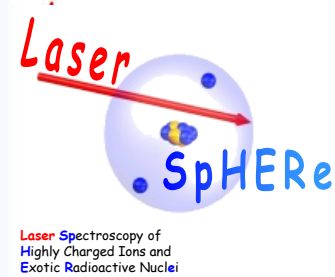


Messung des Kernladungsradius von Beryllium-12 mittels frequenzkammgestützter kollinearer Laserspektroskopie

Andreas Krieger

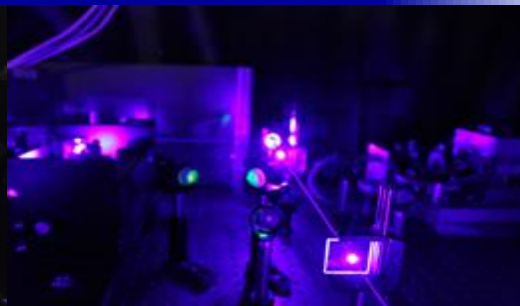
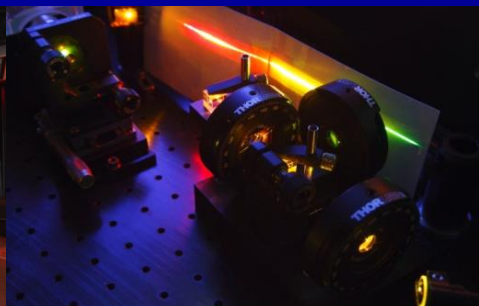
Dissertationspreis-Symposium

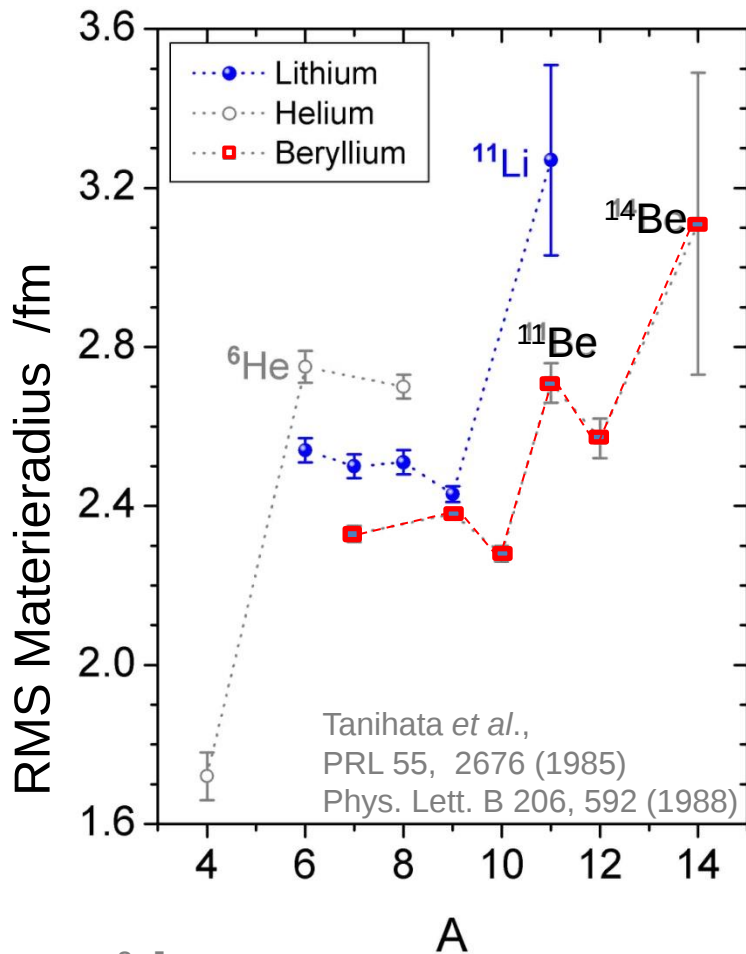


JOHANNES GUTENBERG
UNIVERSITÄT MAINZ

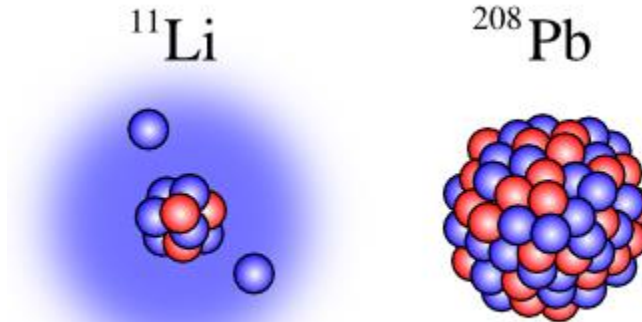


HIM





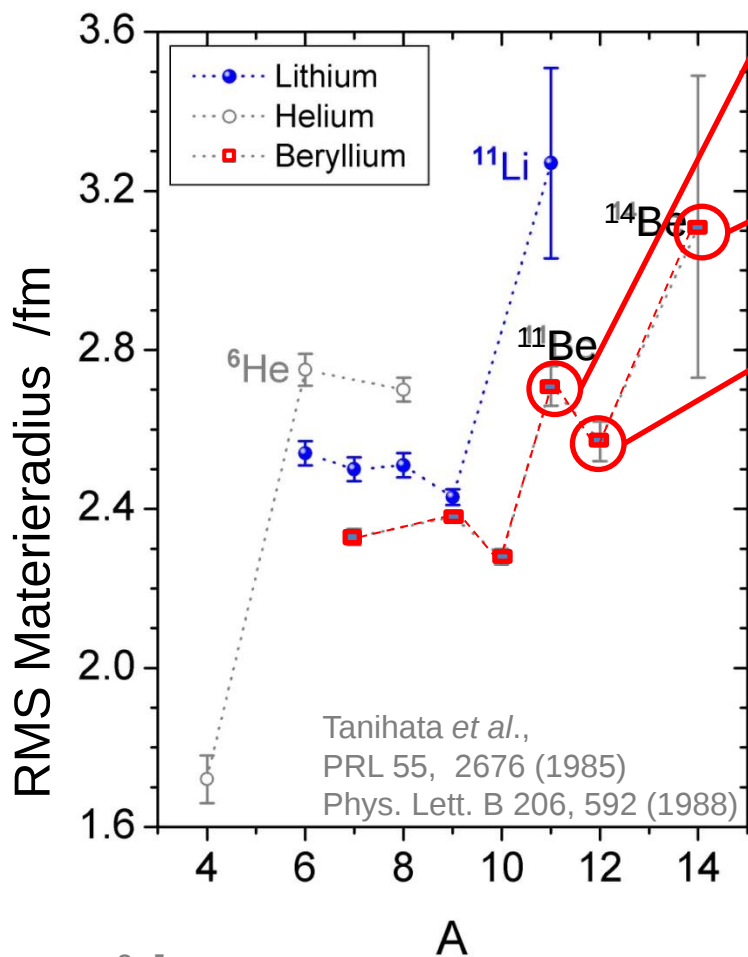
(a) Exotische Kernstrukturen
Modelunabhängiger Zugang
zur Kernstruktur von Halo-Kernen



(b) Kernladungsradien sind Prüfsteine für
Kernmodelle!

Benchmark für Kernstrukturmodelle, die auf
individuellen Nukleon-Nukleon Potentialen basieren
(Greens-Function Monte Carlo, No-Core Shell
Modell, Fermionic Molecular Dynamics)

Motivation



1n Halo Kern

Halo Kern

N=8 Schalenabschluss?

^{11}Li

^{208}Pb

(b) Kernladungsradien sind Prüfsteine für Kernmodelle!

Benchmark für Kernstrukturmodelle, die auf individuellen Nukleon-Nukleon Potentialen basieren (Greens-Function Monte Carlo, No-Core Shell Modell, Fermionic Molecular Dynamics)

Hansen & Jonson
Europhys. Lett. **4**, 409 (1987)

Die Isotopieverschiebung



Annahmen:
Der Kern ist unendlich
schwer und punktförmig.

Aufspaltung H_α Linie
in natürlichem
Wasserstoff
→ „schwerer“
Wasserstoff

H. C. Urey
1931

Nobelpreis
1934

Isotop A

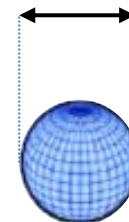


Isotop A'



= Frequenzunterschied eines elektronischen
Übergangs zwischen zwei Isotopen

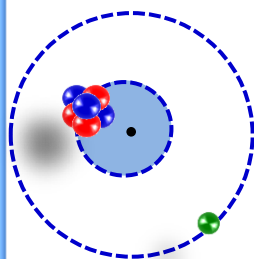
$$\delta \nu_{IS}^{A,A'} = \underbrace{(K_{NMS} + K_{SMS}) \cdot \frac{M_{A'} - M_A}{M_A M_{A'}}}_{\text{Mass effect}} + F \cdot \delta \langle r^2 \rangle^{A,A'}$$



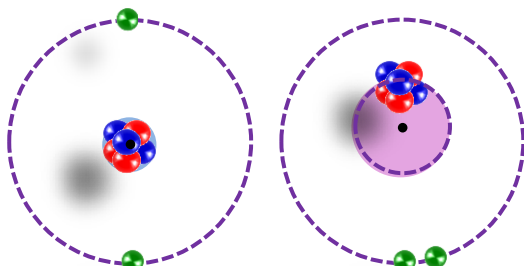
Masseneffekt

Kernbewegung um Massenschwerpunkt

NMS



SMS



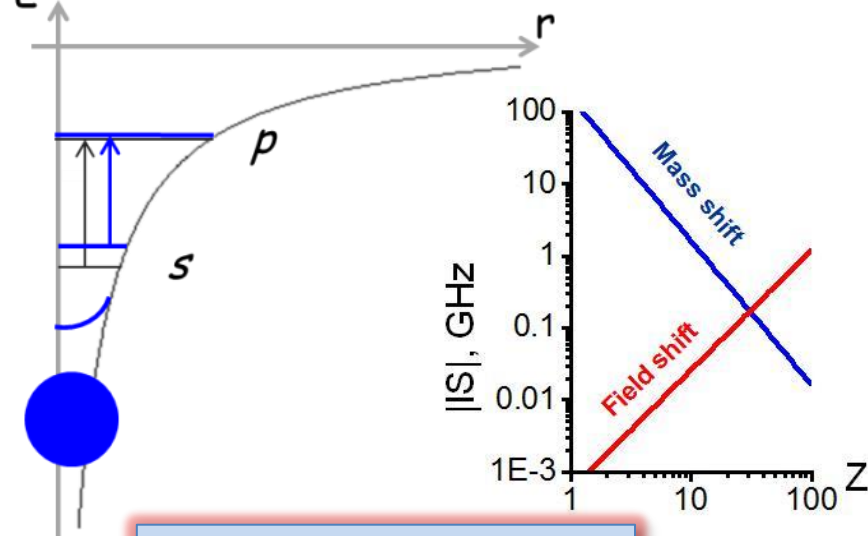
$^{12,9}\text{Be}^+$:

$2s_{1/2} \rightarrow 2p_{1/2}$

43 390,168(39) MHz

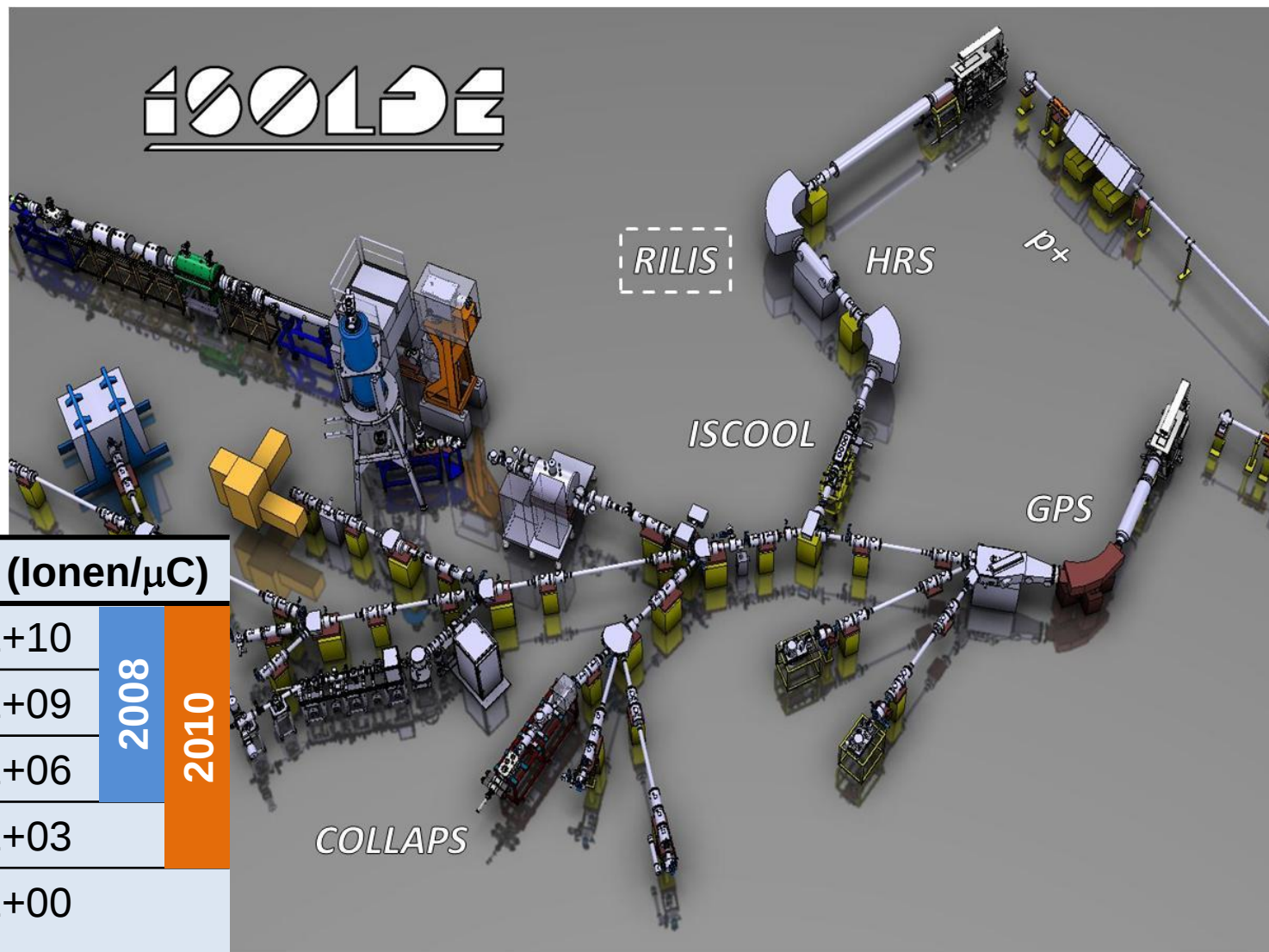
Feldeffekt

Endliche Ausdehnung des Kerns



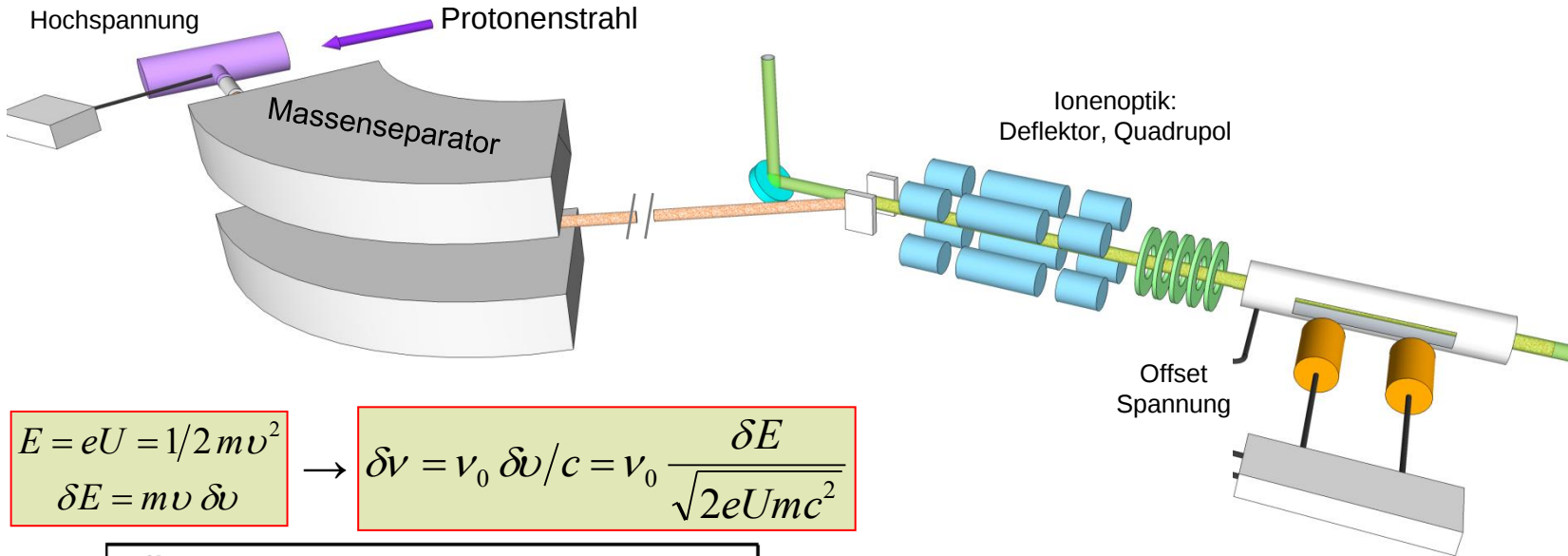
17,021(31) MHz/fm²

Die Isotopenfabrik ISOLDE/CERN



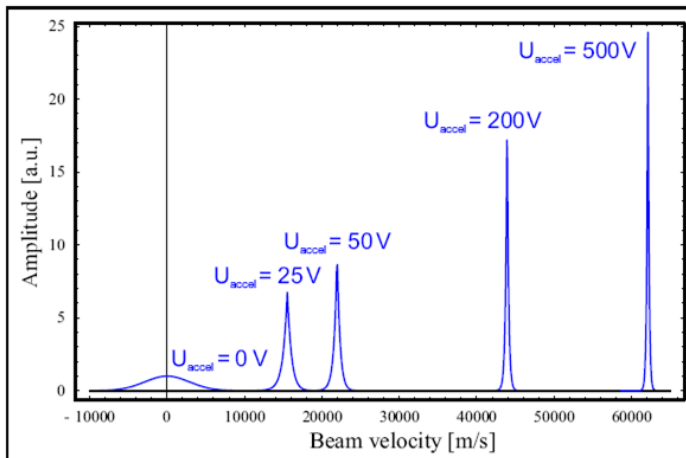
Isotope	Rate (Ionen/ μC)	2008	2010
^7Be	1.4 E+10		
^{10}Be	6.0 E+09		
^{11}Be	7.0 E+06		
^{12}Be	1.5 E+03		
^{14}Be	4.0 E+00		

Kollineare Laserspektroskopie



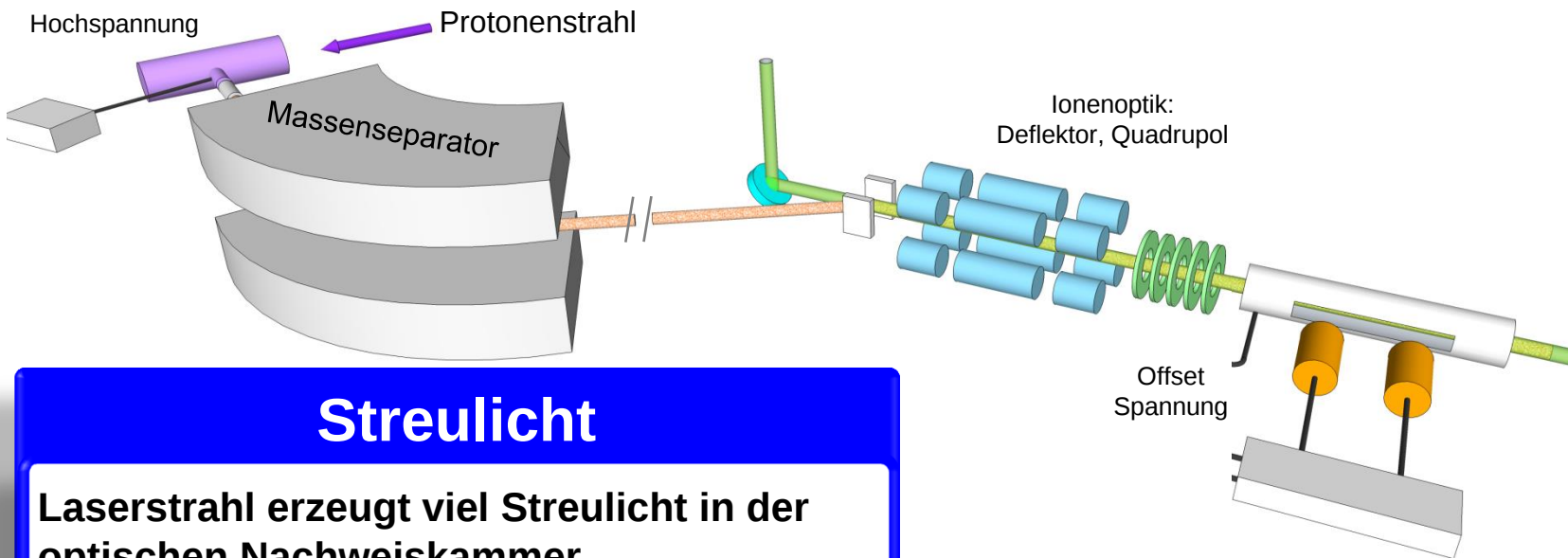
$$E = eU = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow \delta v = v_0 \frac{\delta v}{c} = v_0 \frac{\delta E}{\sqrt{2eUm}c^2}$$

$$\delta E = mv \delta v$$



$$v_c = v_0 \cdot \gamma \cdot (1 + \beta) \quad \beta = \sqrt{2eU / mc^2}$$

Änderung der Geschwindigkeit der Ionen
(Dopplertuning)



Streulicht

Laserstrahl erzeugt viel Streulicht in der optischen Nachweiskammer

➔ Nachweisgrenze: 10^5 Ionen / s

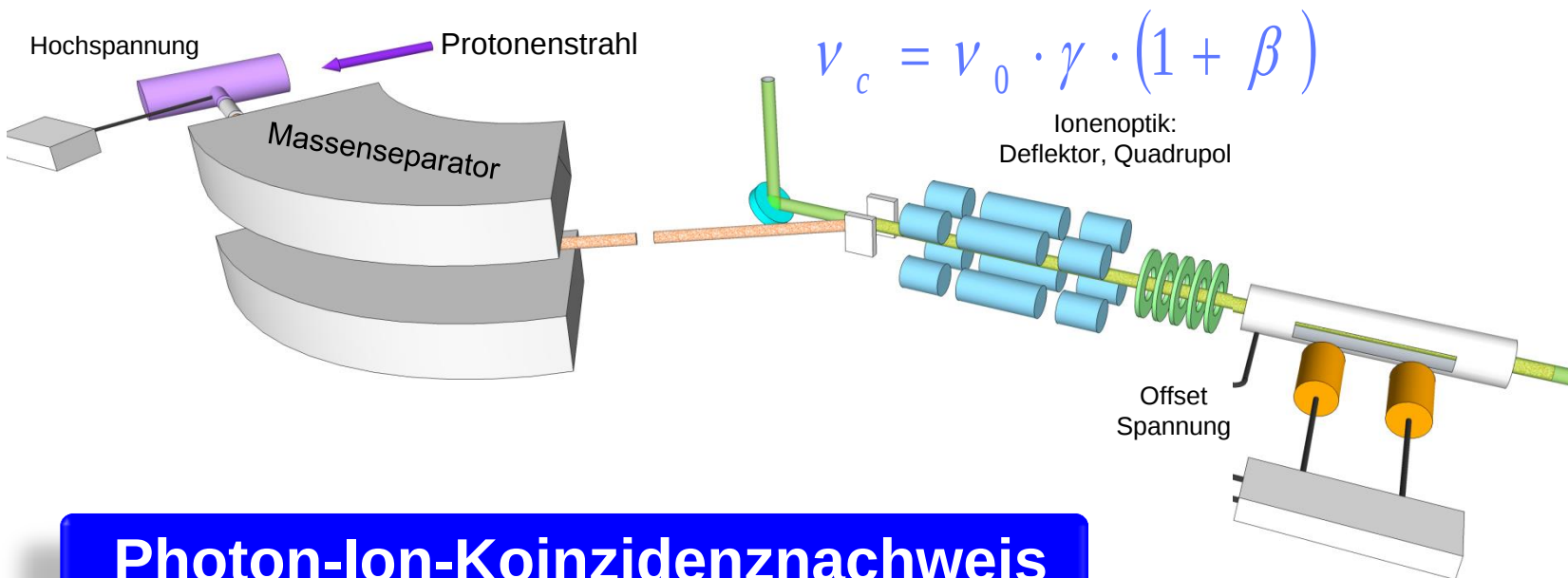
$$\nu_c = \nu_0 \cdot \gamma \cdot (1 + \beta)$$

Ungenauigkeit der Spannung

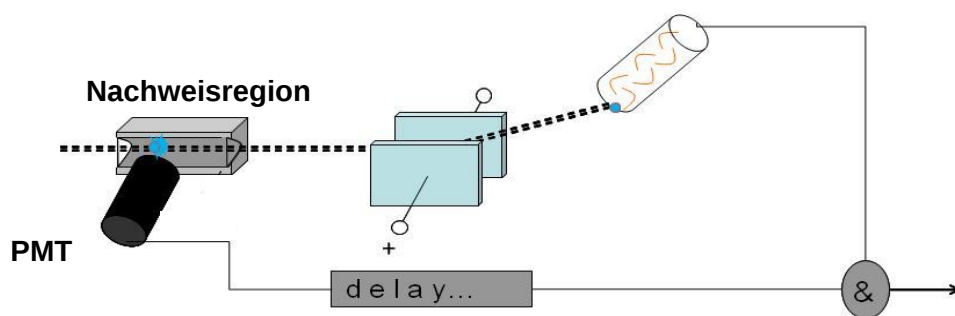
typisch 10^{-4} ➔ 6 V @ 60 kV

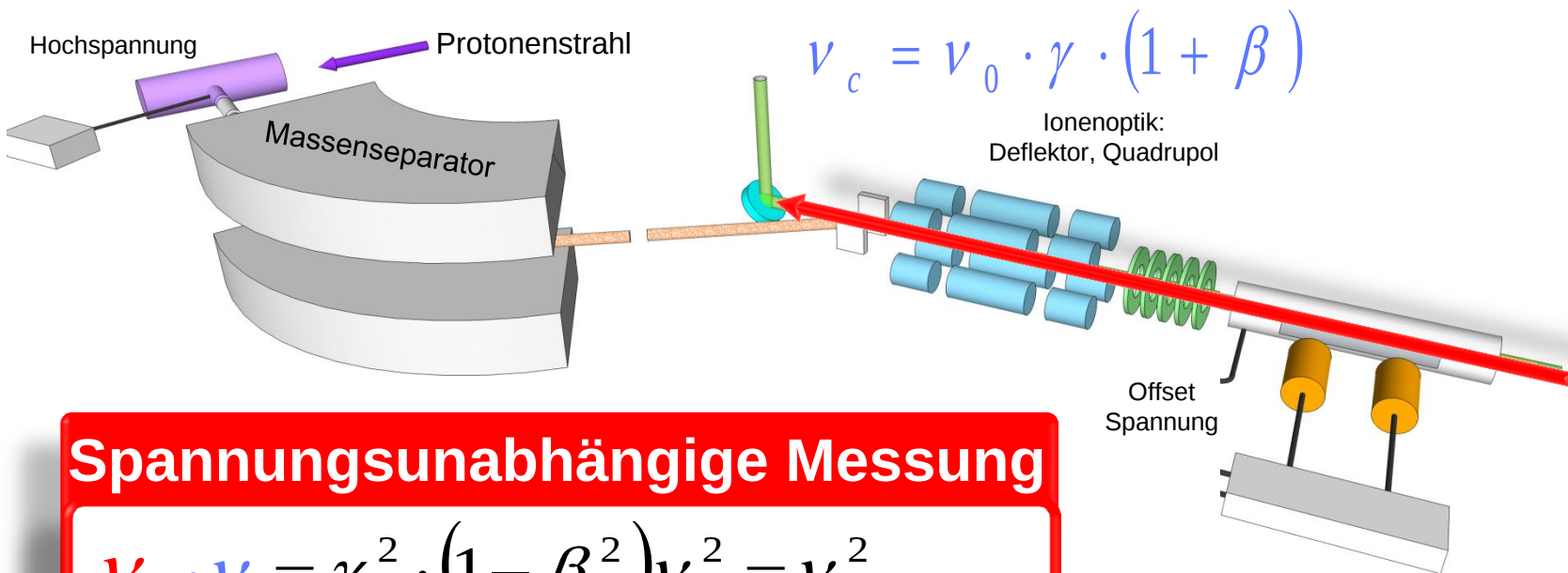
➔ 11 MHz künstliche Isotopieverschiebung zwischen ^{10}Be und ^{11}Be

➔ 10-faches der geforderten Genauigkeit



Photon-Ion-Koinzidenznachweis





Spannungsunabhängige Messung

$$\nu_a \cdot \nu_c = \gamma^2 \cdot (1 - \beta^2) \nu_0^2 = \nu_0^2$$

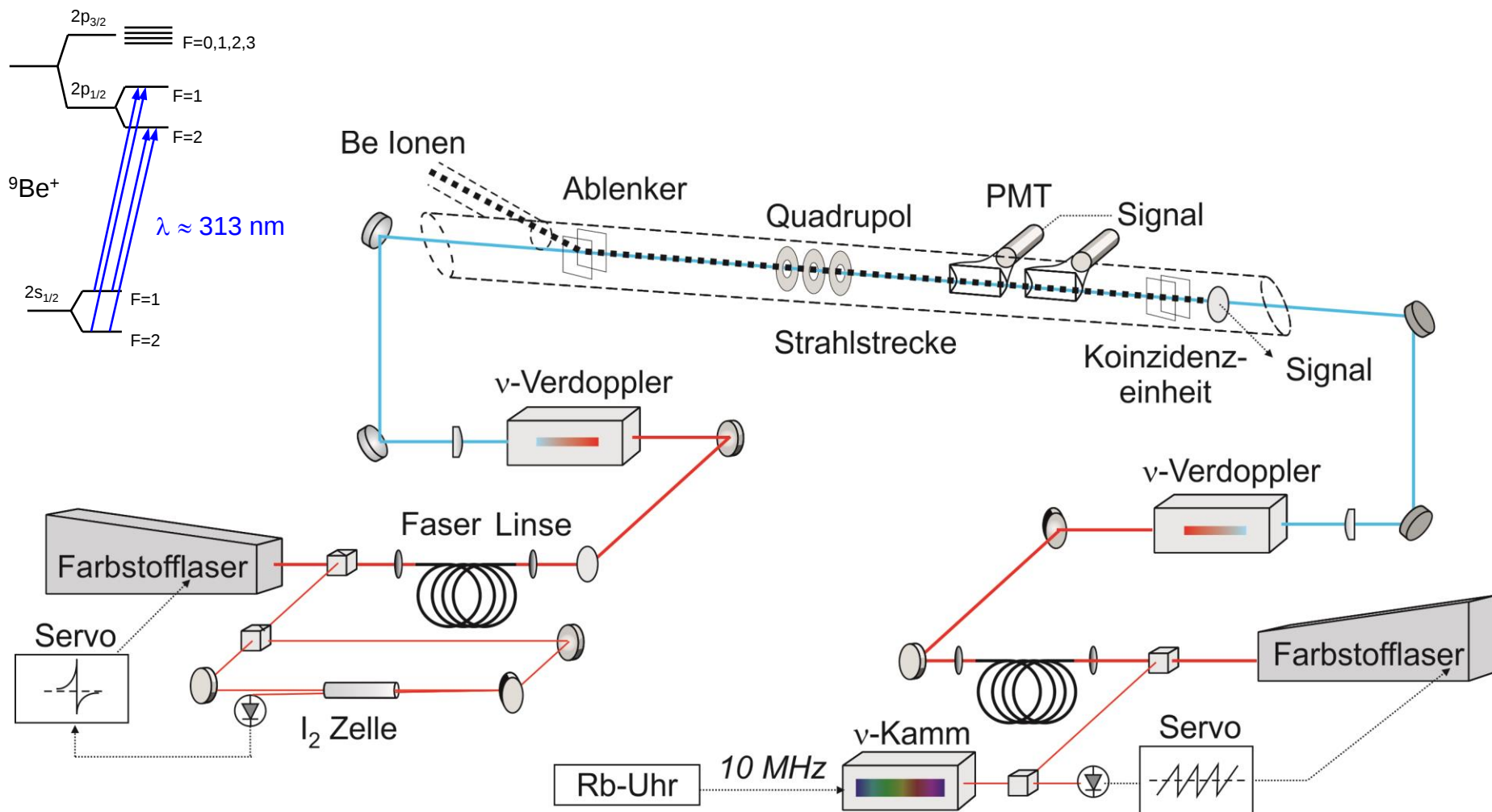


**Keine Abhängigkeit von der
Beschleunigungsspannung!**

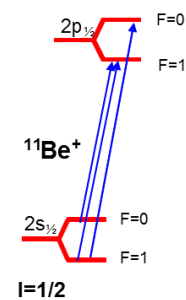
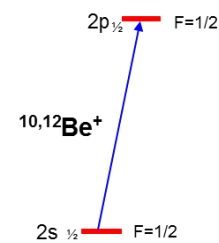
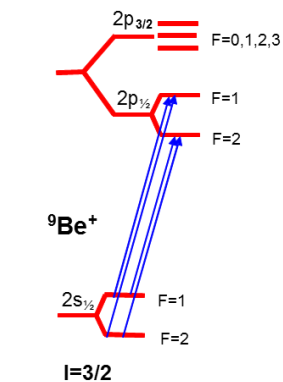
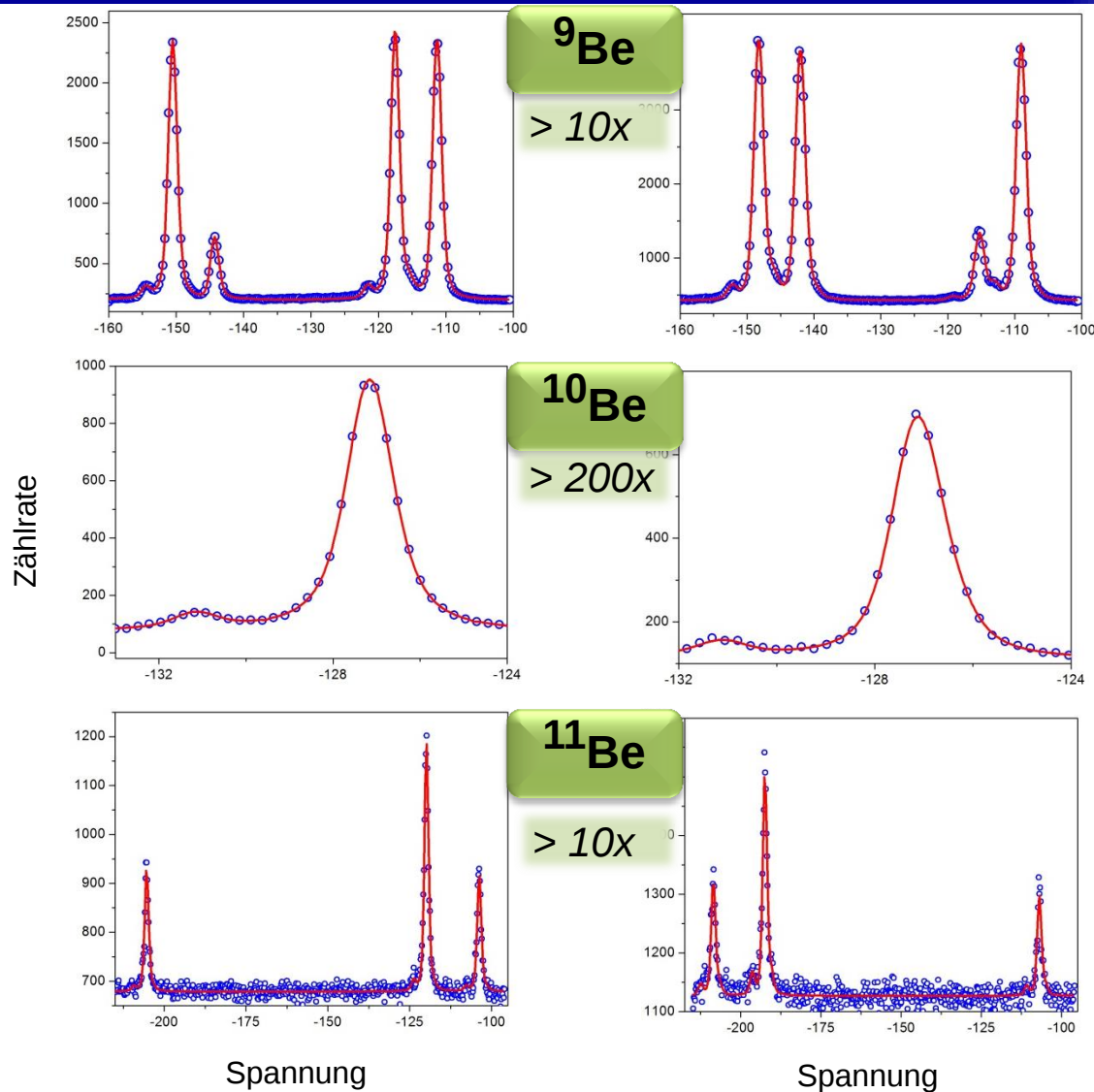
$$\nu_a = \nu_0 \cdot \gamma \cdot (1 - \beta)$$

**Anforderung: Absolutfrequenzmessung
mit relativer Genauigkeit $\Delta\nu/\nu < 10^{-9}$**

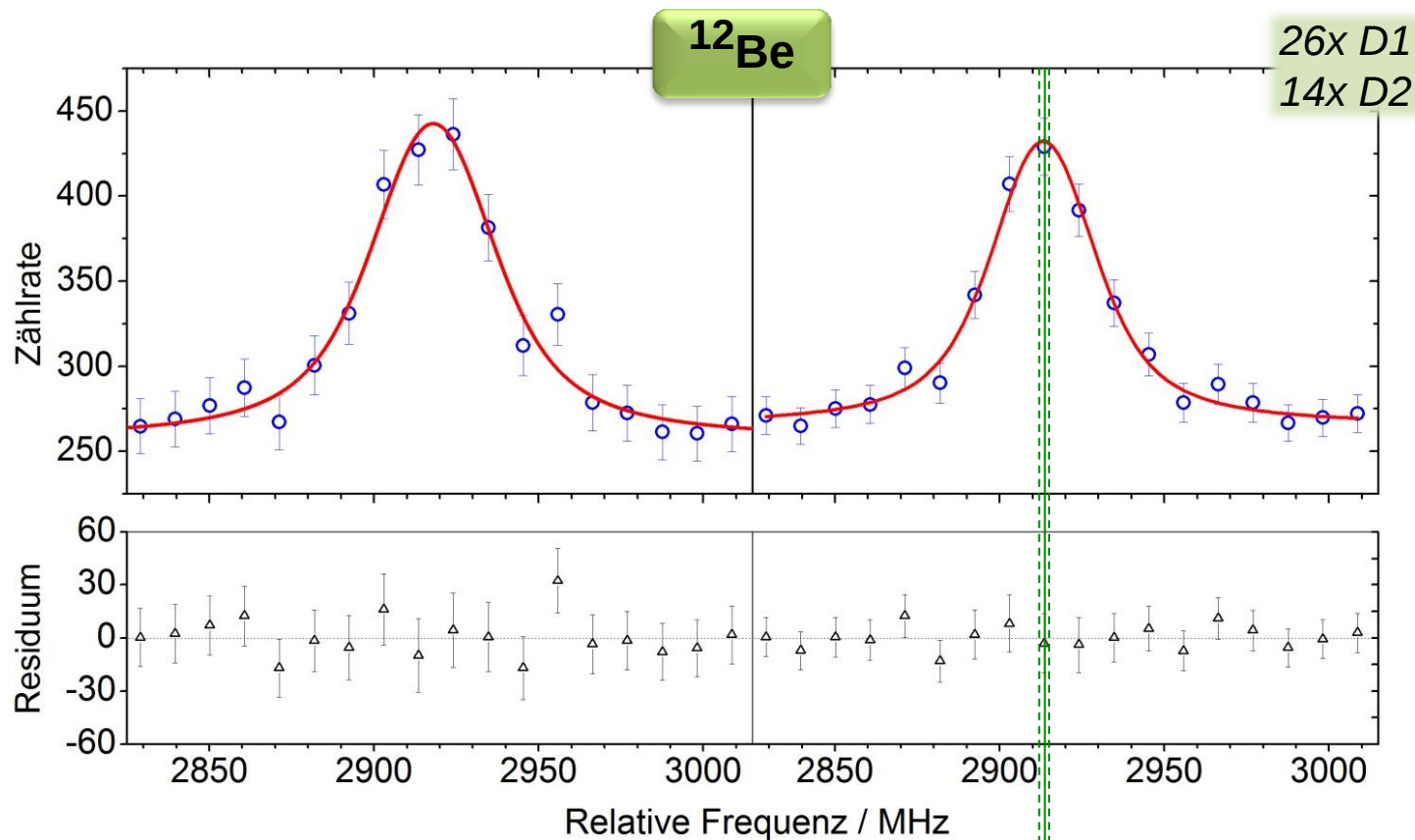
Experimenteller Aufbau



On-line Spektroskopie an $^9,^{10},^{11}\text{Be}$



On-line Spektroskopie an ^{12}Be



Produktionsrate: 8000 ^{12}Be -Ionen/s

Messdauer: 8 Stunden

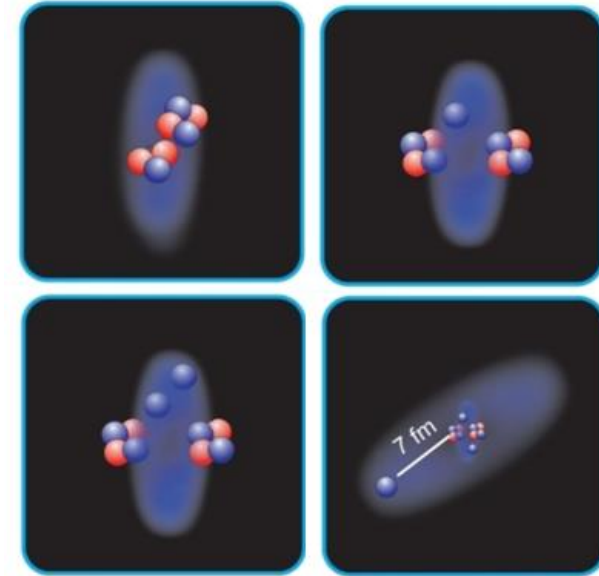
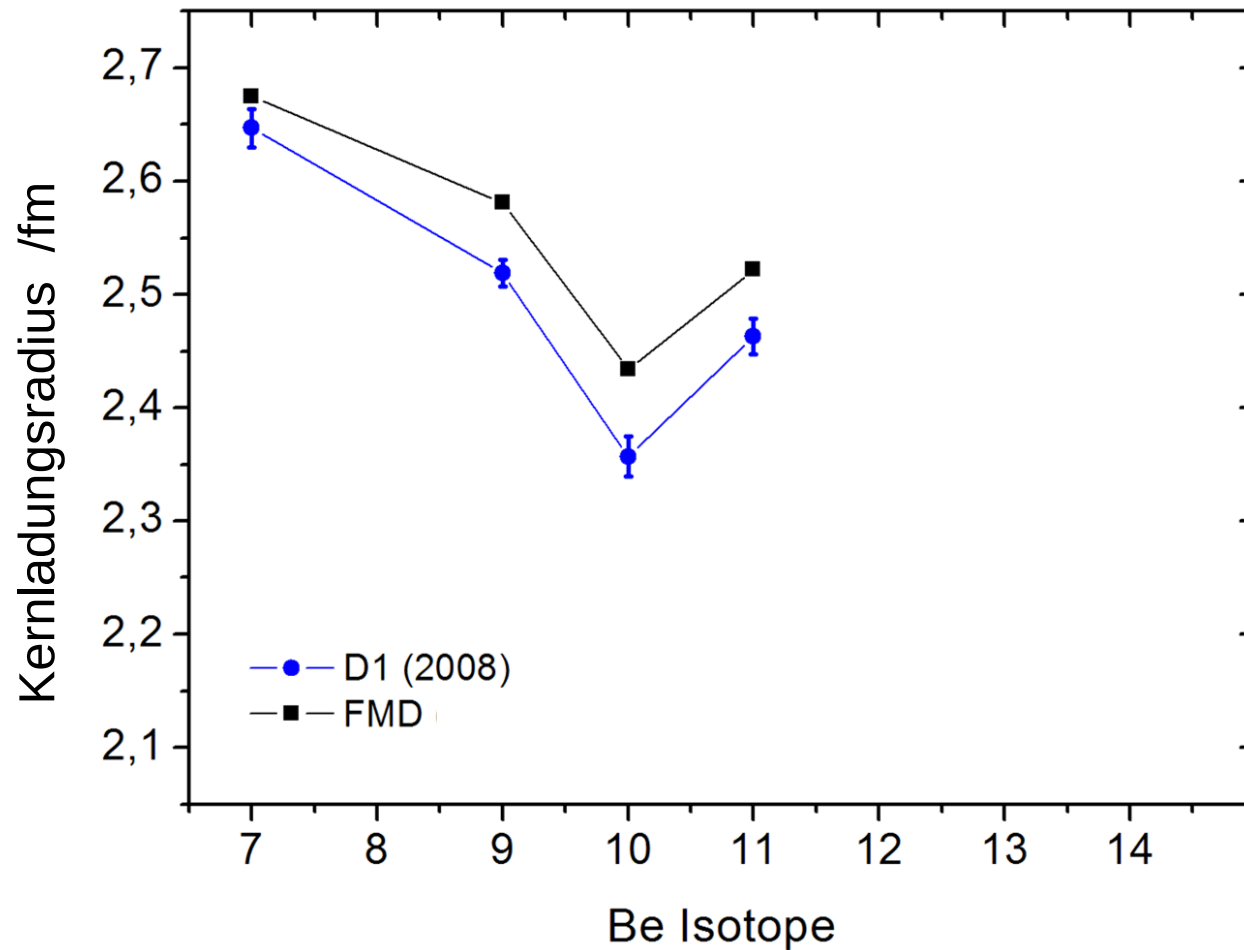


Übergangsfrequenzen ν_0

Unsicherheit < 1 MHz

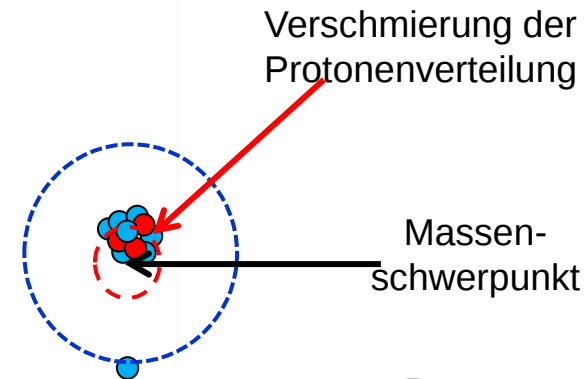
Kernladungsradien der Berylliumisotope

FMD: Fermionic Molecular Dynamics Model

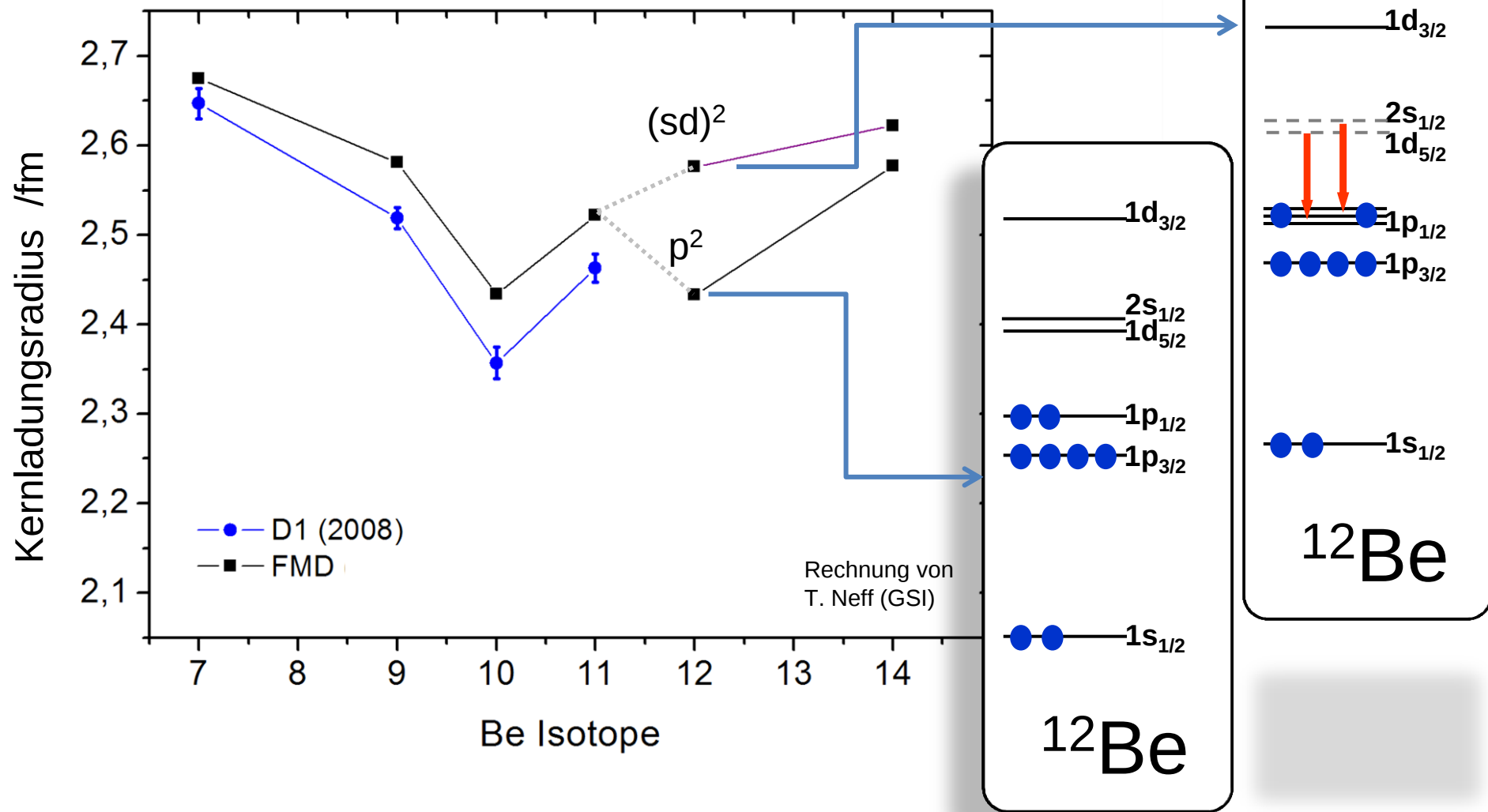


Schwerpunktsbewegung

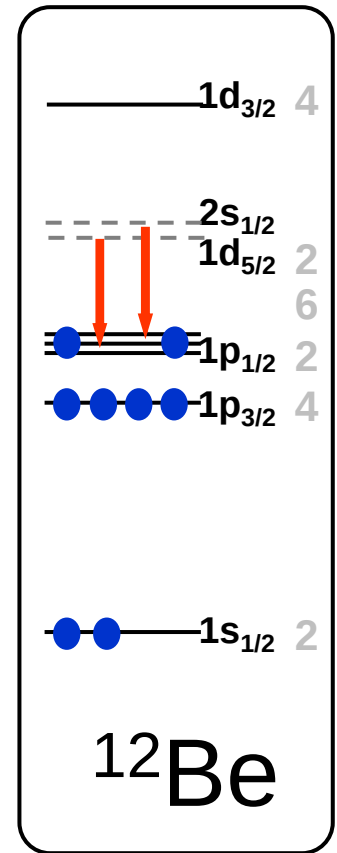
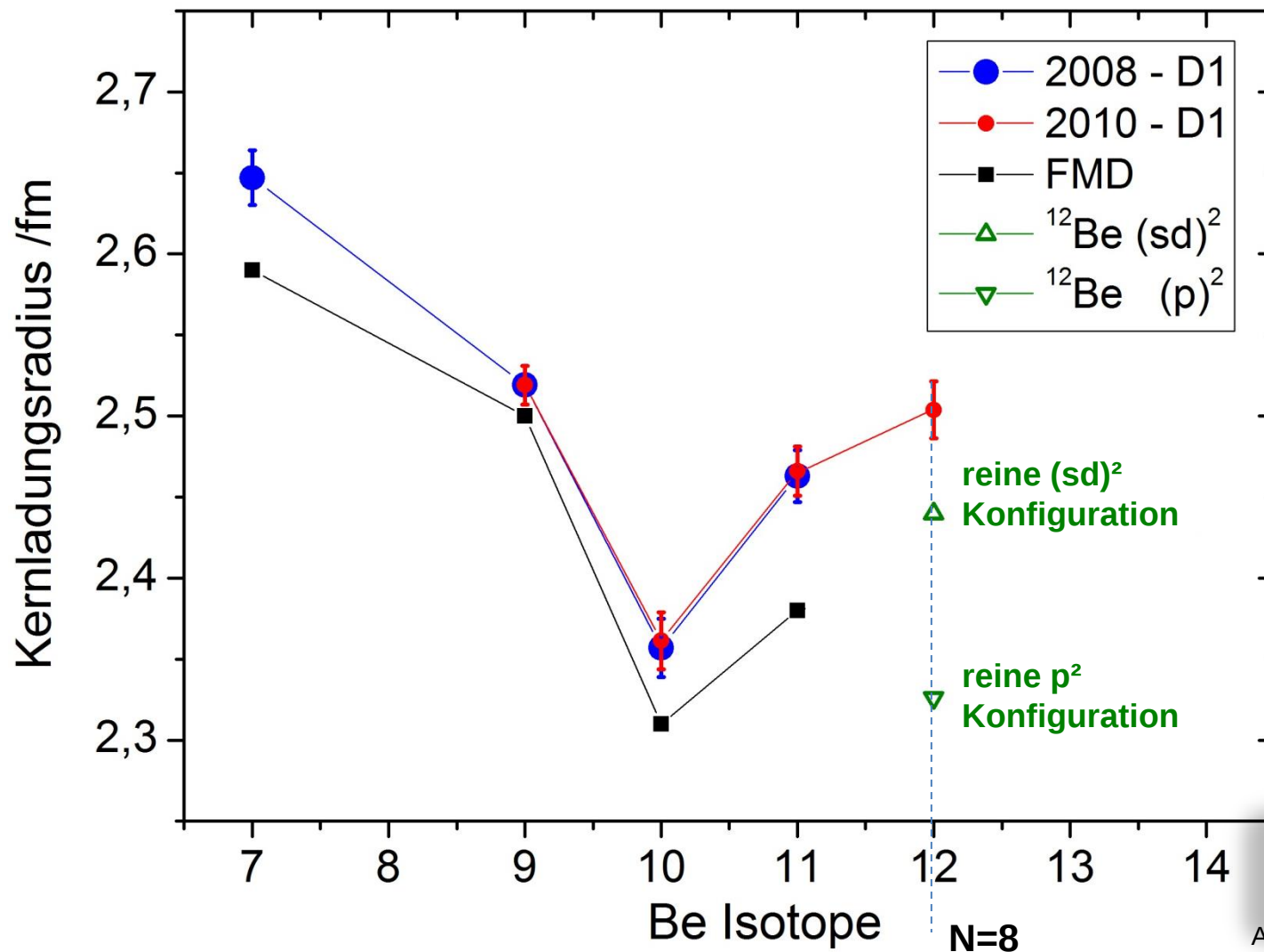
Klassisches Bild:



Kernladungsradien der Berylliumisotope

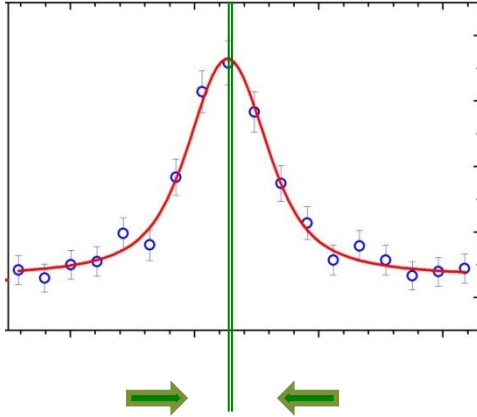


Kernladungsradien der Berylliumisotope



Starke Beimischung der $(sd)^2$ -Niveaus

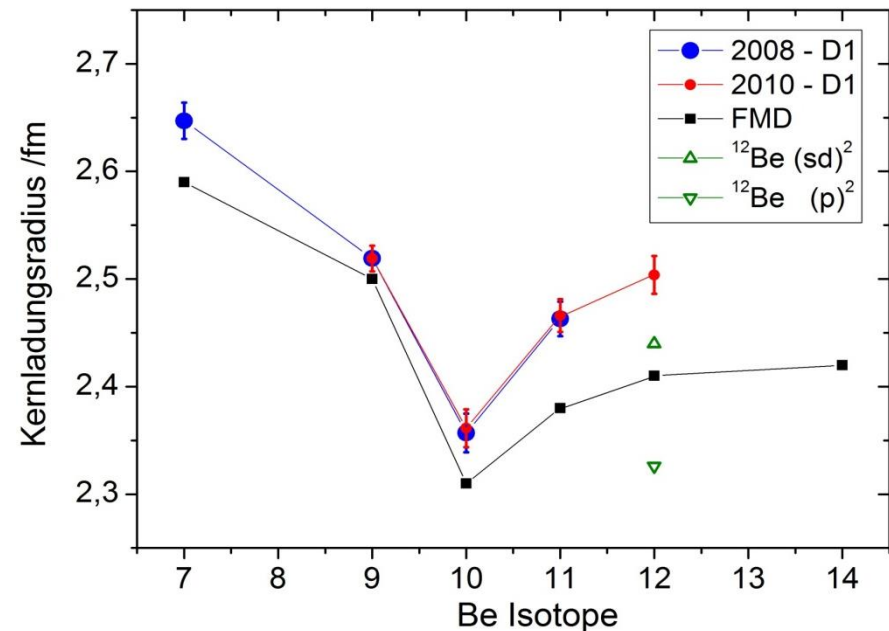
A. Krieger, PRL 108, 142501 (2012)



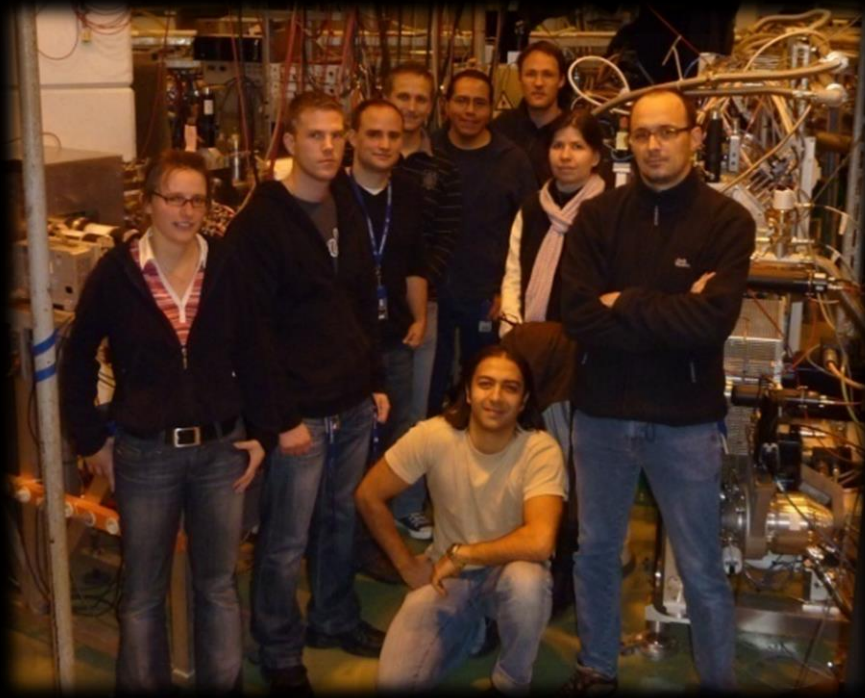
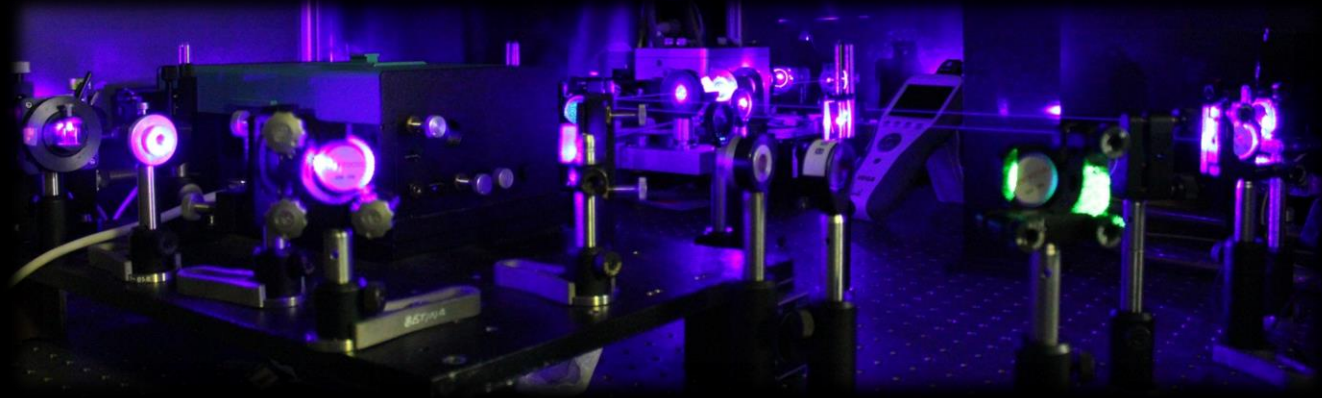
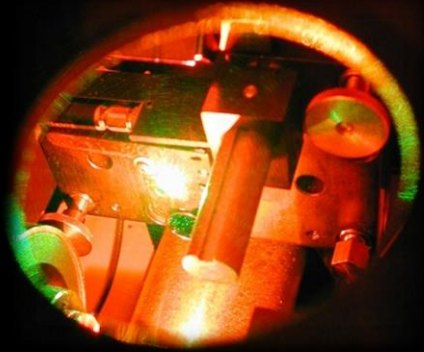
Online-Messung von Absolutfrequenzen der Berylliumisotope $^9,^{10},^{11},^{12}\text{Be}$ bei Ionenströmen von weniger als 10 000 Ionen/s mit Unsicherheiten kleiner 1 MHz.

Kernladungsradien stellen wichtige Prüfsteine für Kernmodelle dar.

Magischer Schalenabschluss bei $N=8$ existiert nicht in Berylliumisotopen.



Danke...



Carl Zeiss Stiftung



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung