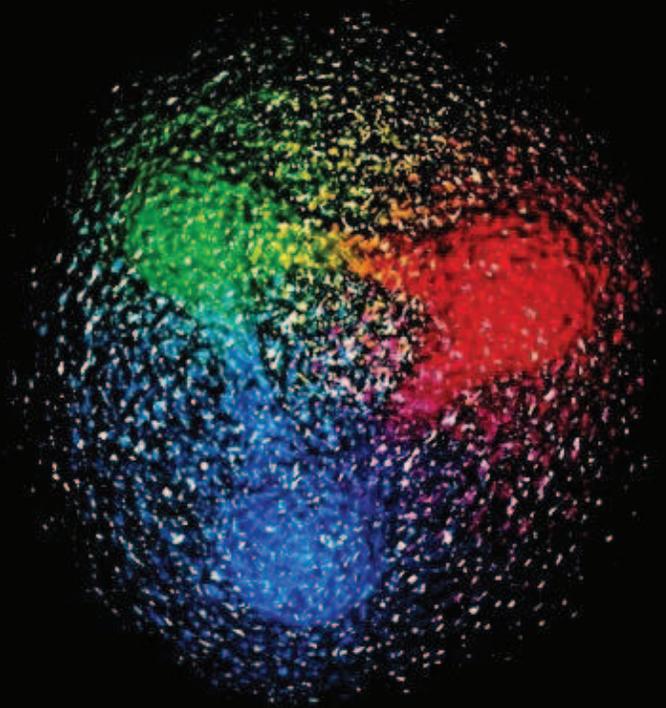
Indice

- Studi della struttura in 3D di protoni e nuclei in 5 minuti: nel mondo, in Italia, a Perugia
- Una tesi in fisica nucleare teorica: cosa vuol dire?
- TRE argomenti per una tesi magistrale
- Conclusioni



I nucleoni (protoni & neutroni), in 3D

Come è fatto un nucleone?



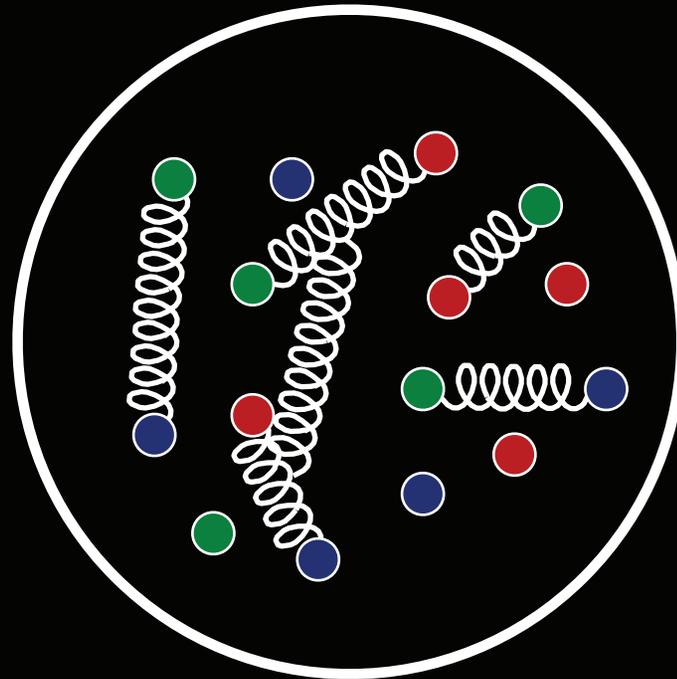
A. Bacchetta/INFN

Tuesday, 13 November 12



I nucleoni in 3D

Obiettivo a lungo termine:
Capire la QCD e il confinamento



A. Bacchetta/INFN12

Tuesday, 13 November 12



Il nostro approccio:



ottenere **immagini**
della struttura del nucleone

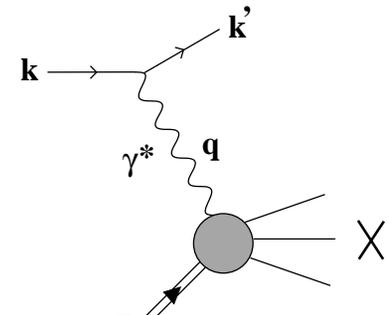
5 A. Bacchetta/INFN12

Tuesday, 13 November 12



Il contesto: DIS

Parliamo di diffusione profondamente anelastica (DIS); $A(e, e')X$,
 Se il bersaglio A ha $J_A = 1/2$, nel sistema del laboratorio (LAB) dove $q = (\nu, 0, 0, -q)$
 nel limite di Bjorken, $Q^2 = -q^2, \nu \rightarrow \infty, Q^2/\nu$ finito,



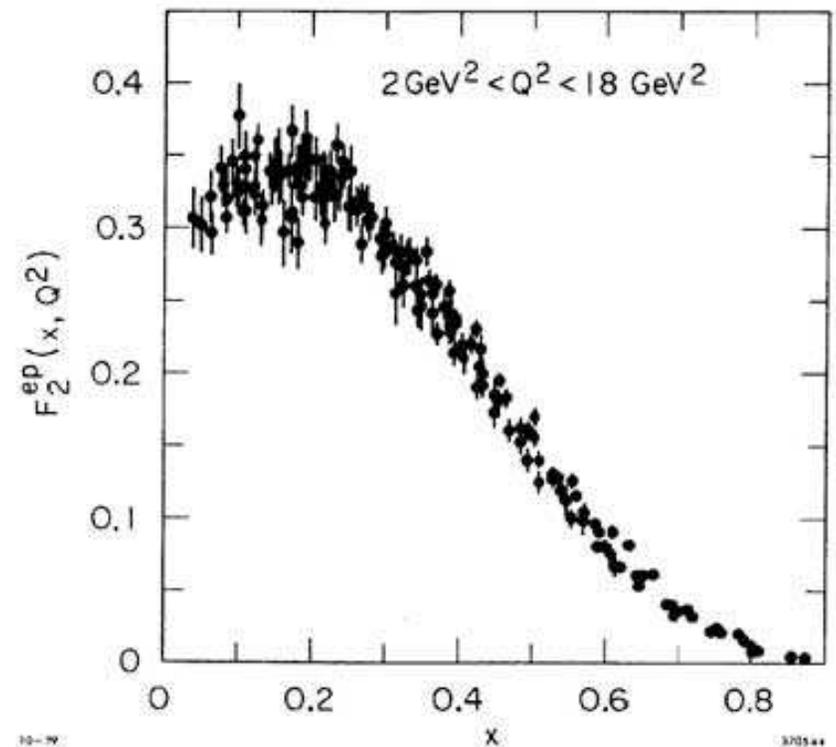
$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE'} \propto F_2(x) \simeq \sum_q e_q^2 x f_q(x)$$

$F_2(x)$ = funzione di struttura

$f_q(x)$ = distribuzione partonica (PDF)

$x = \frac{Q^2}{2P_A \cdot q}$ è un invariante:

- $x = \frac{Q^2}{2M_A \nu}$ (LAB);
- x = frazione di momento del bersaglio portata dal quark. nell' *Infinite Momentum Frame* (IMF) ($p_z \rightarrow \infty$)

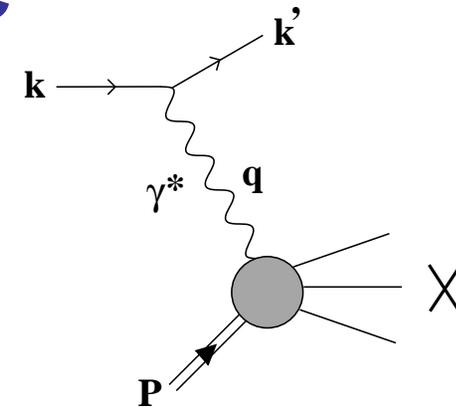


In generale, F_2 dipende da Q^2 . Nel limite di Bjorken, F_2 scala in x : **diffusione incoerente su costituenti puntiformi, i partoni** (Al LO in QCD, solo i quark contribuiscono ad F_2).

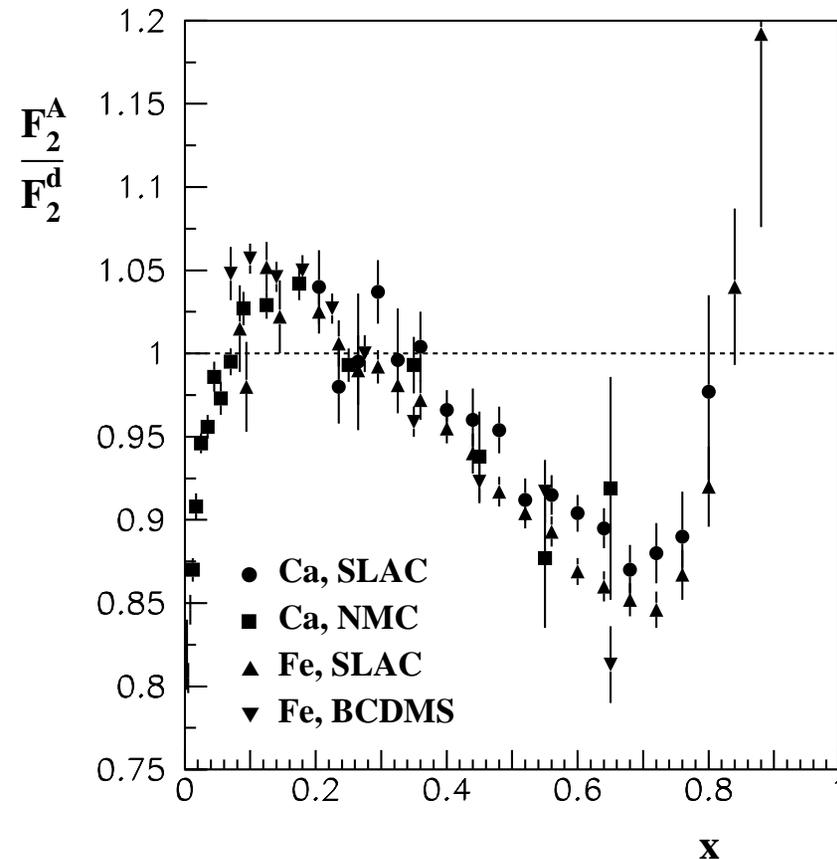


Un problema aperto: - effetto EMC

Misure inclusive, $A(e, e')X$, (EMC Coll., CERN, 1983)
del rapporto tra sezioni d'urto su
un nucleone legato in un nucleo e su un nucleone libero

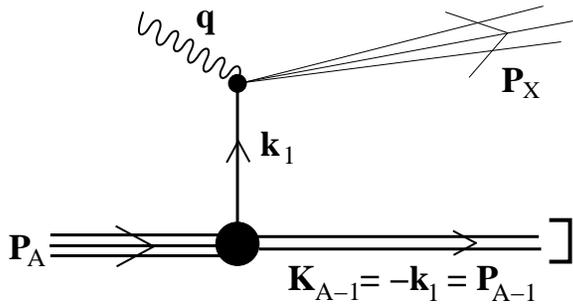


- Se il rapporto fosse 1, nucleone libero e legato sarebbero uguali
- Il rapporto non è 1
- Diciamolo: nessuno sa perchè
- Risposta con nuovi esperimenti, **NON inclusivi**
- misure più difficili, descrizioni teoriche più complicate
→ **importante per LHC (Alice)**



Come se ne esce? Esempio: una breve storia in 3 episodi

Il processo $A(e, e'(A-1))X$



Difficile esperimento in coincidenza.

Più facile ad un **collider** $e - A$.

Risultato: sarebbe molto chiaro!

$$d^2\sigma_A \propto F_2^N(x)$$

1) Nostro lavoro nel 1996, nucl-th/9609062;

Non accettato per la pubblicazione.

“Riciclato” nel 1999 pensando a un bersaglio fisso.

2) 2010: Esperimento proposto a JLab,

a bersaglio fisso. Rifiutato dal PAC di JLab.

3) 2017: approvato a JLab!

ALERT coll., arXiv:1708.00891 [nucl-ex], per ^4He ...

SI-PUÒ-FAREEE!

Eur. Phys. J. A 5, 191–207 (1999)

THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A
© Springer-Verlag 1999

Semi-inclusive deep inelastic lepton scattering off complex nuclei

C. Ciofi degli Atti¹, L.P. Kaptari^{1,*}, S. Scopetta²

¹ Department of Physics, University of Perugia and Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Perugia, Via. A. Pascoli, I-06100 Perugia, Italy

² Departament de Física Teòrica, Universitat de València, E-46100 Burjassot, València, Spain

Received: 4 March 1999

Communicated by B. Povh

Abstract. It is shown that in semi-inclusive deep inelastic scattering (DIS) of electrons off complex nuclei, the detection, in coincidence with the scattered electron, of a nucleus ($A-1$) in the ground state, as well as of a nucleon and a nucleus ($A-2$), also in the ground state, may provide unique information on several long standing problems, such as: i) the nature and the relevance of the final state interaction in DIS; ii) the validity of the spectator mechanism in DIS; iii) the medium induced modifications of the nucleon structure function; iv) the origin of the EMC effect.

PACS. 13.40.-f Electromagnetic processes and properties - 21.60.-n Nuclear-structure models and methods - 24.85.+p Quarks, gluons, and QCD in nuclei and nuclear processes - 25.60.Gc Breakup and momentum distributions

Semi-inclusive Deep Inelastic Scattering from Light Nuclei by Tagging Low Momentum Spectators

R. Dupré, K. Hafidi, and X. Zhan

Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA

S. Dhamija

Indiana University, Bloomington, Indiana 47405, USA

S. Stepanyan

Thomas Jefferson National Accelerator Facility,

Newport News, Virginia 23606, USA

(Dated: November 24, 2010)

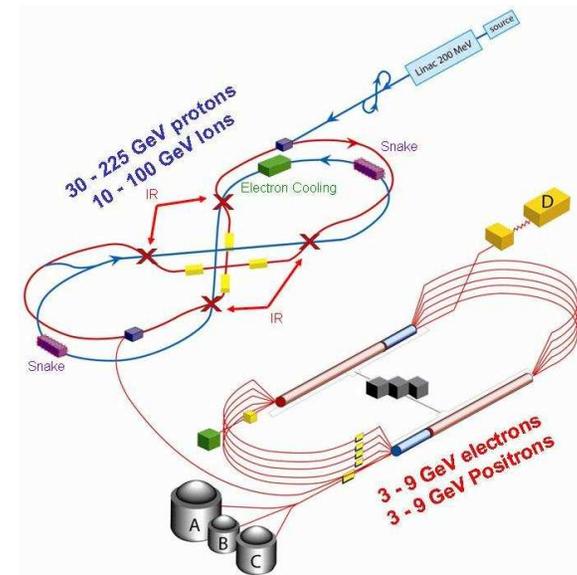
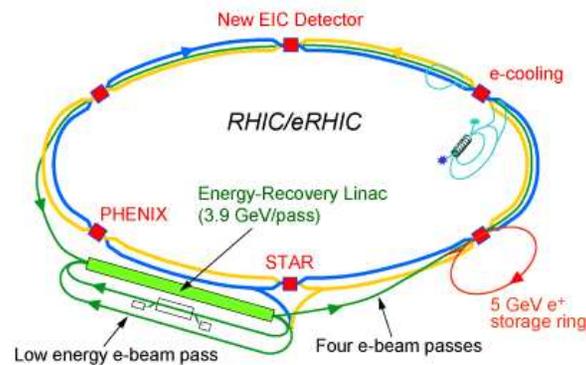
Abstract

We propose to measure the semi-inclusive deep inelastic scattering from light nuclei (D , ^3He , ^4He). The detection of the low energy recoil nucleus in the final state will provide unique information about the nature of nuclear EMC effect and will permit to investigate the modifications of the nucleon structure functions in the nucleus. We propose to measure a set of observable by using the future 11 GeV electron beam in Hall B CLAS12. The baseline CLAS12 detector is suitable to detect electrons in the valence region, and a new low energy recoil detector with good performance is required to achieve the proposed physics goals.



...E poi: ecco l' "Electron Ion Collider (EIC)"!

- Nel prossimo decennio, l'unico acceleratore attivo negli USA. Capire la QCD: adronizzazione, natura del confinamento, essenziale per la scoperta di nuova Fisica
- A BNL o a JLab; Oltre 1 Miliardo di dollari di investimento

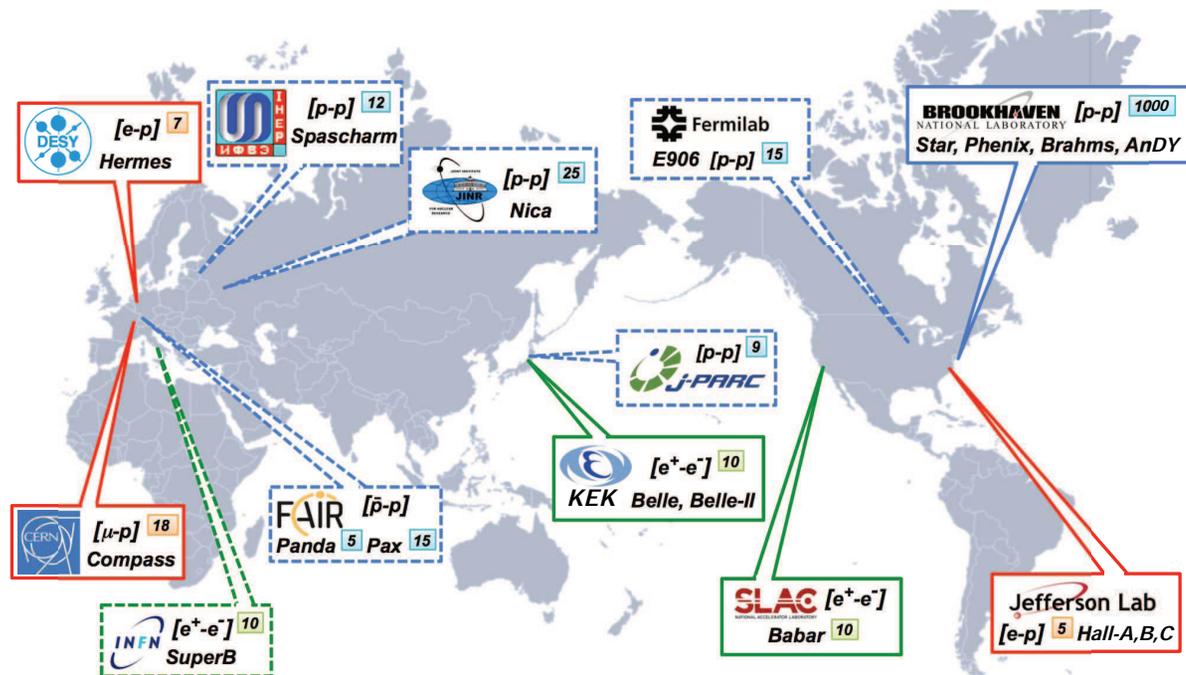


- 663 users, 147 istituzioni (anche PG (IO!)), 28 paesi
- Partecipazione italiana: la più consistente in Europa. Invito: 11 Aprile prossimo, QUI, seminario di Marco Radici, INFN Pavia.
- Lo sviluppo naturale della mia ricerca attuale. Perugia c'è e dovrebbe restarci: notevole aumento di inviti e impatto. Ora è il momento di proporre misure e bisogna lavorarci.



I nucleoni in 3D

Tanti esperimenti coinvolti



si veda il talk di Marco Mirazita

23 A. Bacchetta/INFN12

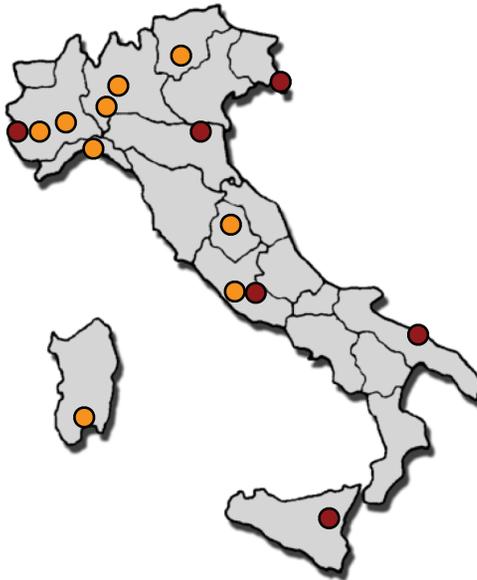
Tuesday, 13 November 12



Chi lavora nel campo in Italia

Teoria (AD31 e TO31)

Alessandria
Cagliari
Genova
Milano Bic
Pavia
Perugia
Roma I e II
Torino
Trento



Esperimenti (Compass e JLab12)

Bari
Catania
Ferrara
Frascati
ISS
Roma I e II
Torino
Trieste



solo UN aspetto di un lavoro teorico vasto...

Iniziativa Specifica “NINPHA”, CS IV INFN:

- Torino;
- Genova;
- Perugia;
- Roma1;
- Roma2;
- Pavia;
- Cagliari;
- Milano Bicocca:

Valutazione INFN eccellente (AAA)

Su questi temi a Perugia lavoriamo io e Sara Fucini (Ph.D.)...



Ma non siamo isolati!

Colleghi con i quali ho almeno una pubblicazione negli ultimi tre anni, o una collaborazione in corso:

- **Roma** Giovanni Salmè, Emanuele Pace
- **Valencia, Spagna** Santiago Noguera, Matteo Rinaldi, Vicente Vento
- **Dubna, Russia** Leonid Kaptari
- **Liegi, Belgio** Federico Alberto Ceccopieri
- **Mexico, Messico** Aurore Courtoy
- **IPN Orsay, Paris 11, Francia** Raphael Duprè
- **Trento** Marco Claudio Traini
- **Trieste** Daniele Treleani
- **Mainz, Germania** Tomas Kasemets
- **Pisa** Michele Viviani
- **South Carolina, USA** Alessio Del Dotto
- **Argonne NL, Chicago, IL, USA** K. Hafidi, W. Armstrong
- **Buenos Aires, Argentina** Daniel Gomez Dumm, Norberto Scoccola



Una tesi in Fisica Nucleare teorica



Quali argomenti?

Struttura 3D di nucleoni e nuclei leggeri studiata con sonde di alta energia. Pochi corpi!



Quanto dura?

6 mesi (a tempo pieno), per regolamento



Cosa devo sapere?

QM, RQM, QFT elementare, cose che ormai fate tutti. Rispetto ai corsi frequentati, bisogna studiare un pò di fenomenologia e di tecnica (1-2 mesi)



Cosa farò?

Calcolo di osservabili, funzioni di struttura o sezioni d'urto, prima **analitici** e poi **numerici** (3-4 mesi).

Poi c'è da scrivere (1-2 mesi)



Con chi lavorerò?

Con Sergio Scopetta (e collaboratori esterni a Perugia)



Alcuni argomenti di massima

Tre argomenti, sulla struttura partonica (cioè, in termini di costituenti elementari) di nucleoni e nuclei, indagata con una nuova generazione di esperimenti di scattering ad alta energia, presso il CERN, JLab (USA), FAIR (Germania):

1. **Trattazione relativistica di sistemi legati di 3 corpi** (collaborazione con Pisa, Roma 1 e 2, Valencia (Spagna), Buenos Aires (Argentina), San Paolo (Brasile));
2. **Struttura tridimensionale del nucleone legato da esperimenti su nuclei di ^2H , ^3He , ^4He** (collaborazione con Pisa, Roma 1 e 2, JLab (VA, USA), Parigi (Francia), Dubna (Russia));
3. **Calcolo di distribuzioni partoniche multiple misurate ad LHC** (collaborazione con Trento, Trieste, Valencia (Spagna) e colleghi locali di CMS).



Per dettagli, cercatemi!

C'è dell'altro...



I molti corpi? Li insegno.

“Chi sa fare fa, chi non sa fare insegna”

(Chi l'ha detto? Oscar Wilde? Woody Allen? Lao-Tse?)

Ma insegnando si impara...

Mi piace molto e, con un po' di fortuna, ho ancora tempo per studiare...

E ho tanti amici che sono esperti mondiali di many-body nucleare

Esempi:

Francesco Pederiva (Trento) per stelle di neutroni;

Enrico Vigezzi (Milano) per BCS nucleare...

Possibili tesi in co-tutela

I molti corpi: tecniche universali, ad ogni scala di energia.

Io sono a mio agio con i GeV ma ho fatto escursioni verso i MeV e i TeV...

Mi piacerebbe fare qualcosa verso i KeV... O anche i meV... Anche Astrofisica nucleare (sinergia con colleghi di Perugia)



Esempi

 F. Fratini:
Tesi, Febbraio 2008;
pubblicazione, Agosto 2008

 M. Rinaldi:
Tesi, Settembre 2011
pubblicazione, Giugno 2012

 S. Fucini:
Tesi, Settembre 2017
pubblicazione:
stiamo scrivendo...

PHYSICAL REVIEW D **78**, 034002 (2008)

Quark model analysis of the Sivers function

A. Courtoy,¹ F. Fratini,² S. Scopetta,^{2,3,*} and V. Vento^{1,4}

¹*Departament de Física Teòrica, Universitat de València and Institut de Física Corpuscular, Consejo Superior de Investigaciones Científicas 46100 Burjassot (València), Spain*

²*Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Perugia, via A. Pascoli 06100 Perugia, Italy*

³*INFN, sezione di Perugia, via A. Pascoli 06100 Perugia, Italy*

⁴*TH-Division, PH Department, CERN, CH-1211 Genève 23, Switzerland*

(Received 28 January 2008; revised manuscript received 13 June 2008; published 6 August 2008)

We develop a formalism to evaluate the Sivers function. The approach is well suited for calculations which use constituent quark models to describe the structure of the nucleon. A nonrelativistic reduction of the scheme is performed and applied to the Isgur-Karl model of hadron structure. The results obtained are consistent with a sizable Sivers effect and the signs for the u and d flavor contributions turn out to be opposite. This pattern is in agreement with the one found analyzing, in the same model, the impact parameter dependent generalized parton distributions. The Burkardt sum rule turns out to be fulfilled to a large extent. We estimate the QCD evolution of our results from the momentum scale of the model to the experimental one and obtain reasonable agreement with the available data.

DOI: [10.1103/PhysRevD.78.034002](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.78.034002)

PACS numbers: 13.88.+e, 13.60.Hb, 13.87.Fh

PHYSICAL REVIEW C **85**, 062201(R) (2012)

Neutron orbital structure from generalized parton distributions of ^3He

M. Rinaldi* and S. Scopetta†

Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Perugia, and Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Sezione di Perugia, via A. Pascoli 06100 Perugia, Italy

(Received 16 April 2012; published 27 June 2012)

The generalized parton distribution H and E of the ^3He nucleus, which can be measured in hard exclusive processes such as coherent deeply virtual Compton scattering, are thoroughly analyzed in impulse approximation, within the A_v18 interaction. It is found that their sum, at low momentum transfer, is dominated to a large extent by the neutron contribution: the peculiar spin structure of ^3He makes this target unique for the extraction of the neutron information. This observation allows access, in dedicated experiments, to the orbital angular momentum of the partons in the neutron.

DOI: [10.1103/PhysRevC.85.062201](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.85.062201)

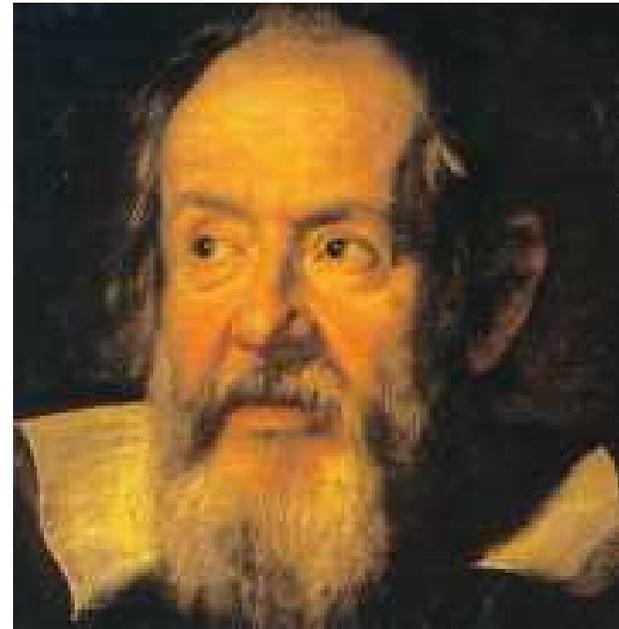
PACS number(s): 21.45.-v, 13.60.Hb, 14.20.Dh, 24.85.+p



Una tesi: un *piccolo contributo originale*

*Io stimo più il trovare un vero,
benchè di cosa leggiera,
che 'l disputar lungamente
delle massime questioni
senza conseguir verità nissuna*

G. Galilei, Scritti letterari



Una tesi: un *piccolo contributo originale*

*Sono sbalordito dalla gente
che vuole conoscere l'universo,
quando è già abbastanza
difficile non perdersi
nel quartiere cinese*

W. Allen

