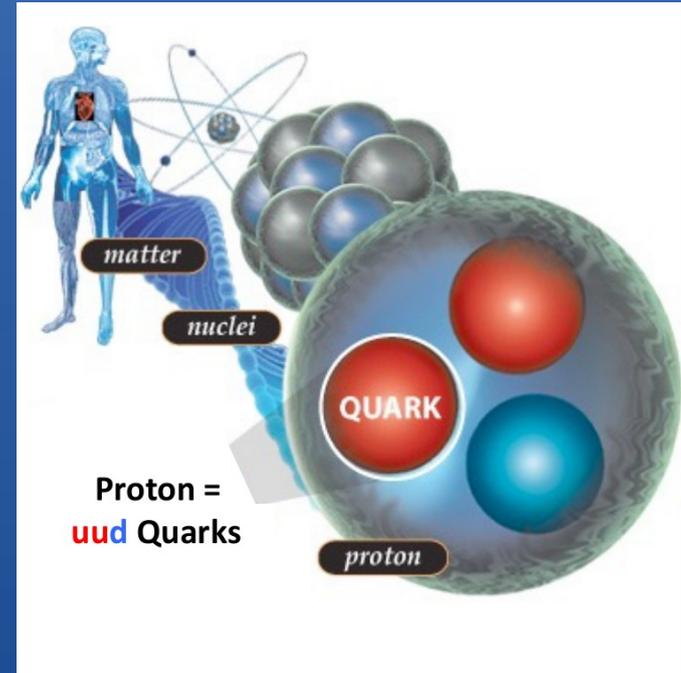


Wie beeinflussen Elementarteilchen den Aufbau von Atomkernen?

Sascha Stöß
Integrierte Gesamtschule (IGS) Grünstadt
Rheinland-Pfalz

Inhalt:

1. Motivation und Fragestellung
2. Physikalische Grundlagen
3. Physikdidaktische Erkenntnisse
4. Zur Diskussion gestellt



Bildquelle: Plenarvortrag Prof. Dr. Achim Denig, Institut für Kernphysik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Hadronenphysik, 'Was die Welt im Innersten zusammenhält, Leinsweiler/Pfalz, 30. April 2022, Lehrerfortbildung Kernphysik

1. Motivation und Fragestellung

Elementarteilchenphysik \Leftrightarrow Kernphysik

?

Sekundarstufe II \Leftrightarrow Sekundarstufe I

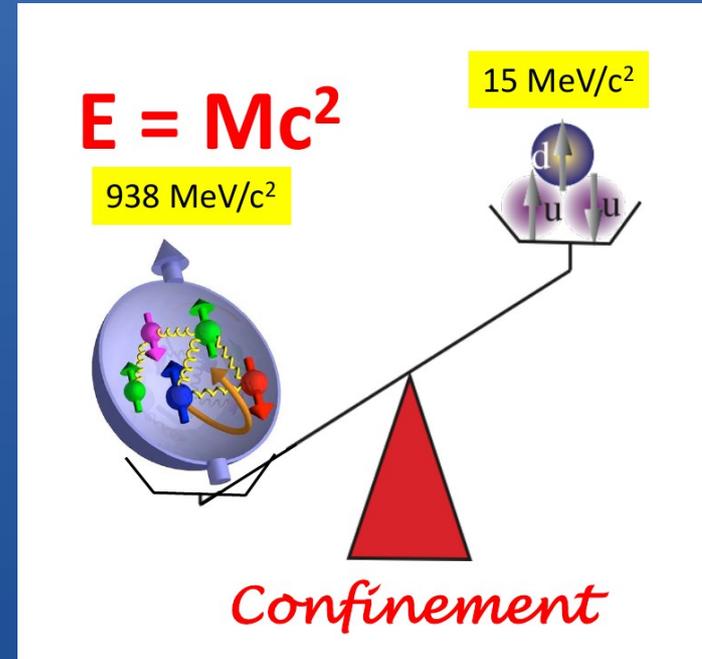
2. Physikalische Grundlagen

- Die Protonenmasse ist größer als die Summe seiner offensichtlichen Quarkbestandteile
- Keine freien Quarks!
- Interne Dynamik: Quarks in Hadronen ständig umgeben von Gluonen und anderen Quarks.

Bildquellen:

Plenarvortrag Prof. Dr. Achim Denig, Institut für Kernphysik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Hadronenphysik, Was die Welt im Innersten zusammenhält, Leinsweiler/Pfalz, 30. April 2022, Lehrerfortbildung Kernphysik

https://en.wikipedia.org/wiki/Color_confinement



https://en.wikipedia.org/wiki/Color_confinement#/media/File:Gluon_tube-color_confinement_animation.gif

2. Physikalische Grundlagen

- Entwicklung der Modellvorstellung der Nukleonensubstruktur
- Nukleonenspin s_N besteht aus mehreren Anteilen:

$$s_N = \Delta q + L_q + \Delta G + L_G$$

Δq : die Summe der intrinsischen Spins der drei Quarks

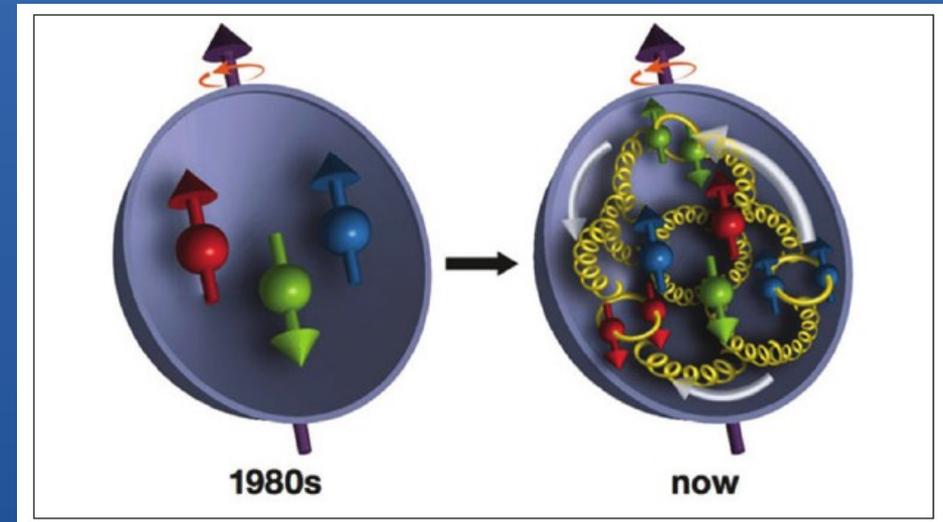
ΔG der Beitrag der Gluonen

L_q bzw. L_G jeweils die Bahndrehimpulse der Quarks und Gluonen

Quellen:

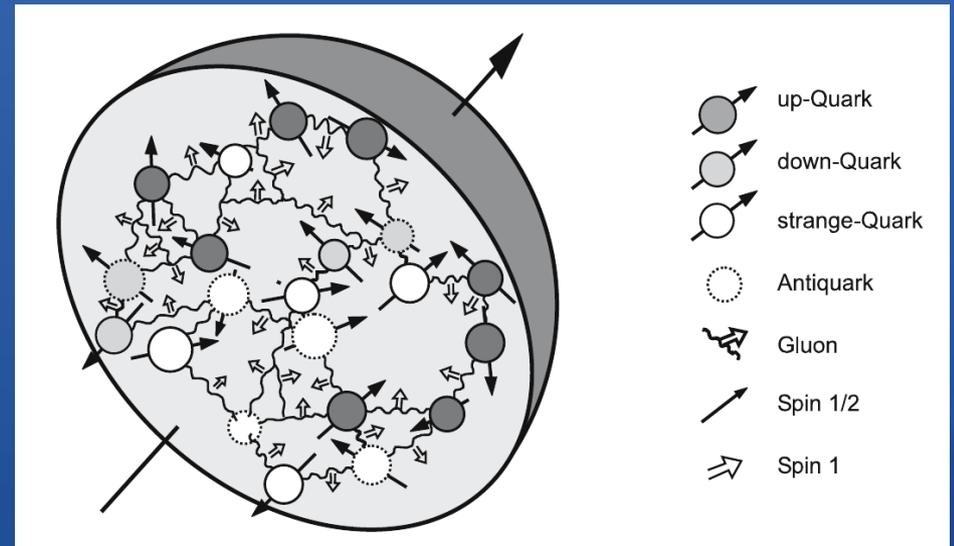
K. Bethge, G. Walter, B. Wiedemann: Kernphysik - Eine Einführung, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, 2008, S.294-297

D. Lincoln: A Centennial of Protons, Phys. Teach. 57, 368–372 (2019), <https://doi.org/10.1119/1.5124272>



2. Physikalische Grundlagen

- HERMES-Experimente:
Komplizierter Aufbau des Protons
- Viele verschiedene Spin-Anteile
- Quark-Antiquark-Paare entstehen kurzzeitig und annihilieren dann wieder wieder.
- Valenz-Quarks und See-Quarks (auch Quark-Paare aus den anderen Quarkfamilien)
- Δq liegt zwischen 25 und 38%

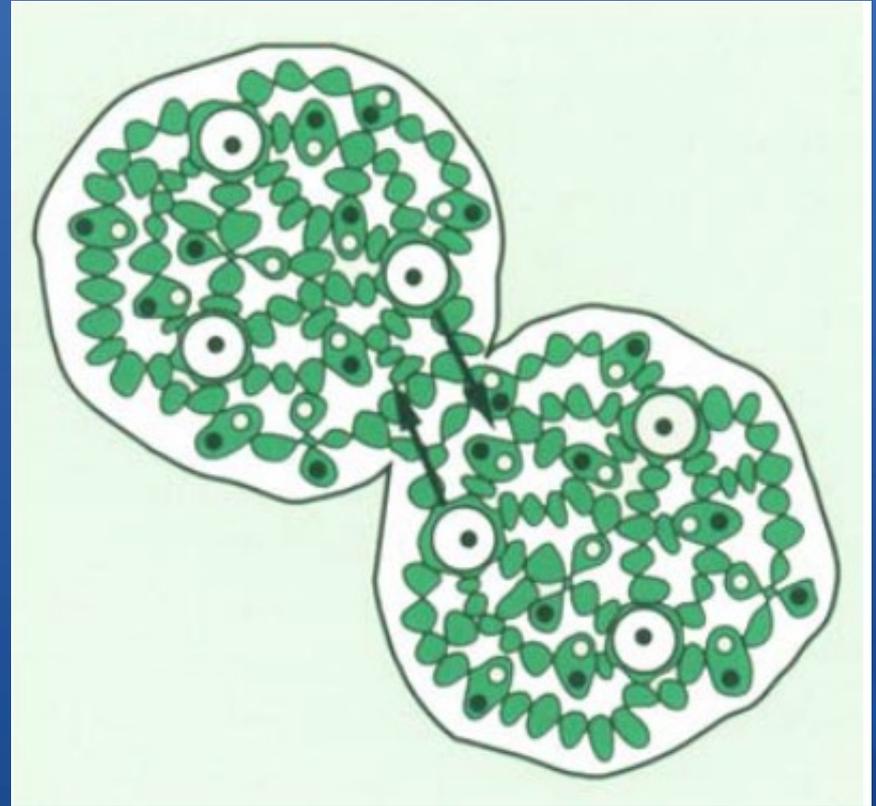


Quelle: K. Bethge, G. Walter, B. Wiedemann: Kernphysik - Eine Einführung, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, 2008, S.294-297

2. Physikalische Grundlagen

- HERA-Experimente
- Entstehung der Kernkräfte durch Austausch von Quarks, Antiquarks und Gluonen zwischen zwei Nukleonen
- Gluonen werden als Doppelbänder (grün) dargestellt, die sich gelegentlich in Quark-Antiquark-Paare verwandeln.

Quelle: P. Waloschek: HERA durchleuchtet das Proton, Physik in unserer Zeit, 23. Jahrg. 1992, Nr. 6, S.263-271



3. Physikalische Grundlagen

- **Breaking new** LHC CERN-Experiment!!!
- Studie zeigt Einfluss von Elementarteilchen auf den Aufbau von Atomkernen
- Ergebnisse:

Gleiche Häufigkeit von Nukleon-Paaren bei niedrigen und hohen Energien

Quarks und Gluonen in diesen Paaren verhalten sich anders als in freien Nukleonen

Häufigkeit der Paare nimmt mit der Kernmasse zu

Quellen:

Informationsdienst Wissenschaften: <https://idw-online.de/de/news841266>

Denniston A. W., Ježo T. et al. (2024): Modification of Quark-Gluon Distributions in Nuclei by Correlated Nucleon Pairs, Physical Review Letters 133, 152502; DOI: 10.1103/PhysRevLett.133.152502;

3. Physikalische Grundlagen

- Extraktion aus den Messdaten:

Partonen-Verteilungsfunktionen:
parton distribution functions
(PDFs) → Quarkebene

- Nuleare Verteilungsfunktionen:
parton distribution functions
(nPDFs) → Kernebene

Quellen:

Informationsdienst Wissenschaften: <https://idw-online.de/de/news841266>

Denniston A. W., Ježo T. et al. (2024): Modification of Quark-Gluon Distributions in Nuclei by Correlated Nucleon Pairs, Physical Review Letters 133, 152502; DOI: 10.1103/PhysRevLett.133.152502;

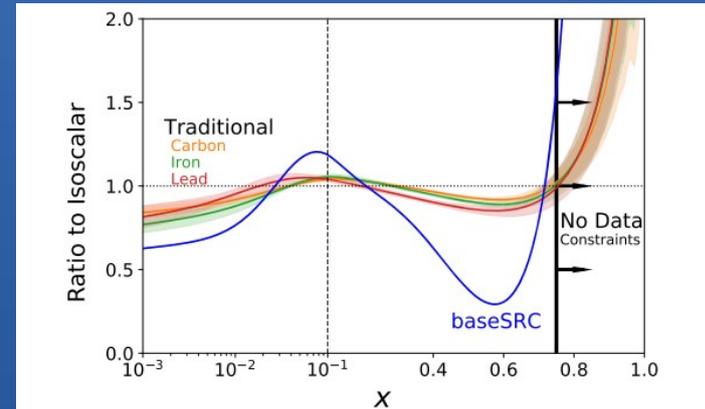


FIG. 2. The ratio of the rescaled structure function F_2^A/A to the isoscalar combination $(F_2^p + F_2^n)/2$, computed for the TRADITIONAL PDFs for carbon, iron, and lead. Separately, we show the isoscalar F_2 structure function computed with the SRC component, f_i^{SRC} , of the baseSRC PDFs divided by the aforementioned isoscalar combination. Both F_2^A and F_2 are calculated using the LO formula [69] at $Q = 10$ GeV. The baseSRC curve illustrates the shape of the relative nuclear modification, which is universal and independent of A . This nuclear modification is weighted by the SRC coefficients (typically $\sim 10\%$ to 30%) and added to the proton PDF to yield the full nPDF.

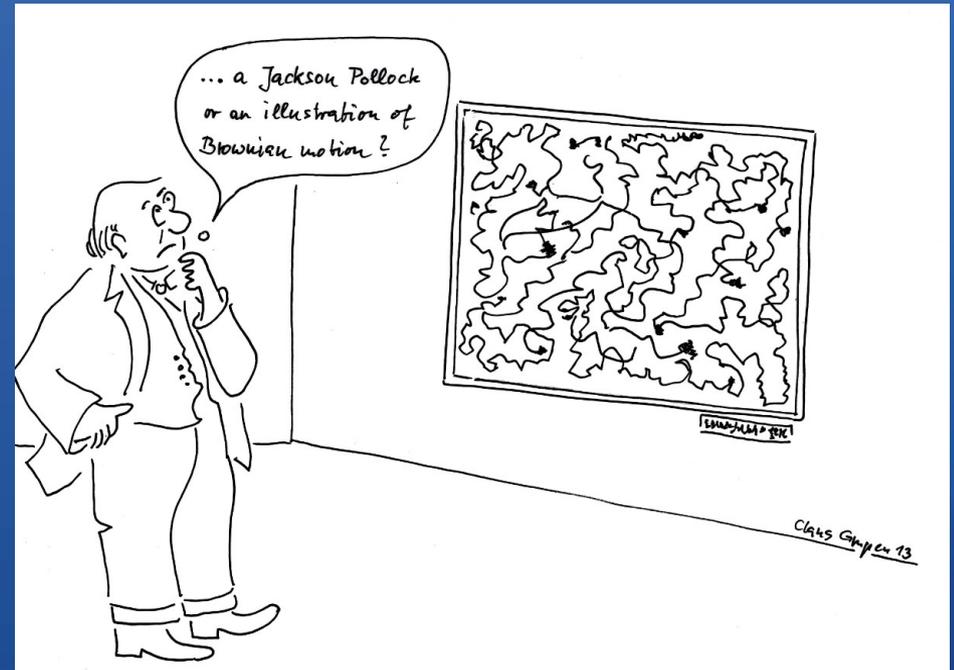
3. Physikdidaktische Erkenntnisse

- IPN Interessens-Studie:

Hohes Interesse von Schülerinnen und Schülern an der modernen Physik

- Wenig bis gar kein physikdiaktisches Unterrichtsmaterial zur Entstehung von Kernkräften aus dem Austausch von Quarks und Gluonen zwischen Nukleonen für die Sek.I
- Forschung zur didaktischen Reduktion dringend erforderlich

Bildquelle: <https://www.hep.physik.uni-siegen.de/~gruppen/pollock.jpg>



4. Zur Diskussion gestellt

- Feynman-Diagramme in Sek. I sinnvoll?
- Didaktische Reduktion: Kernkraftentstehung durch Austausch von Quarks unter Nukleonenpaaren für Sek. I qualitativ geeignet?
- Austauschursache: Energiedifferenzen? (→ Quantenthermodynamik)
- Modelle für starke WW: Gummiband? Feder?