



Institut für Kernphysik



Juniorprofessor Dr. Joachim Enders

Professor Dr. Peter von Neumann-Cosel

Professor Dr. Norbert Pietralla

Professor Dr. Dr. h.c. mult. Achim Richter



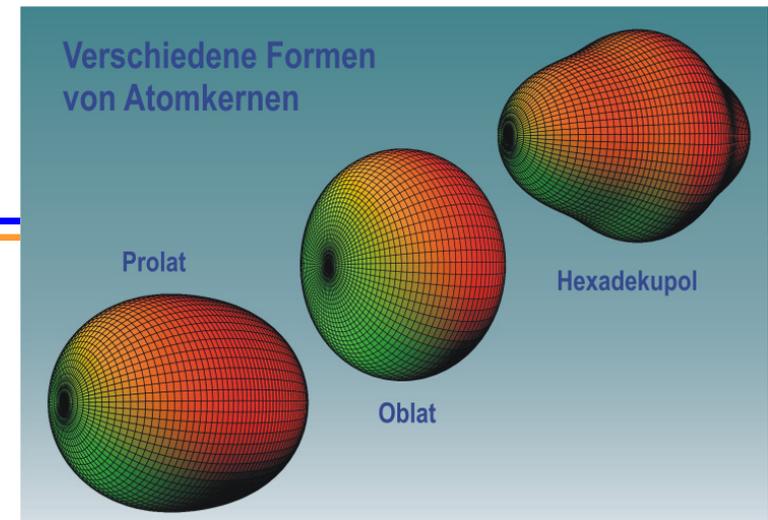
Institut für Kernphysik
S-DALINAC
Technische Universität Darmstadt



Forschungsschwerpunkt der TUD

Kern- und Strahlungsphysik

01.07.2004	Bewilligung
08.11.2007	Verlängerungsantrag eingereicht
Zusammensetzung	12 Hochschullehrer (ca 100 WiMi, Postdocs, Doktoranden) 3 Fachbereiche (4, 5, 18)
Thematik	Kern- und Beschleunigerphysik, Nukleare Astrophysik, Strahlungsdetektoren, Quantenchaos
Mittelpunkt	S-DALINAC – SFB 634
Ziele 2. Förderperiode	Stärkung des FSP, Theorie und Experiment, Erweiterung Zusammenarbeit mit GSI und auf europäischer Ebene
Meilensteine 2. FP	Integriertes GK, ForGroGer, Helmholtz-LOEWE-Zentrum Initial Training Network, NuSTAR, Helmholtz-Allianz





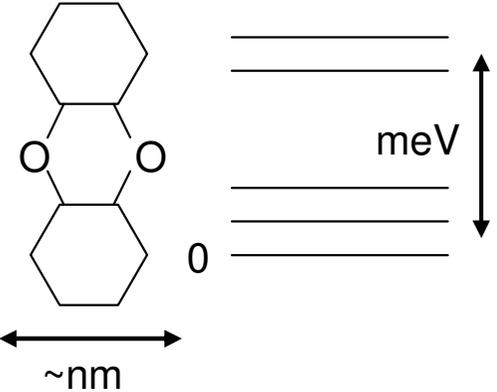
Hierarchie der Materie

- Kristalle/Moleküle:

Größe: ~ 1 nm

Energie: \sim meV

Mikroskop, Synchrotronstrahlung

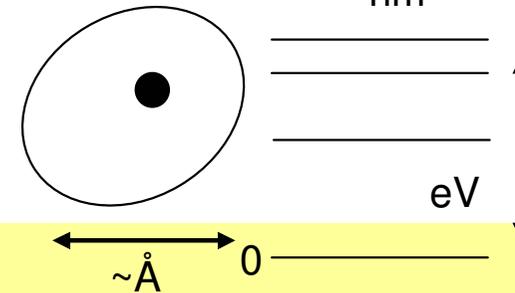


- Atome:

Größe: ~ 1 Å

Energie: \sim eV

Elektronenmikroskop, Van de Graaff-Generator

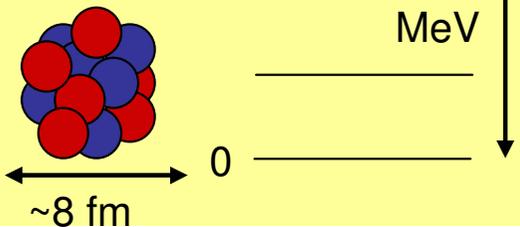


- Atomkerne:

Größe: ~ 5 - 10 fm

Energie: ~ 1 MeV

Linearbeschleuniger

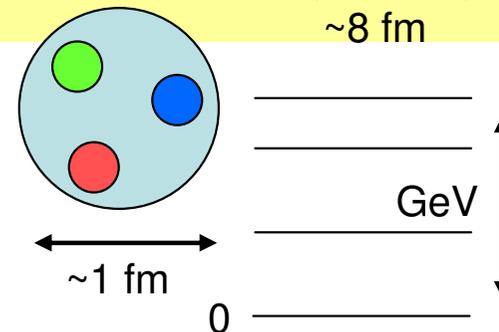


- Nukleonen:

Größe: ~ 1 fm

Energie: ~ 1 GeV

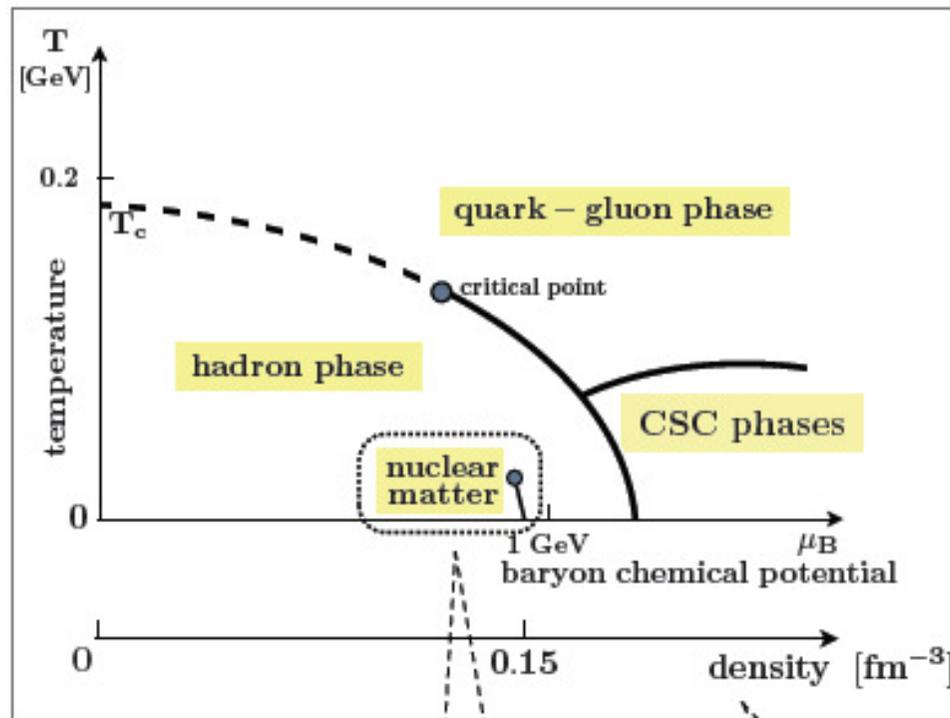
Synchrotrons, lineare Collider





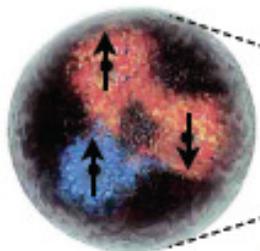
Kernphysik: Phasen und Strukturen der QCD

QCD PHASE DIAGRAM

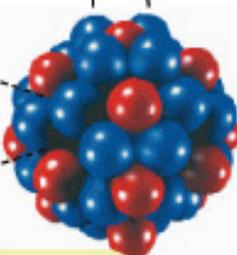


nucleon

1 fm



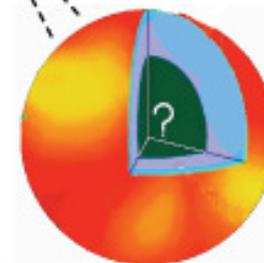
nucleus



10 fm

neutron
stars

20 km

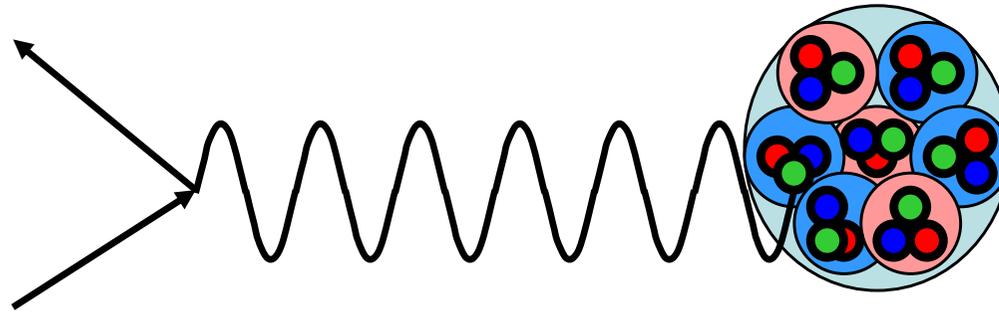




Beschleuniger als Mikroskope des Mikrokosmos

HERA

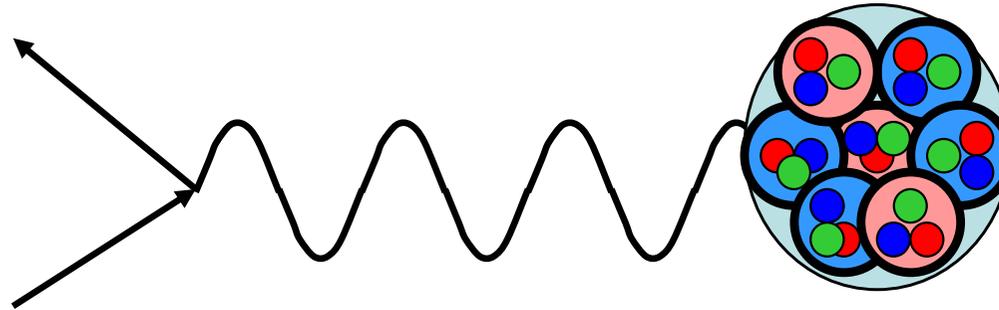
Hamburg



Quarks

MAMI

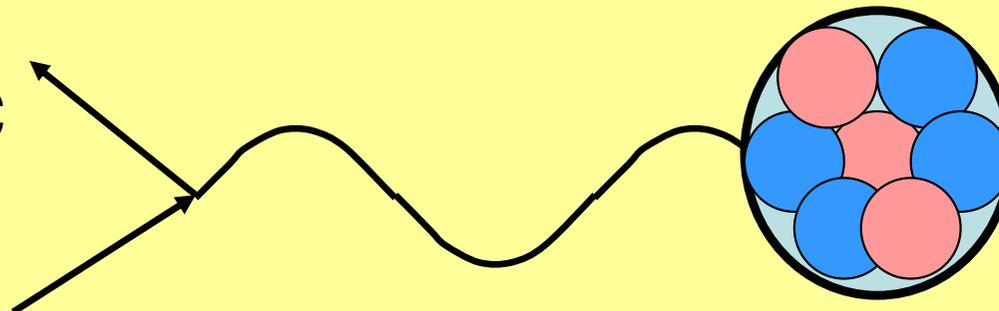
Mainz



Nukleon

S-DALINAC

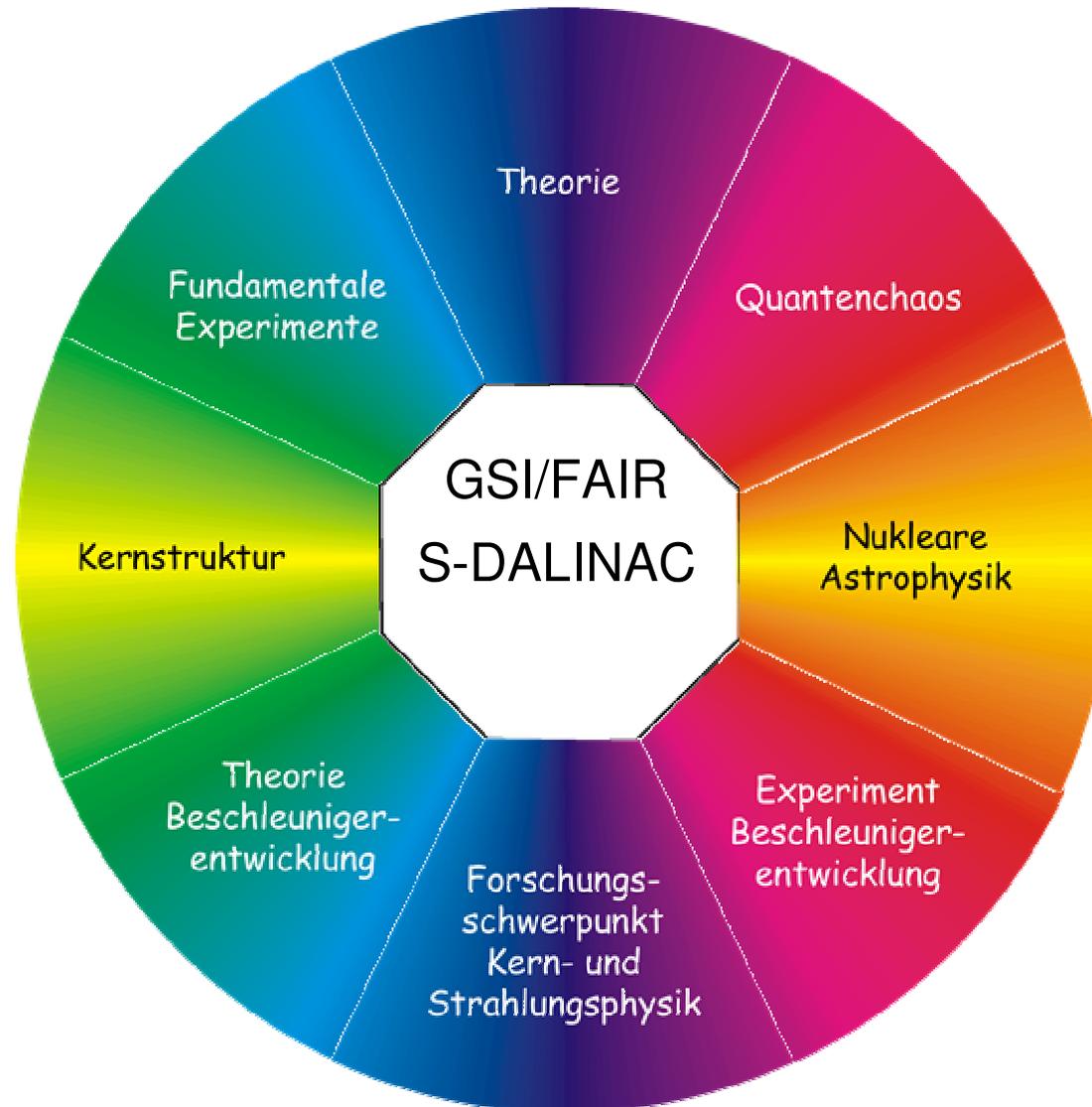
Darmstadt



Atomkern



Sonderforschungsbereich SFB 634





Der supraleitende Darmstädter Elektronenlinearbeschleuniger

S-DALINAC

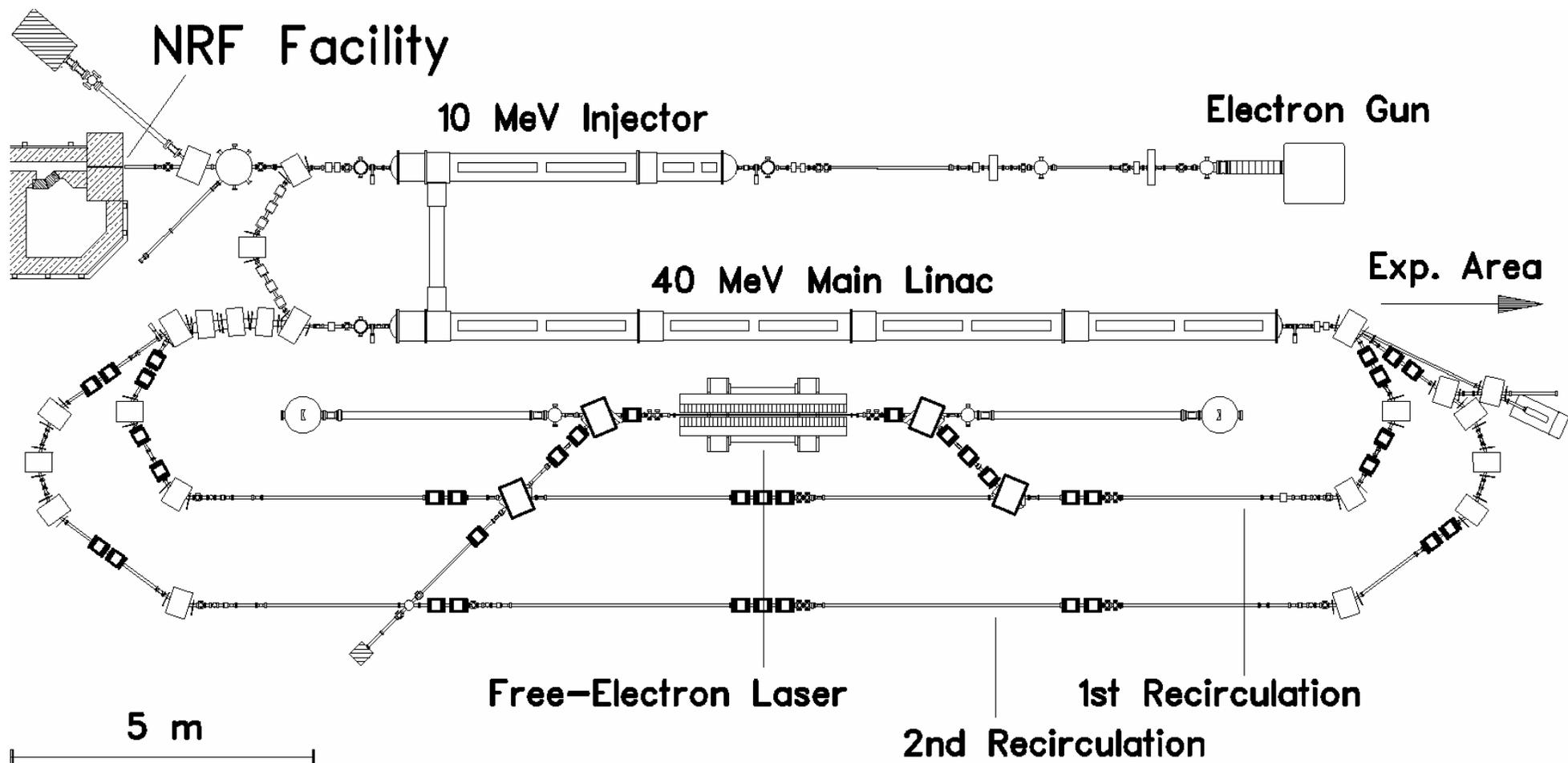


S-DALINAC



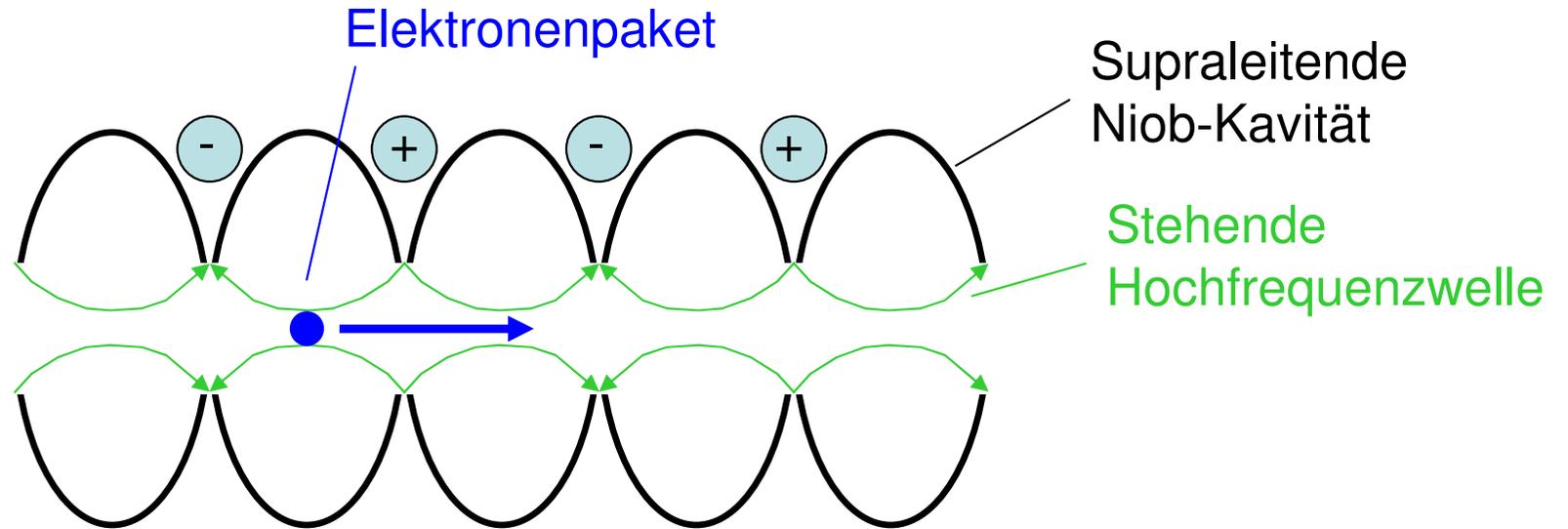


S-DALINAC

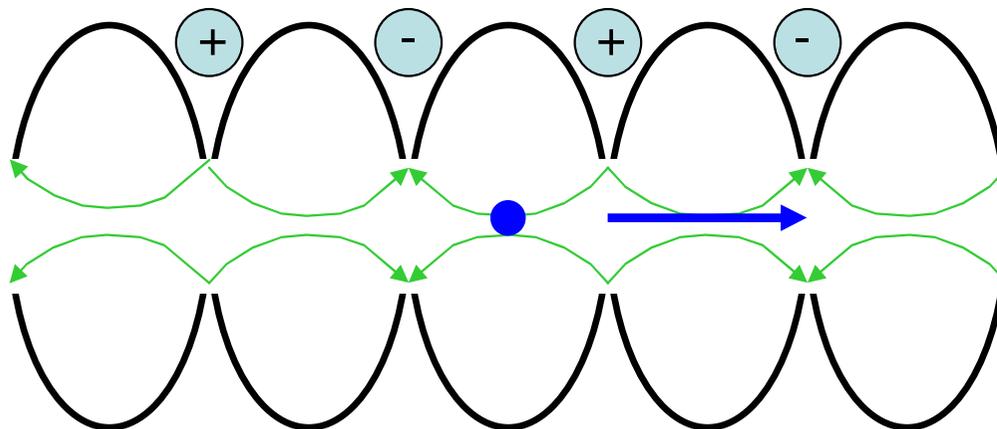




Elektronenbeschleunigung

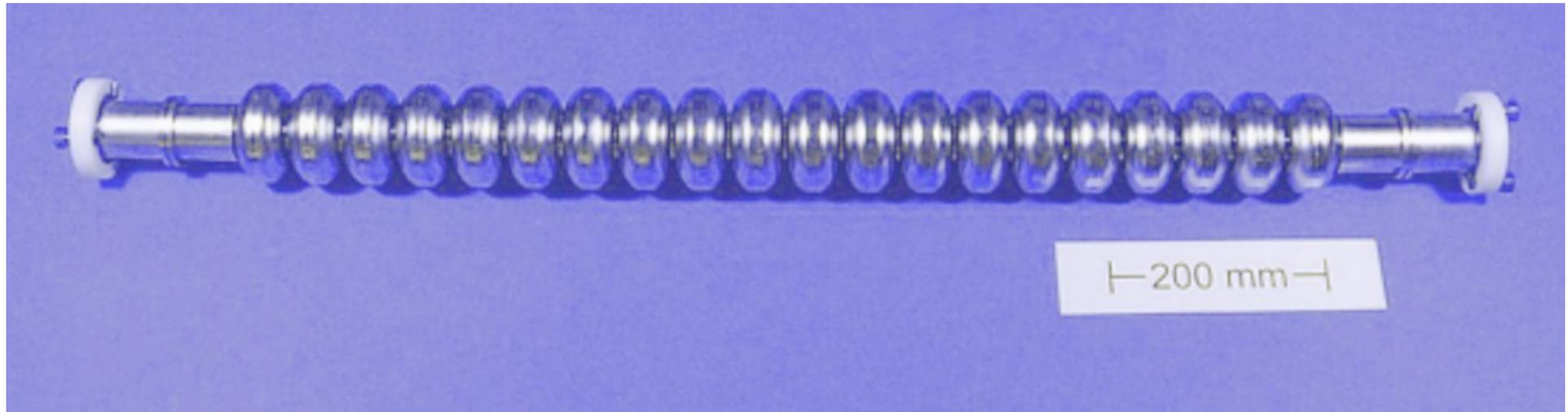


0.00000000016 s = $1.6 \cdot 10^{-10}$ s später...





Supraleitende Beschleunigungsstruktur

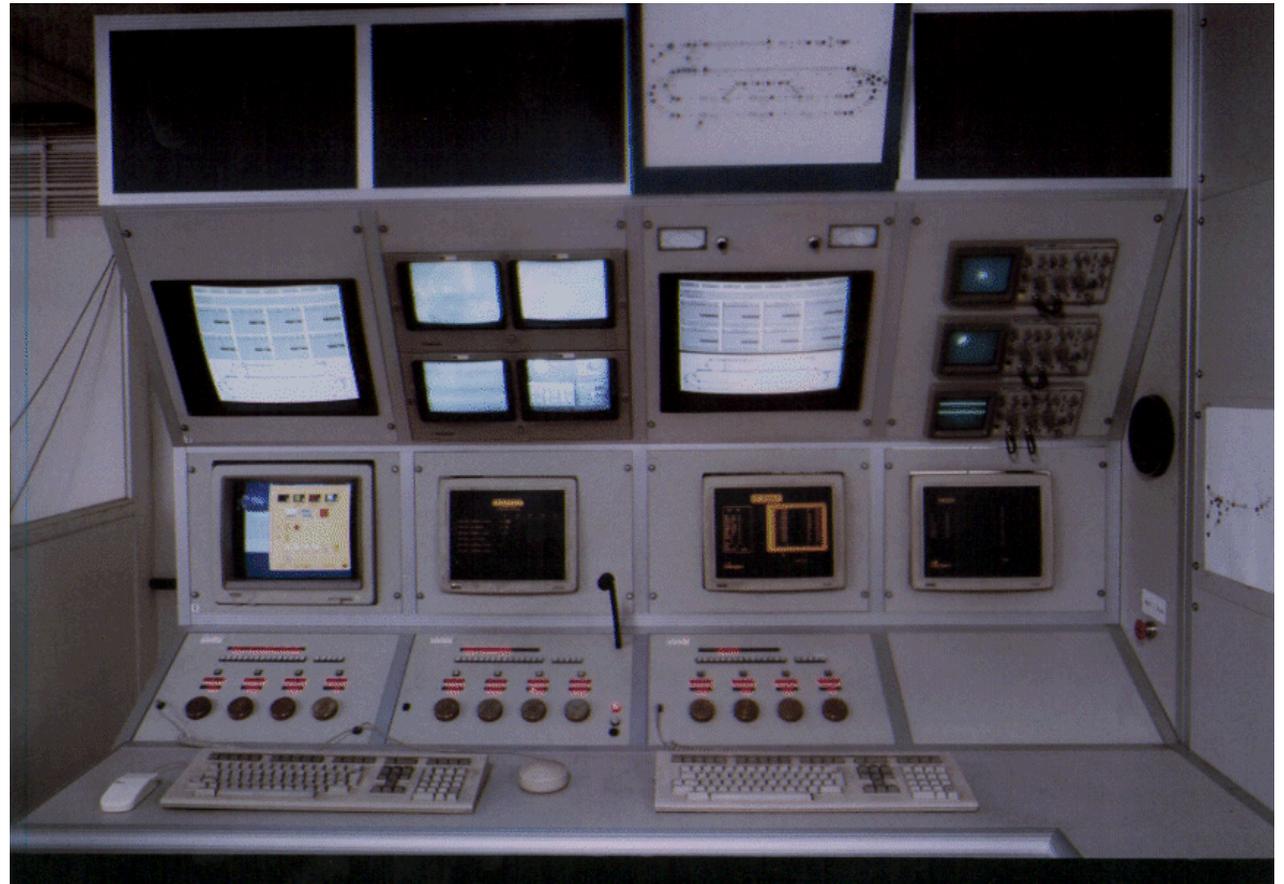


- Material: Niob
- Frequenz: 3 GHz
- Temperatur: 2 K
- 20 Zellen
- Beschleunigungsfeld: 5 MV/m
- Unbelastete Güte: $3 \cdot 10^9$
- Dissipierte Leistung: 4 W bei 2 K



Computersteuerung des S-DALINAC

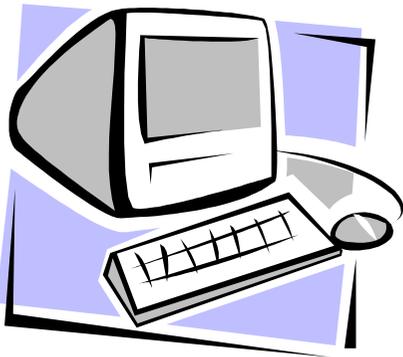
- Ca. 400 Geräte für
 - Strahlerzeugung
 - Beschleunigung
 - Strahlführung zu den Experimenten
 - Strahldiagnose
 - Heliumverflüssiger
 - Kameras
- Schneller Zugriff auf Geräte von außen
- Archivierung und Dokumentation





Informationstechnologie

- Hardware
 - PCs
 - Workstations
 - Server
(Windows, Linux, VMS)
 - VME-Steuerrechner
 - Mikrocontroller
- Betriebssysteme
 - Windows 2000/XP
 - Linux, HPUnix
 - Open VMS
 - Echtzeitbetriebssysteme
- Anwendungen
 - Datenbanken
 - Netzwerk- und Datenmanagement
 - Beschleunigersteuerung
 - Datenaufnahme Experiment
 - Datenauswertung Experiment
 - Präsentation
 - Internet-Dienste





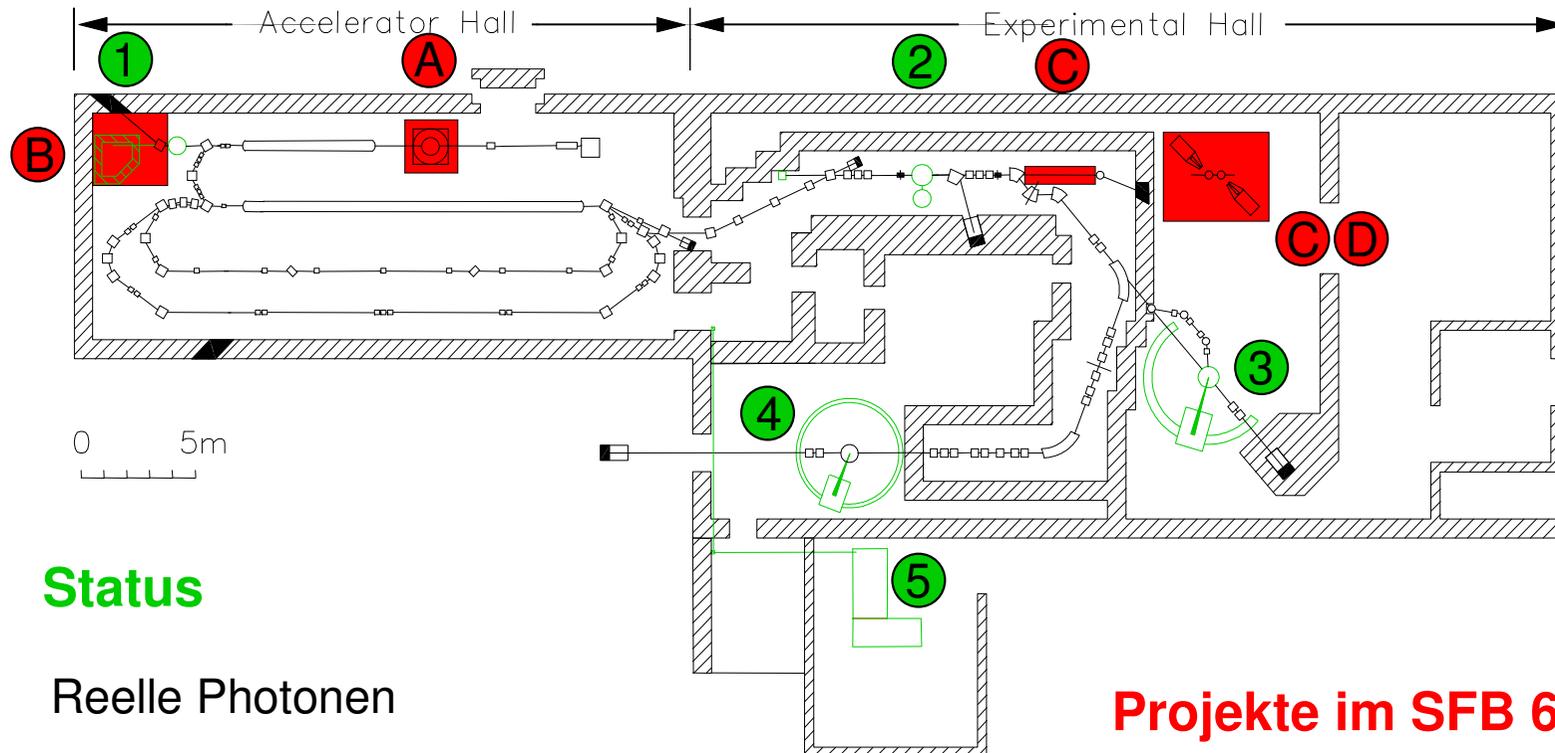
Diplom- und Doktorarbeiten in der Beschleunigerphysik

- S-DALINAC im Rahmen von Diplom- und Doktorarbeiten konzipiert, aufgebaut und optimiert

– W. Bayer	Beschleunigungsstrukturen	GSI
– T. Kürzeder	Beschleunigungsstrukturen	TUD
– A. Araz	Strahldiagnose	TUD
– F. Hug	Strahloptimierung	TUD
– S. Sievers	Beschleunigungsstrukturen	TUD
– U. Laier	Hochfrequenzsystem	GSI
– M. Gopych	Beschleunigungsstrukturen	Siemens
– S. Kostial	Elektronendynamik	Beratung
– B. Schweizer	Beschleunigerphysik	Philips
– H. Loos	Pulslängenmessung	Stanford
– S. Richter	Steuer- und Kontrollsystem	GSI
– S. Döbert	Strahlmonitorsystem	CERN



Experimente am S-DALINAC



Status

- ① Reelle Photonen
- ② Hochenergie-Strahlungsphysik
- ③ $(e, e'x)$ -Experimente & 180° -Spektrometer
- ④ (e, e') -Experimente
- ⑤ Laser-Aufbau für polarisierte Quelle

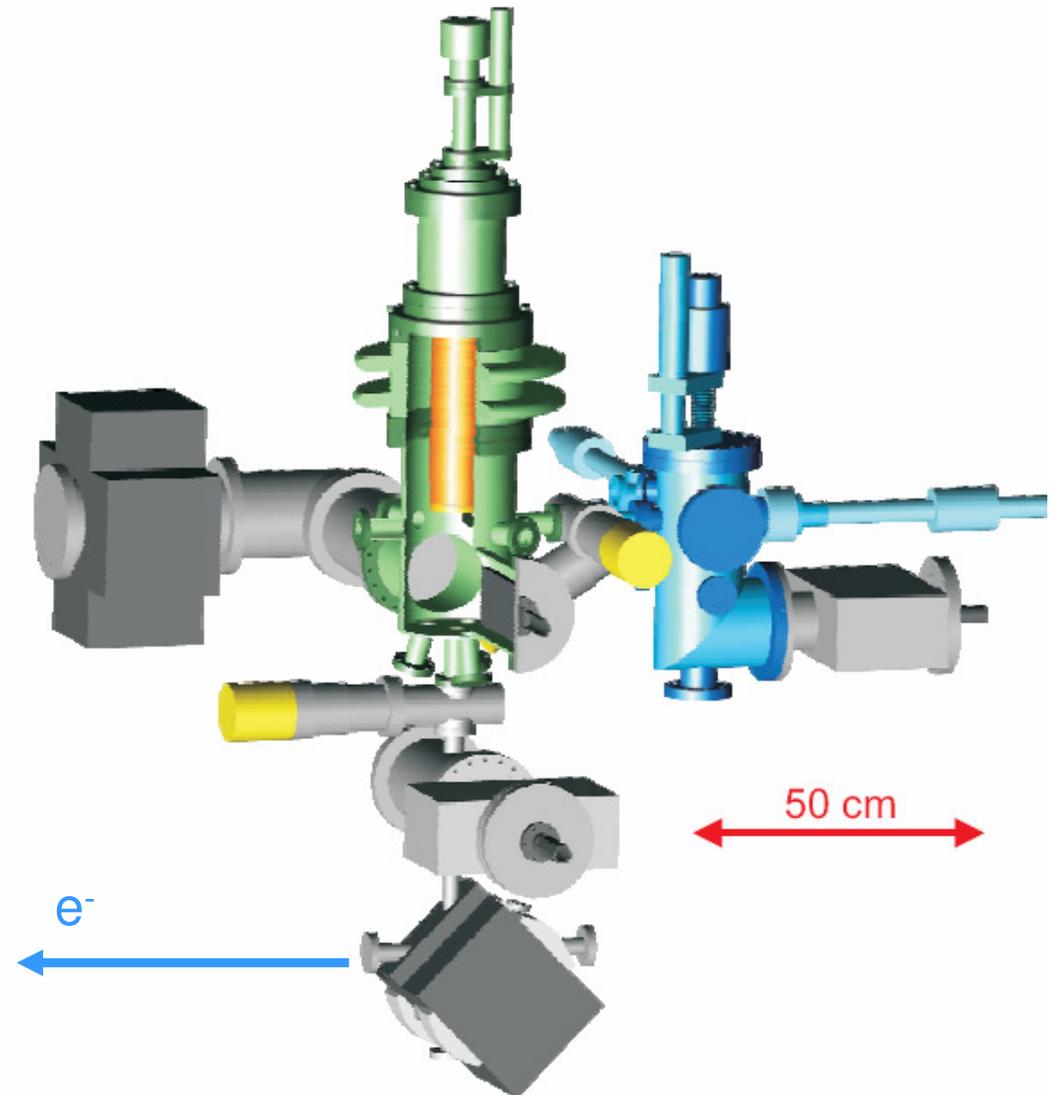
Projekte im SFB 634

- Ⓐ Polarisierte Quelle
- Ⓑ Compton-Tracking Polarimetrie
- Ⓒ Tagger für Photonen
- Ⓓ 100 MeV Bremsstrahlung



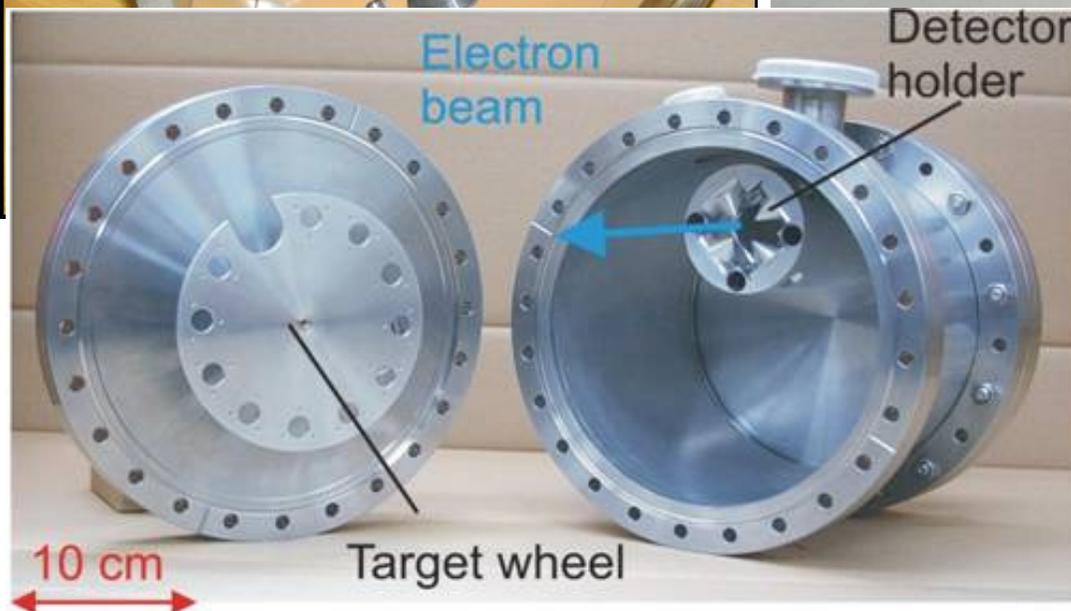
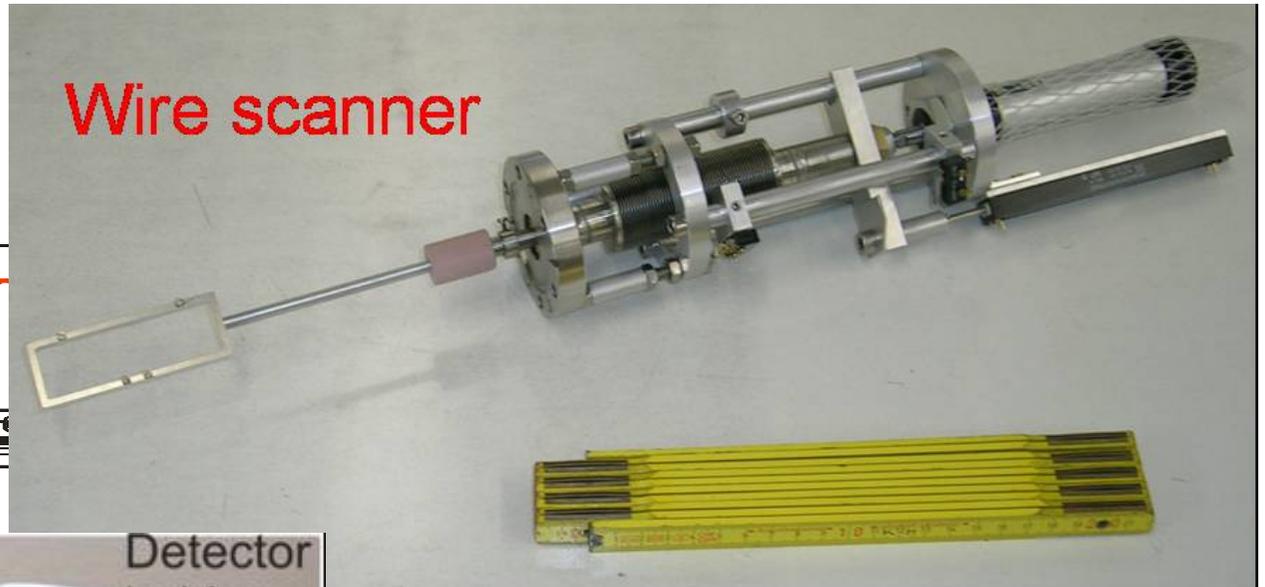
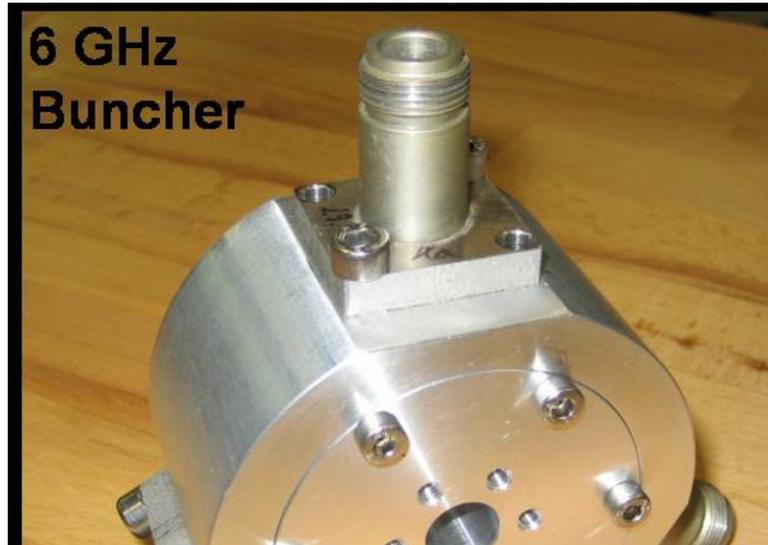
Quelle polarisierter Elektronen

- **Polarisierte Elektronen**
 - Untersuchung von Symmetrien in Kernen
 - Zusätzliche kernphysikalische Kenngrößen
- **Aufgaben**
 - Hoher Polarisationsgrad
 - Hohe Verfügbarkeit
 - Stabilität
- **Herausforderungen**
 - Kathodenpräparation
 - Laserphysik
 - Ultrahochvakuum





Quelle polarisierter Elektronen



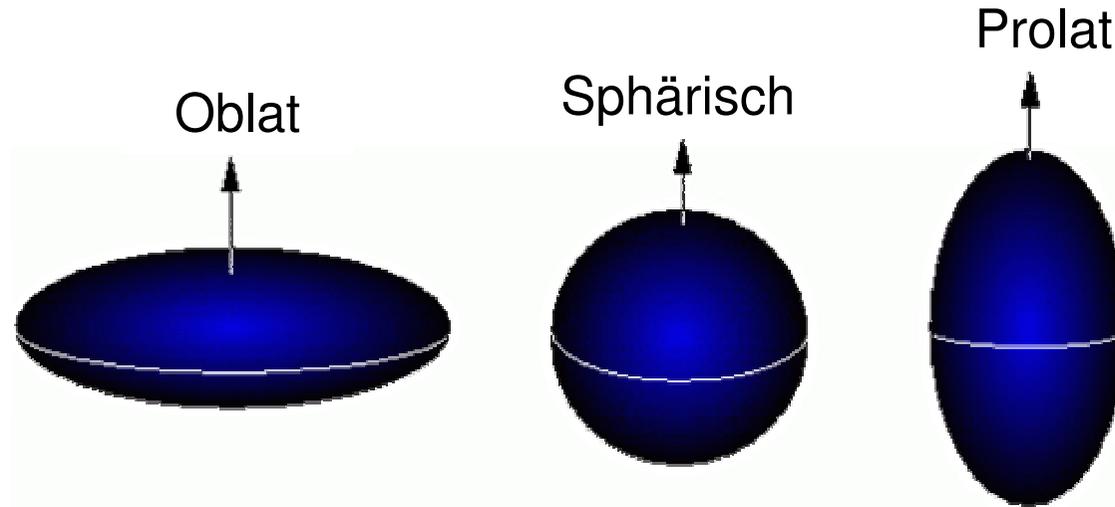


Kernstrukturphysik am S-DALINAC

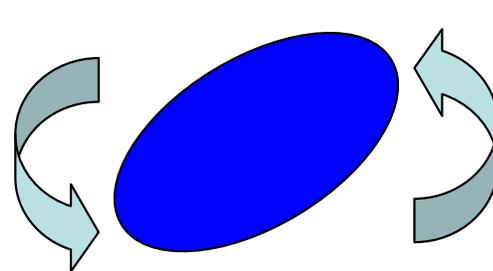


Struktur von Atomkernen

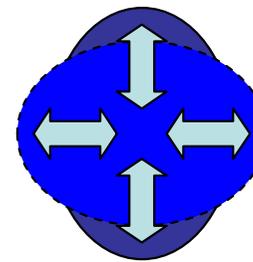
Form von
Atomkernen:



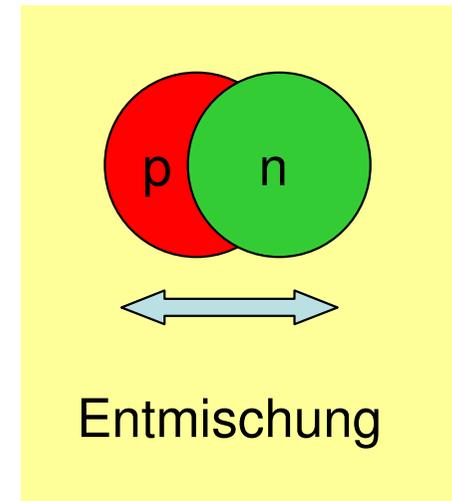
Anregung von
Atomkernen:



Rotation



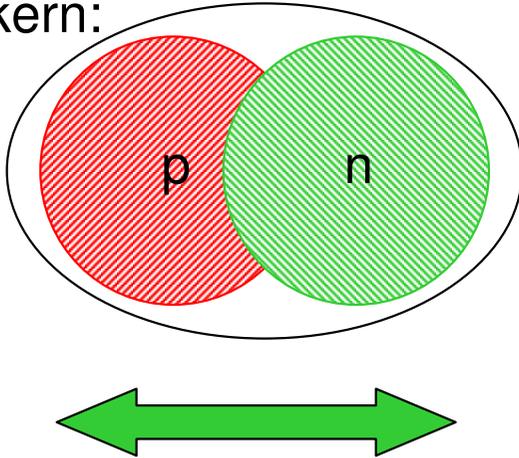
Vibration



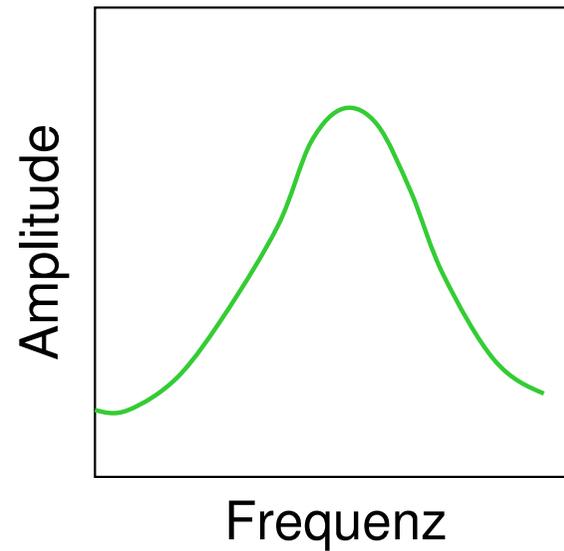
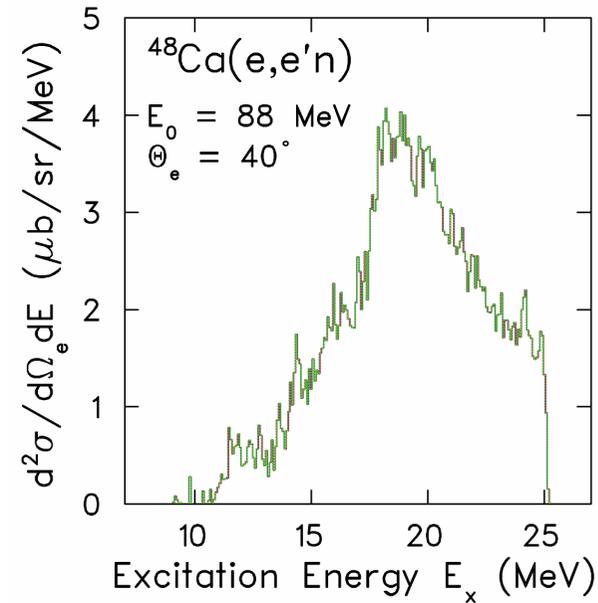
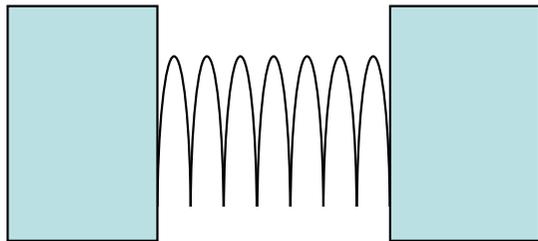


Beispiel: Dipol-Riesenresonanz

Atomkern:

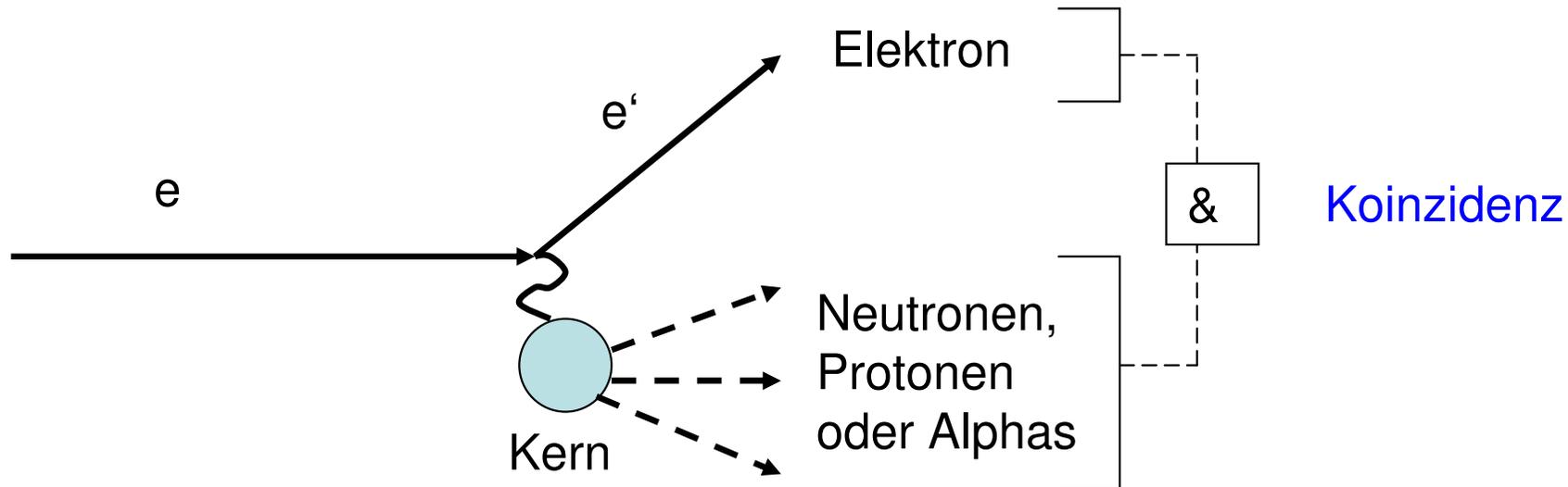


Feder zwischen Massen:





Wozu supraleitende Beschleuniger?

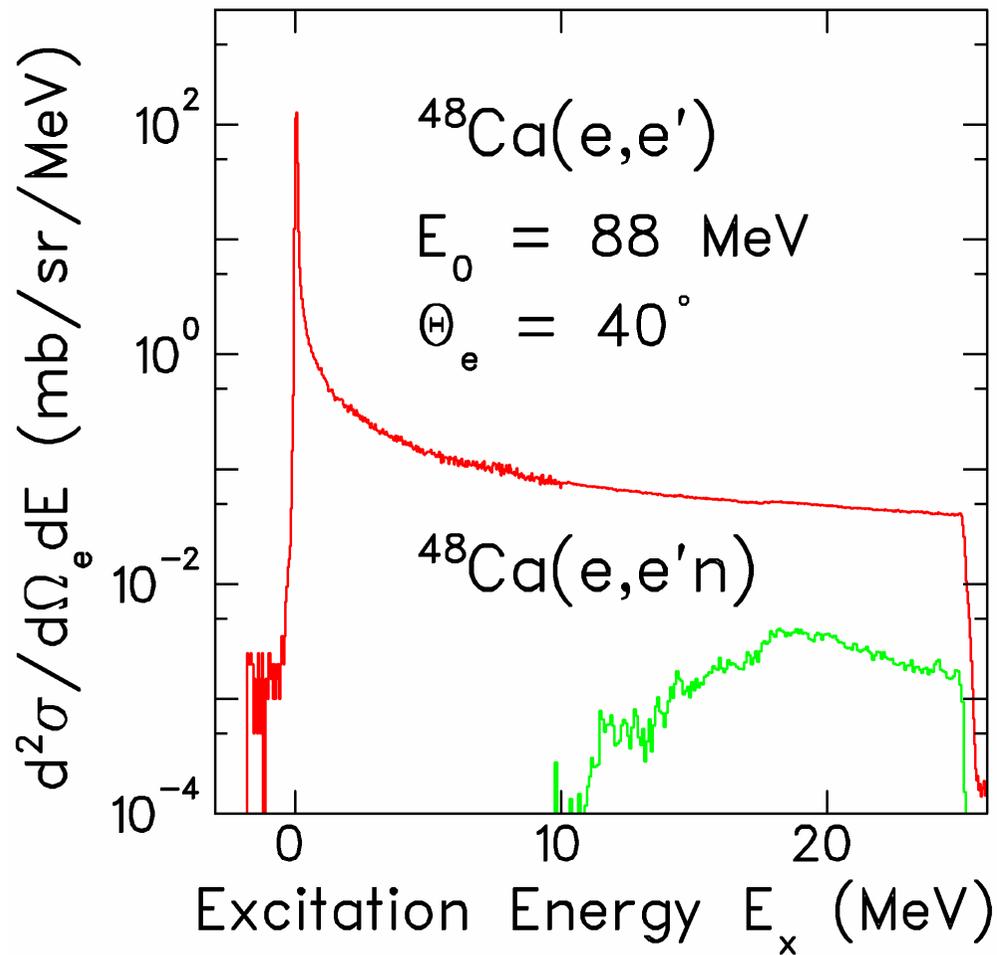


- Koinzidenzexperimente messen gestreute Teilchen und Reaktionsprodukte **gleichzeitig**:
 - Wenig Untergrund durch zufällige Koinzidenzen
 - Hohe Zählraten
- **Konventionelle Beschleuniger** haben einen gepulsten Strahl:
 - Viele zufällige Koinzidenzen oder sehr niedrige Zählraten

⇒ **Supraleitende Beschleuniger mit kontinuierlichem Strahl**



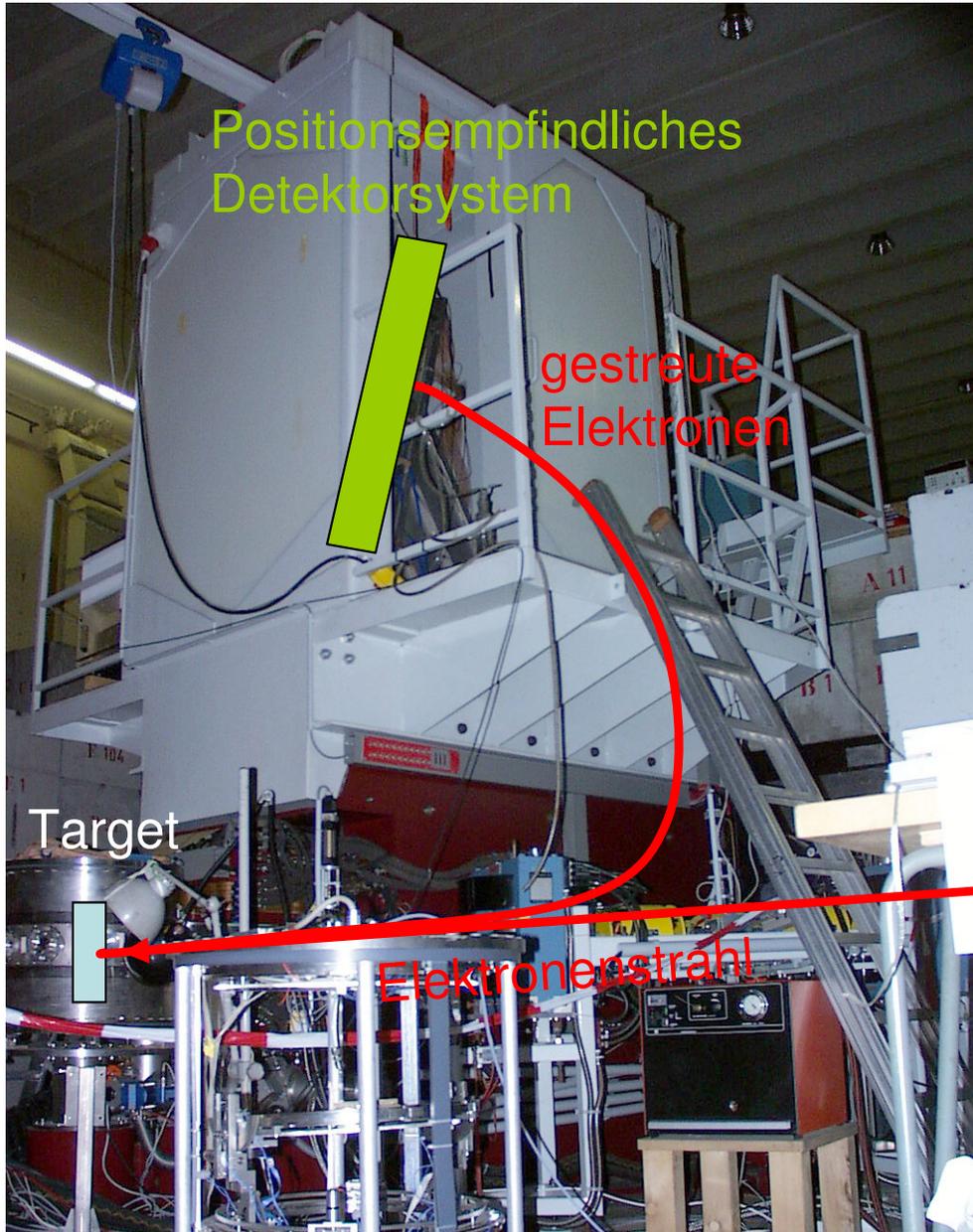
Koinzidenzexperimente



- Unterdrückung des Untergrunds
- Messung von Zerfallseigenschaften
- Zusätzliche kernphysikalische Kenngrößen
- Die Dipolriesenresonanz ist eine elektrische Dipolanregung



Elektronenspektrometer

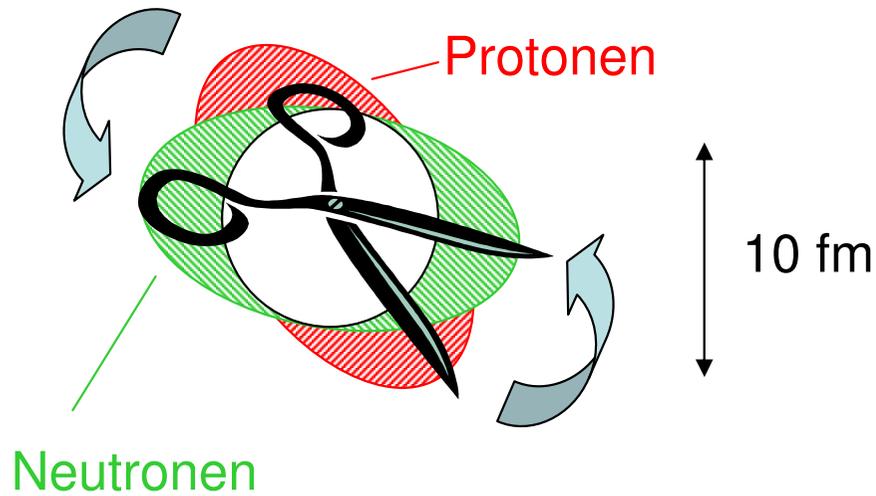


- „QClam“ – Elektronenspektrometer am S-DALINAC
- Ablenkung der gestreuten Elektronen in einem Magnetfeld:
 - Messe Impuls der Elektronen
 - Aus Impuls von einlaufenden und gestreuten Elektronen: Anregungsenergien
- Stellung des Spektrometers und Energie der Elektronen selektiert bestimmte Anregungen nach Drehimpuls und Parität



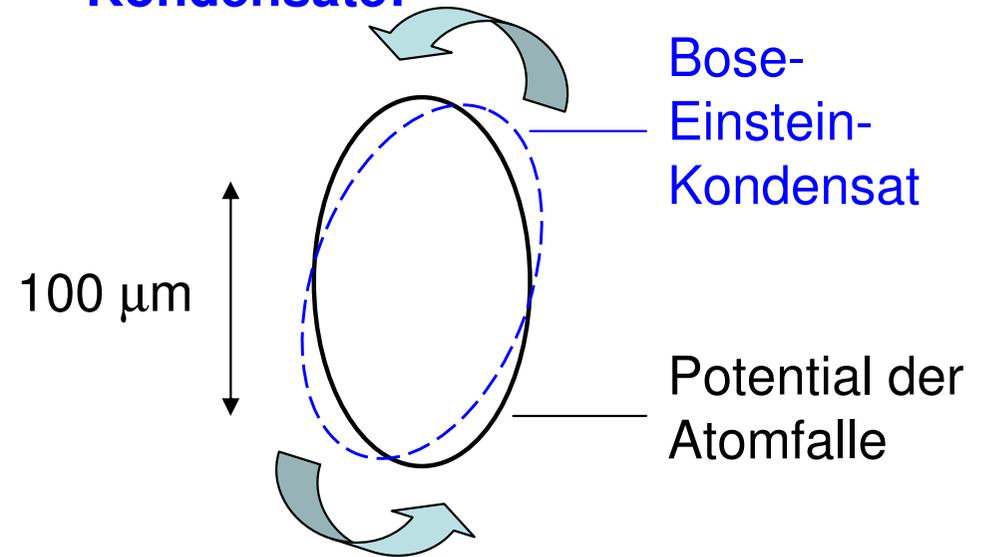
Scissors Mode (Scherenmode)

Deformierte Atomkerne:



- Magnetische Dipolanregung
- Rotation deformierter Protonen- und Neutronenellipsoiden
- Entdeckt am DALINAC 1983

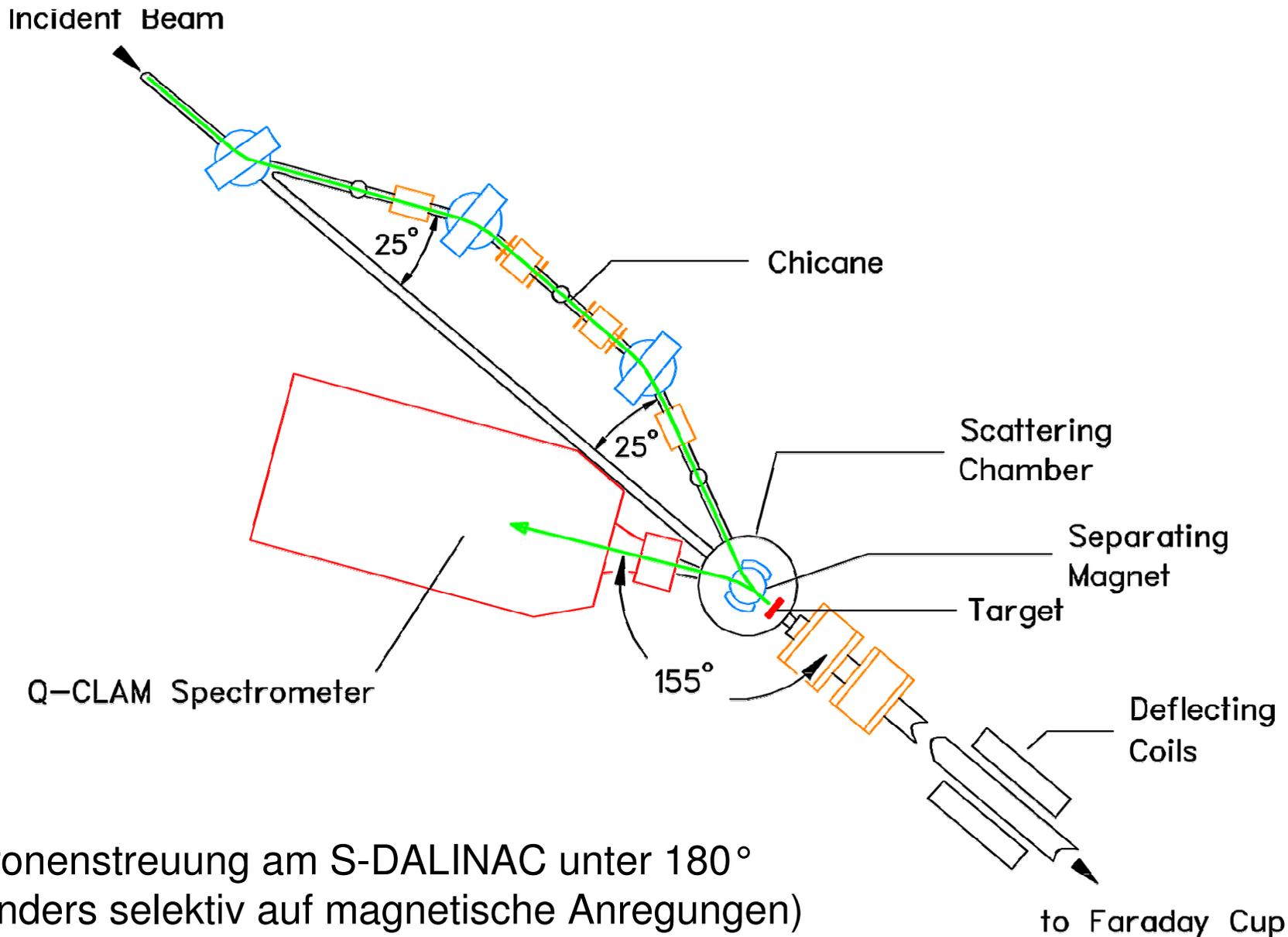
Rotierende Bose-Einstein-Kondensate:



- Supraflüssigkeit in Bose- und Fermi-Systemen
- Oxford 2000



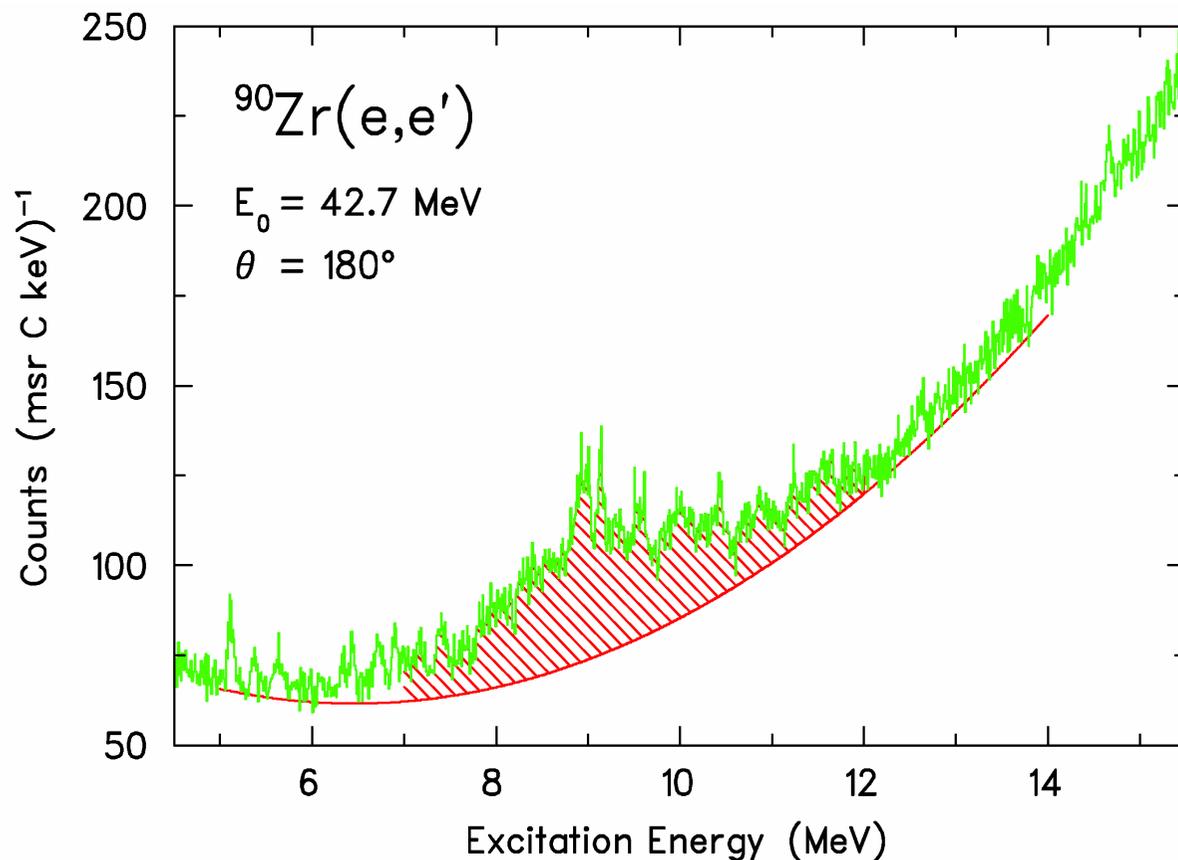
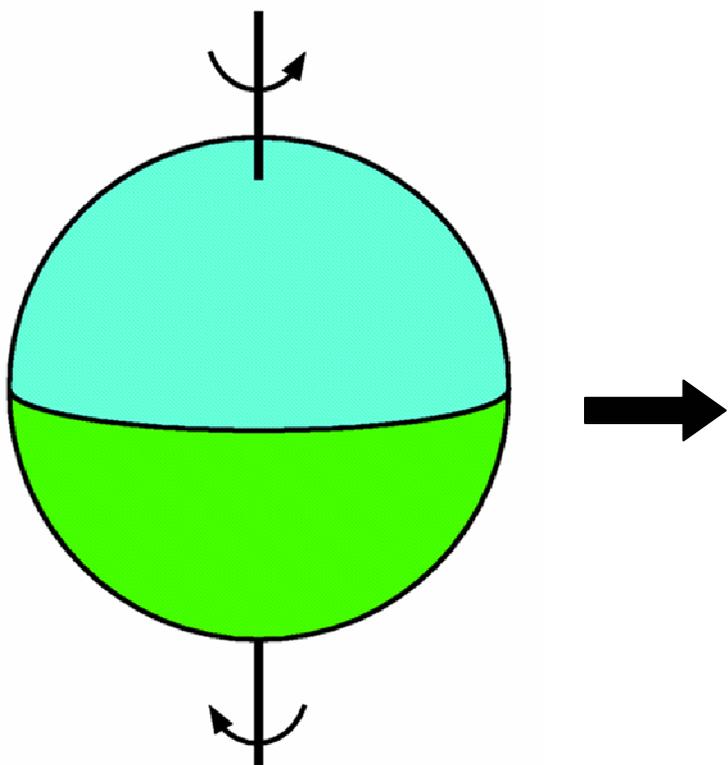
Elektronenstreuung unter 180°



- Elektronenstreuung am S-DALINAC unter 180°
(besonders selektiv auf magnetische Anregungen)



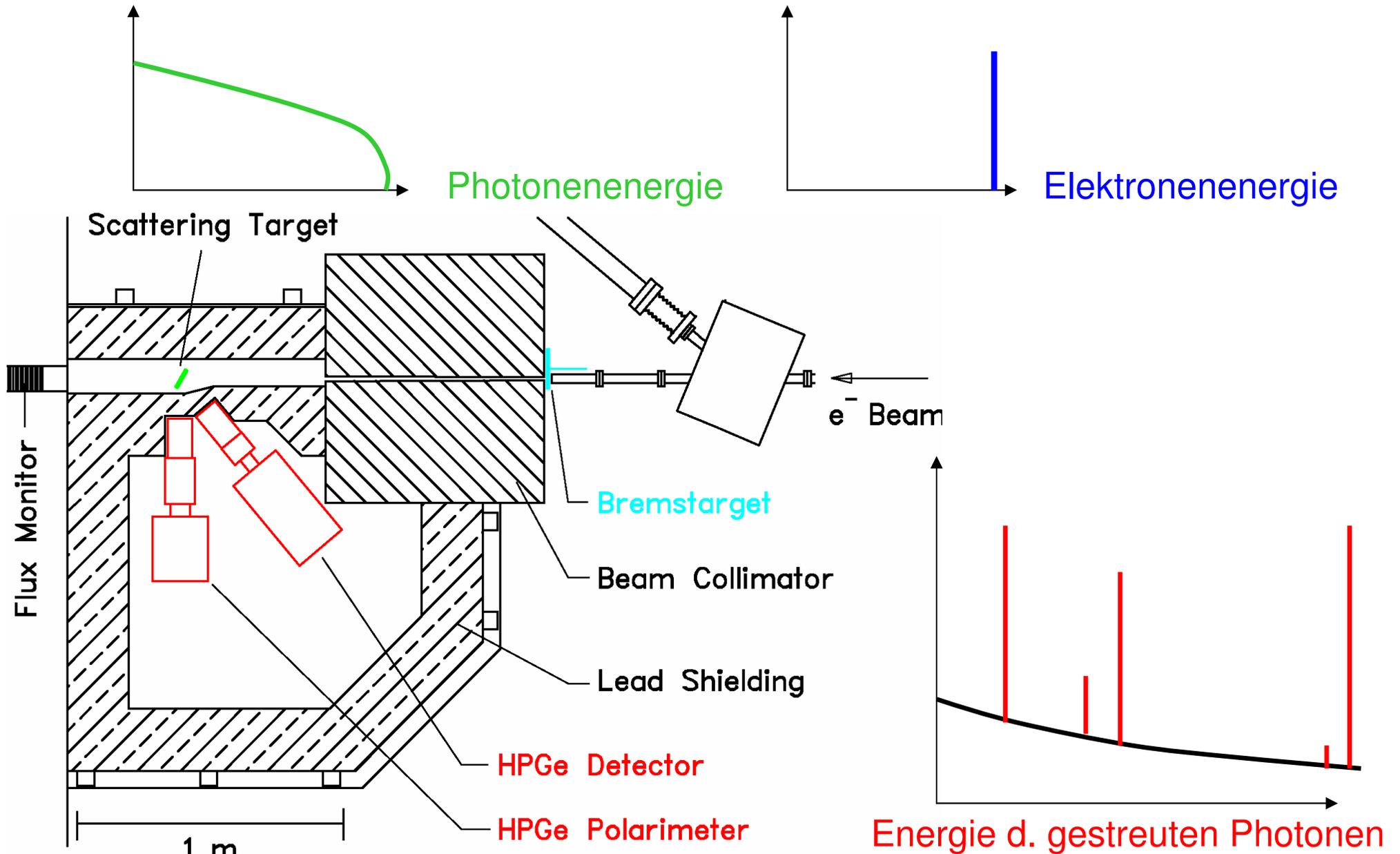
Twist Mode



- Verdrillungsschwingung: Atomkerne bestehen aus einem elastischen Medium
- Magnetische Quadrupolanregung
- Elektronenstreuung am S-DALINAC unter 180°
(besonders selektiv auf magnetische Anregungen)

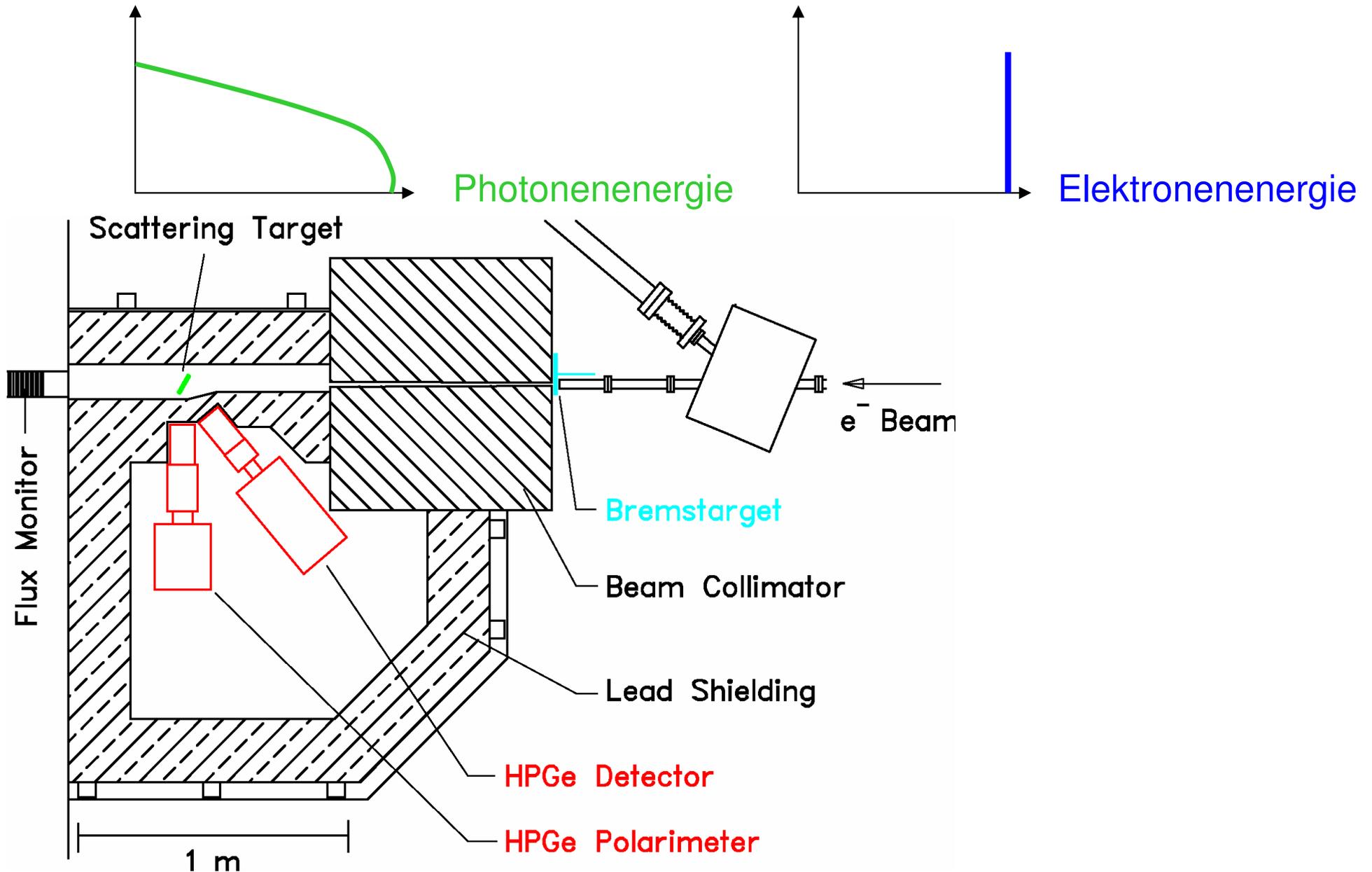


Photonenstreuung am S-DALINAC



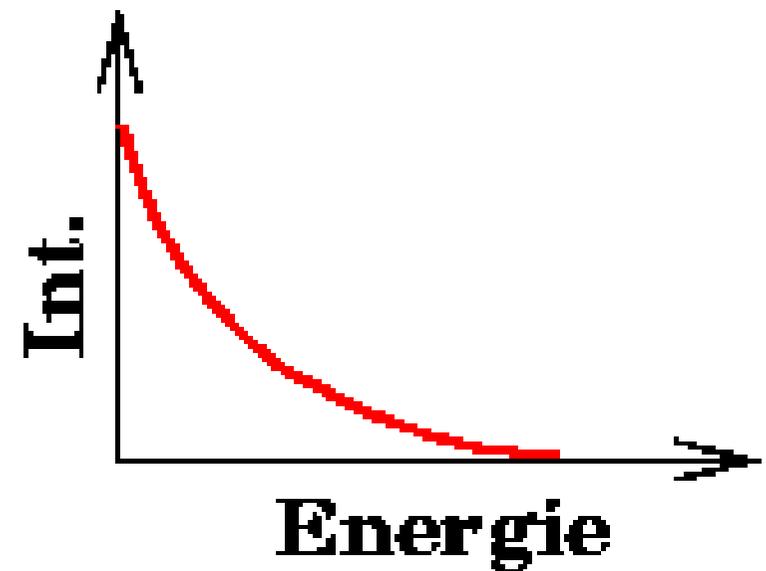
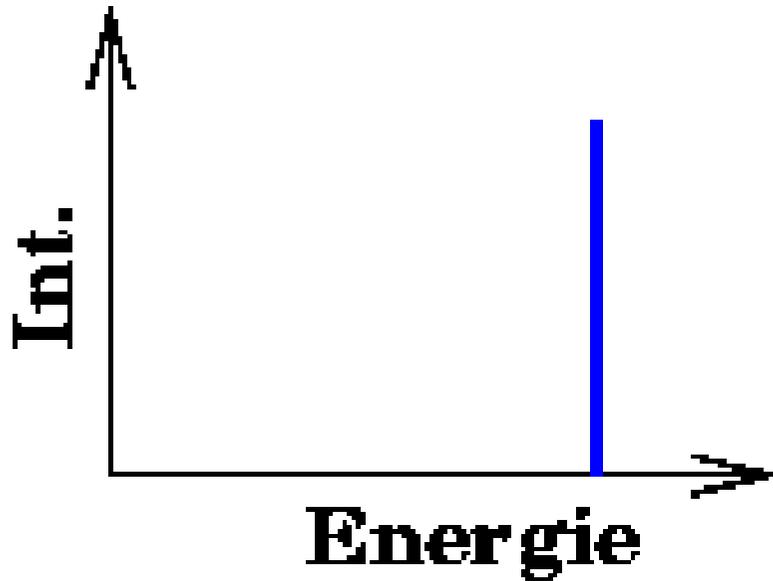
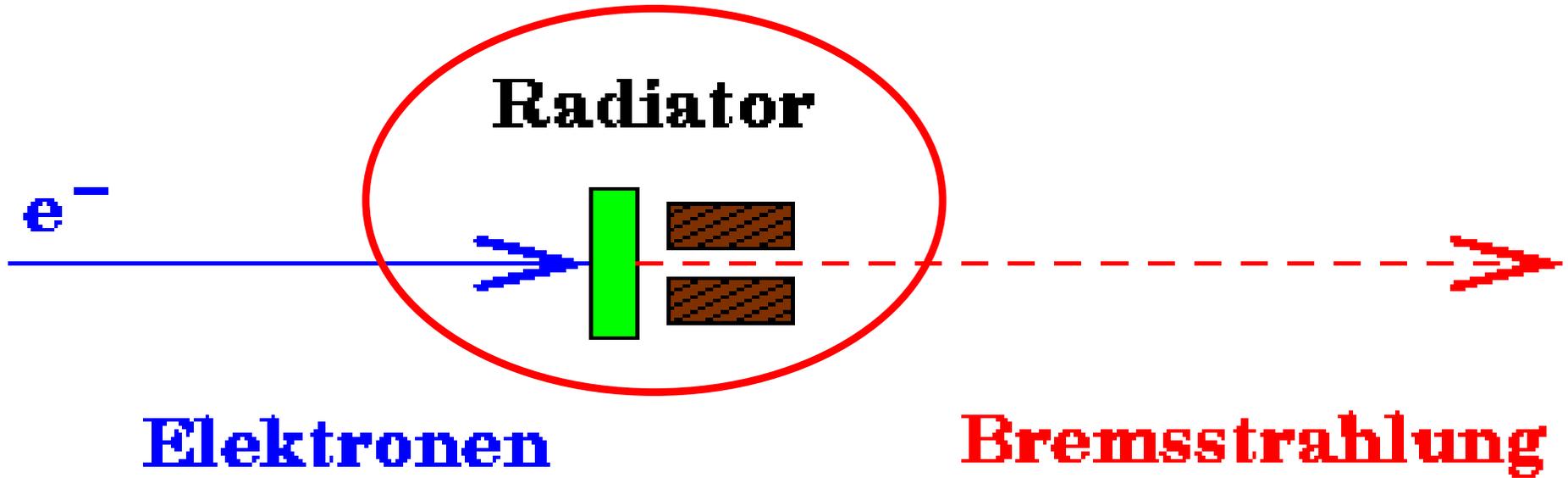


Photonenstreuung am S-DALINAC



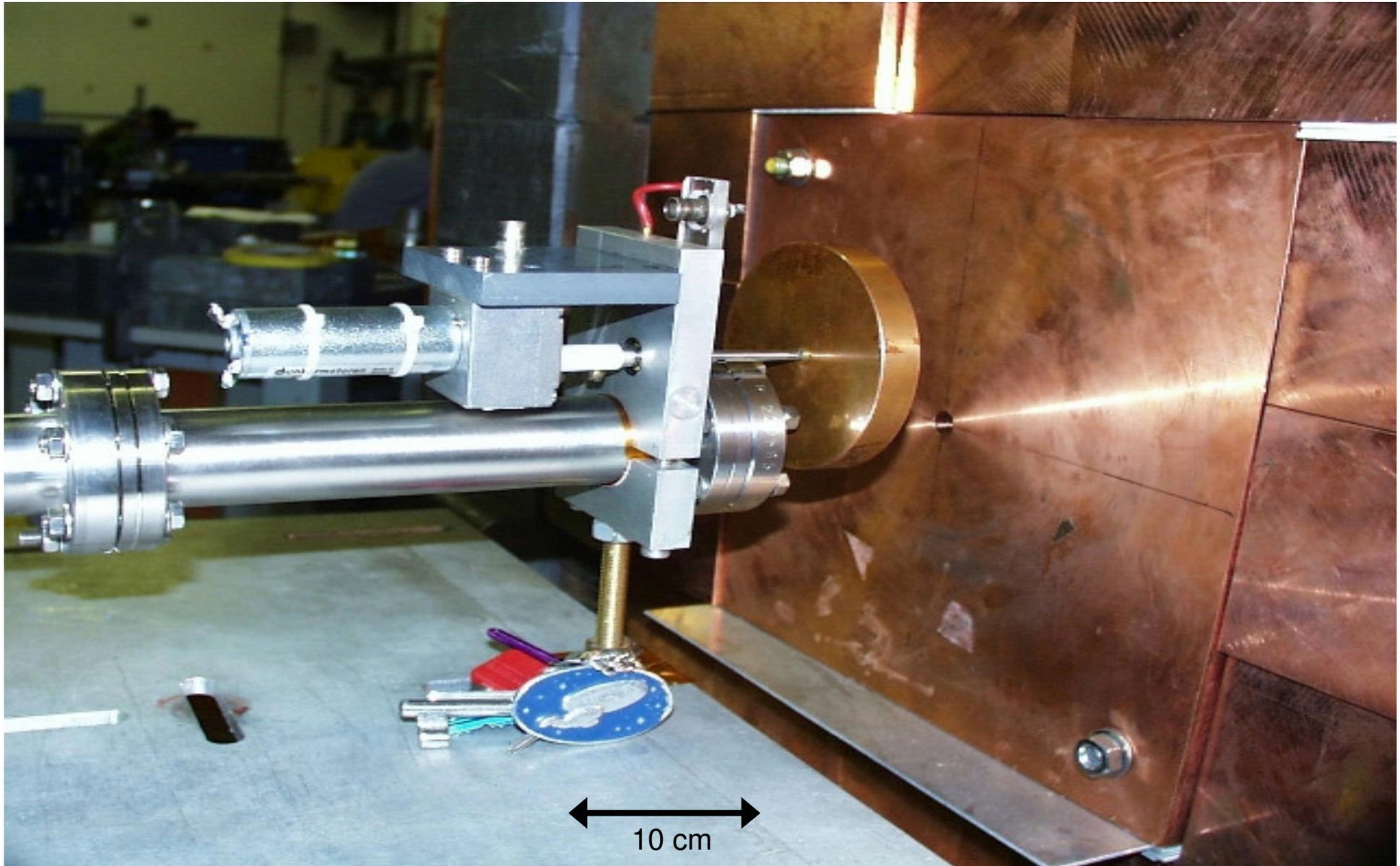


Bremsstrahlung am S-DALINAC



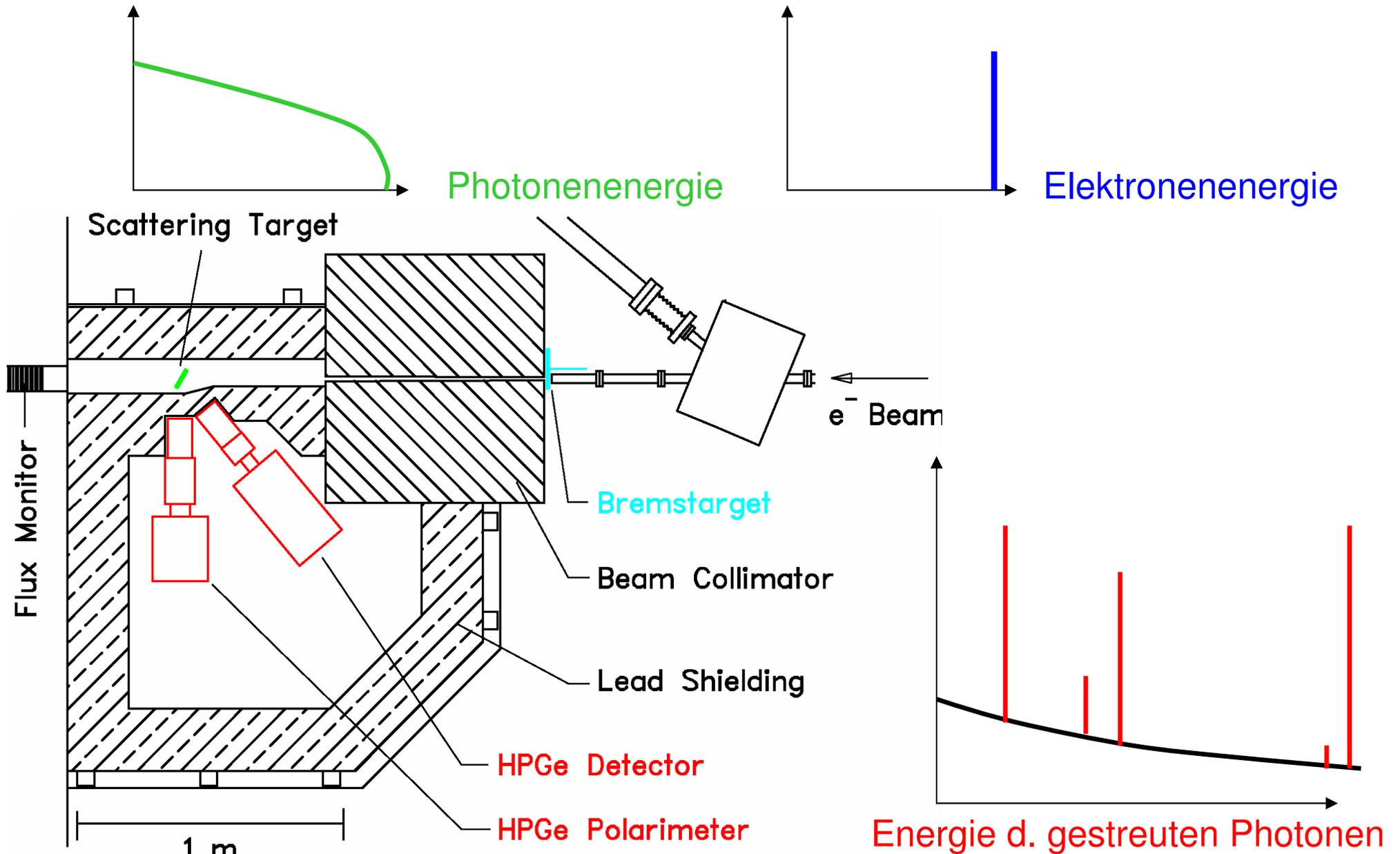


Bremsstrahlung am S-DALINAC



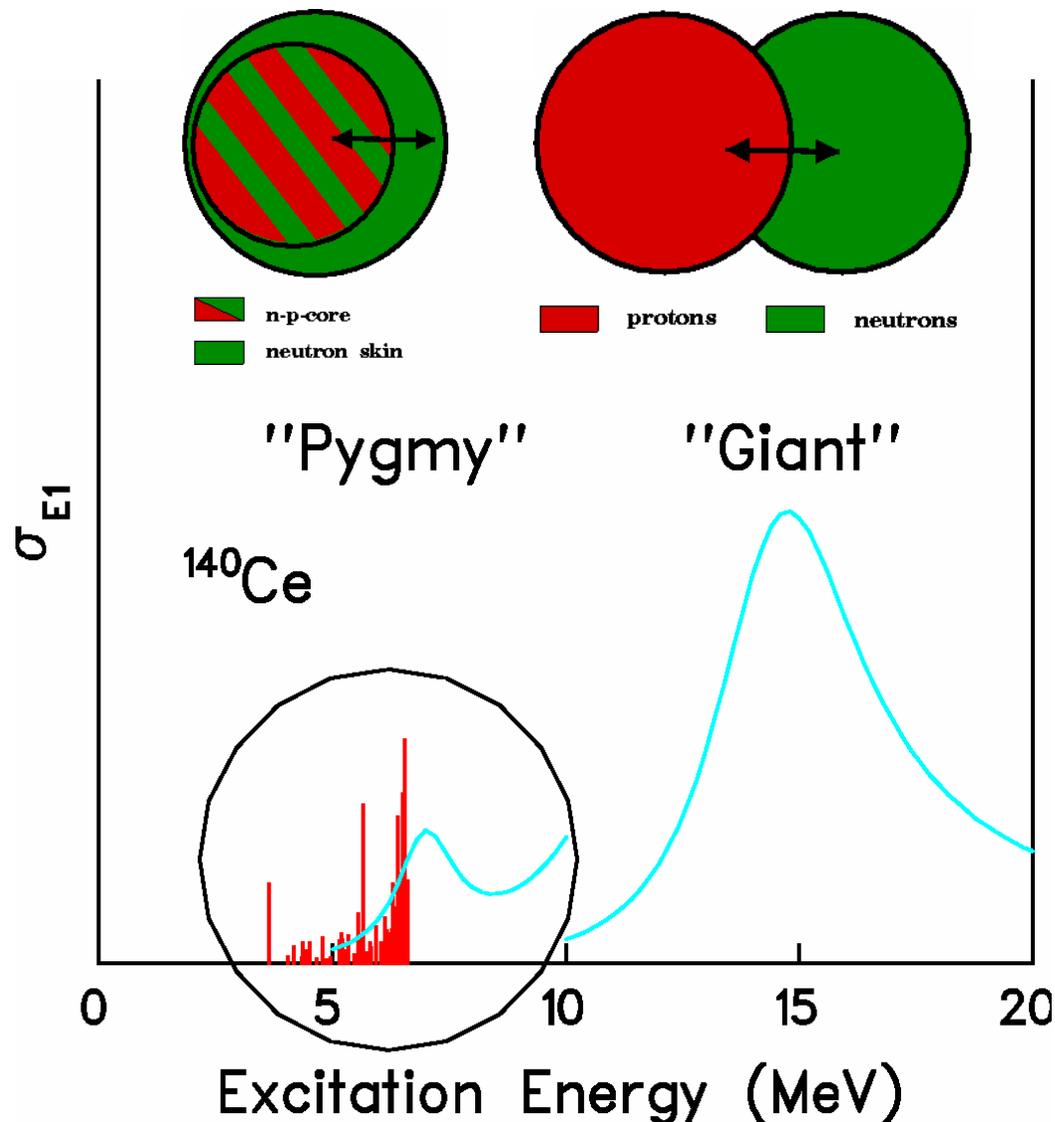


Photonenstreuung am S-DALINAC





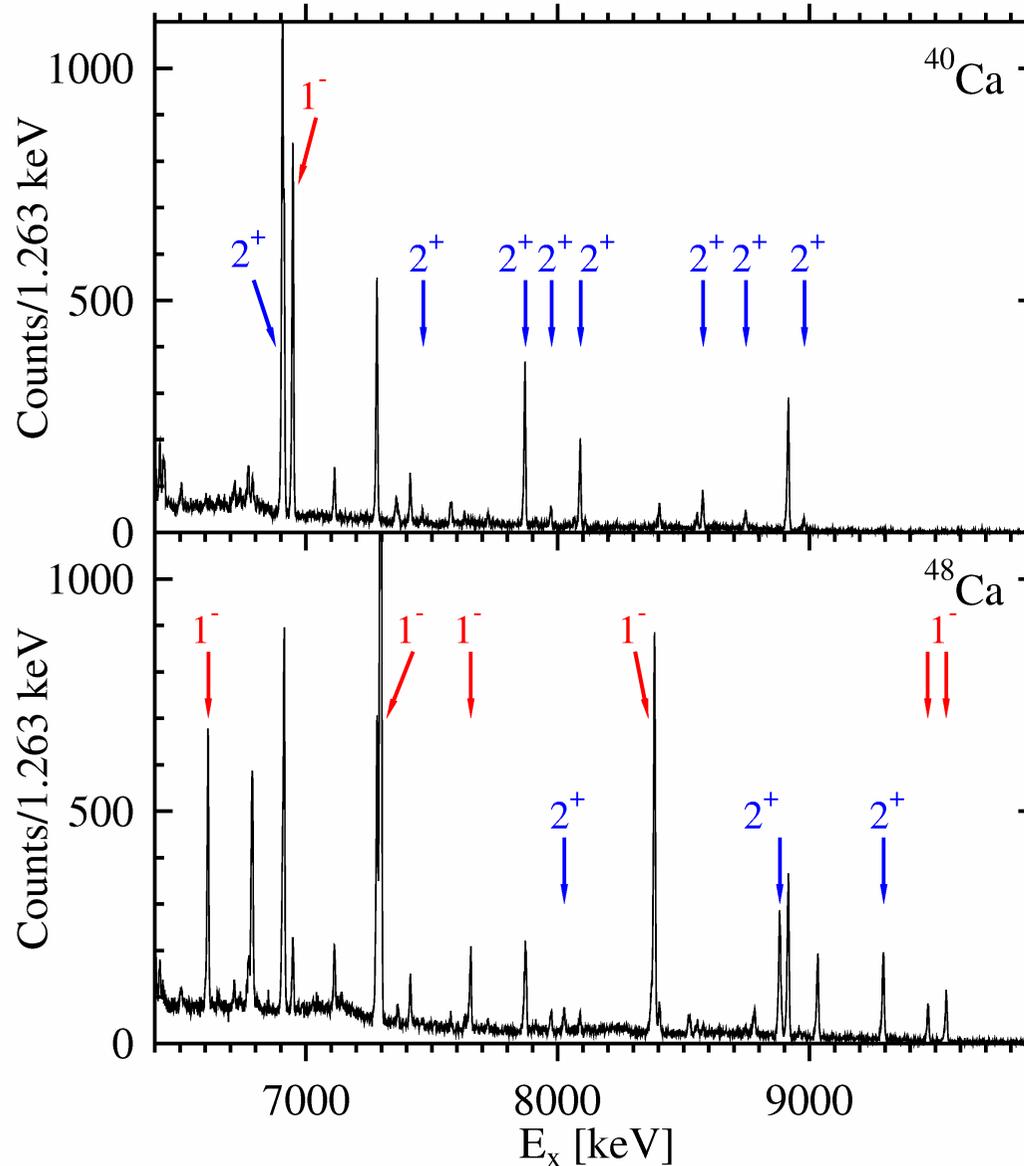
Die Pygmy-Resonanz



- In schweren stabilen Kernen gibt es mehr Neutronen als Protonen
 - Bildet sich eine Neutronenhaut?
 - Gibt es eine Schwingung der Neutronenhaut gegen den Restkern?
 - Elektrische Dipolanregung
- Photonenstreuung am S-DALINAC
- Ähnliche Versuche mit neutronenreichen radioaktiven Kernen bei der GSI



Pygmy-Resonanz in ^{48}Ca ?



$^{40}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Ca}$

- acht zusätzliche Neutronen
- viele zusätzliche 1^- Zustände



Statistische Untersuchungen: Atomkerne und Modellsysteme

- Atomkerne

- Viele Freiheitsgrade:
Protonen, Neutronen
- Dynamik beschrieben durch die Schrödingergleichung

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi = E \Psi$$

- Komplexe Anregungsspektren
- Statistisch behandelbar?

- Mikrowellenbillards

- Wenige Freiheitsgrade:
Wellen im flachen Resonator
- Dynamik beschrieben durch die Helmholtzgleichung

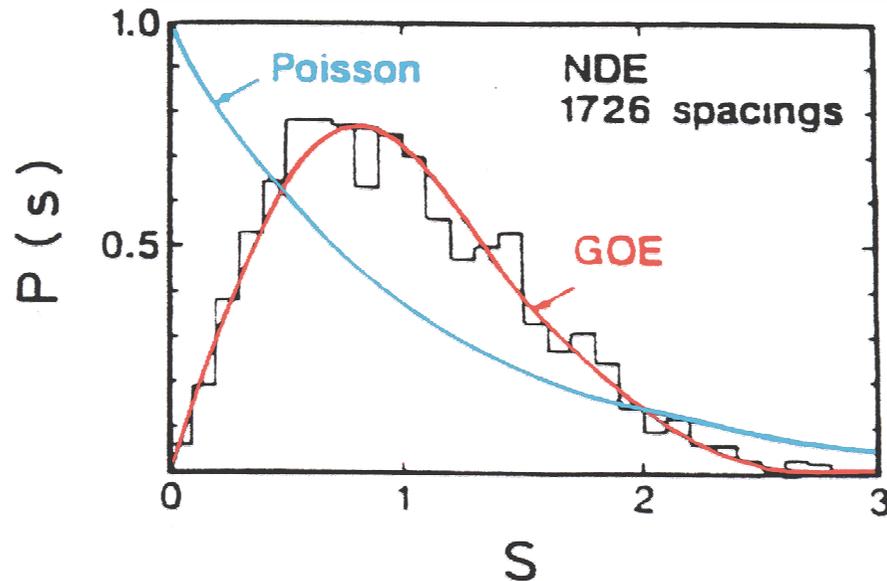
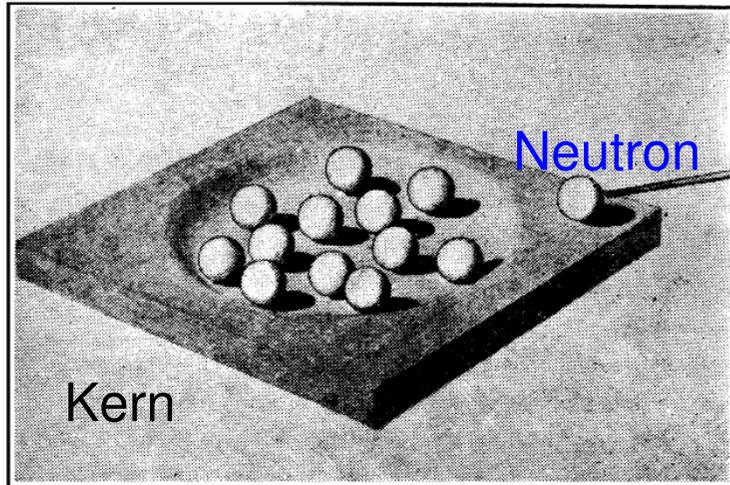
$$-\frac{c^2}{(2\pi)^2} \Delta \vec{E} = f^2 \vec{E}$$

- Komplexe Anregungsspektren
- Statistische Behandlung

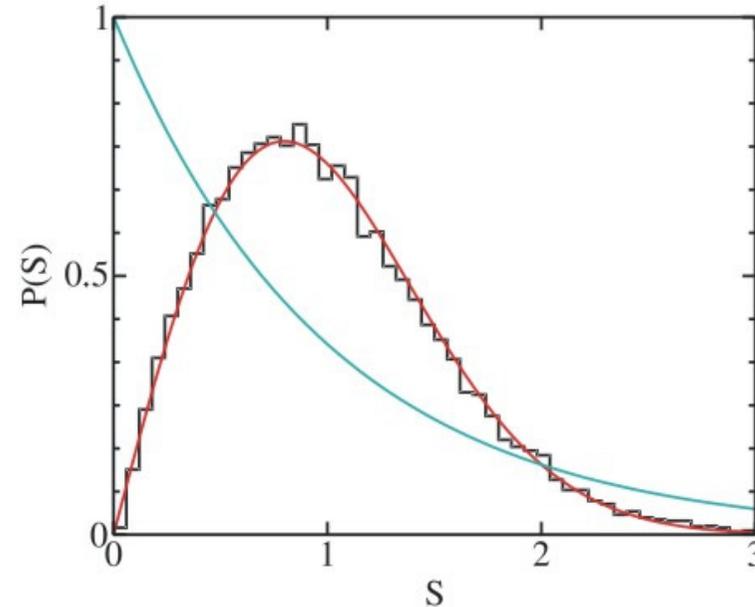
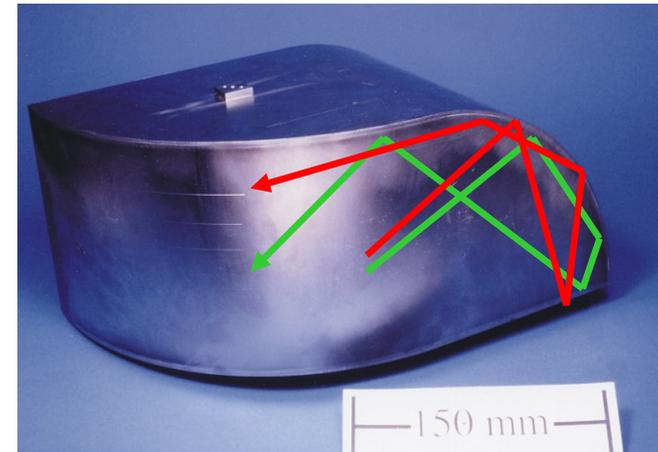


Statistische Untersuchungen: Atomkerne und Modellsysteme

Niels Bohrs Kernmodell: Einteilchenanregung



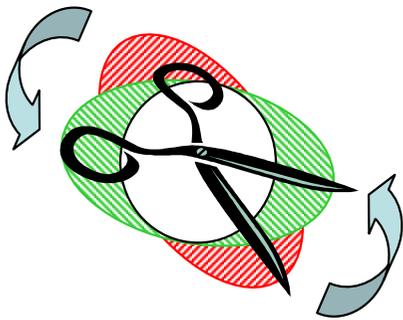
Mikrowellen-Resonator: Billard mit chaotischen Bahnen





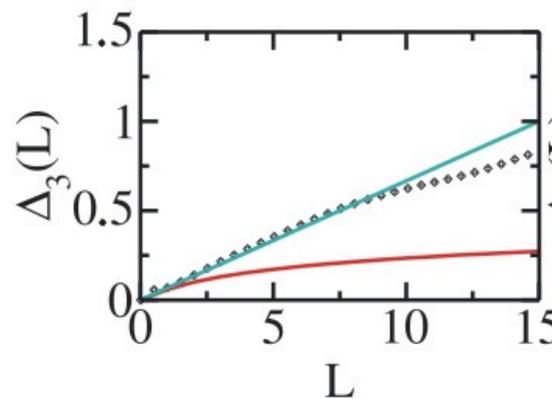
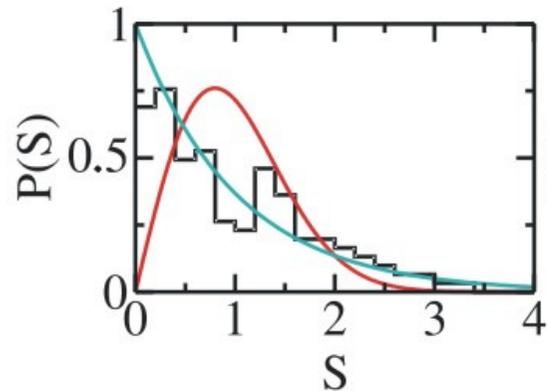
Statistische Untersuchungen: Atomkerne und Modellsysteme

Kollektive Anregung vieler Nukleonen im Kern



Scissors Mode

(angeregte
Zustände in
deformierten
Atomkernen)





Diplom- und Doktorarbeiten in Kernstrukturphysik und Quantenchaos

- Einige Absolventen der letzten Jahre:

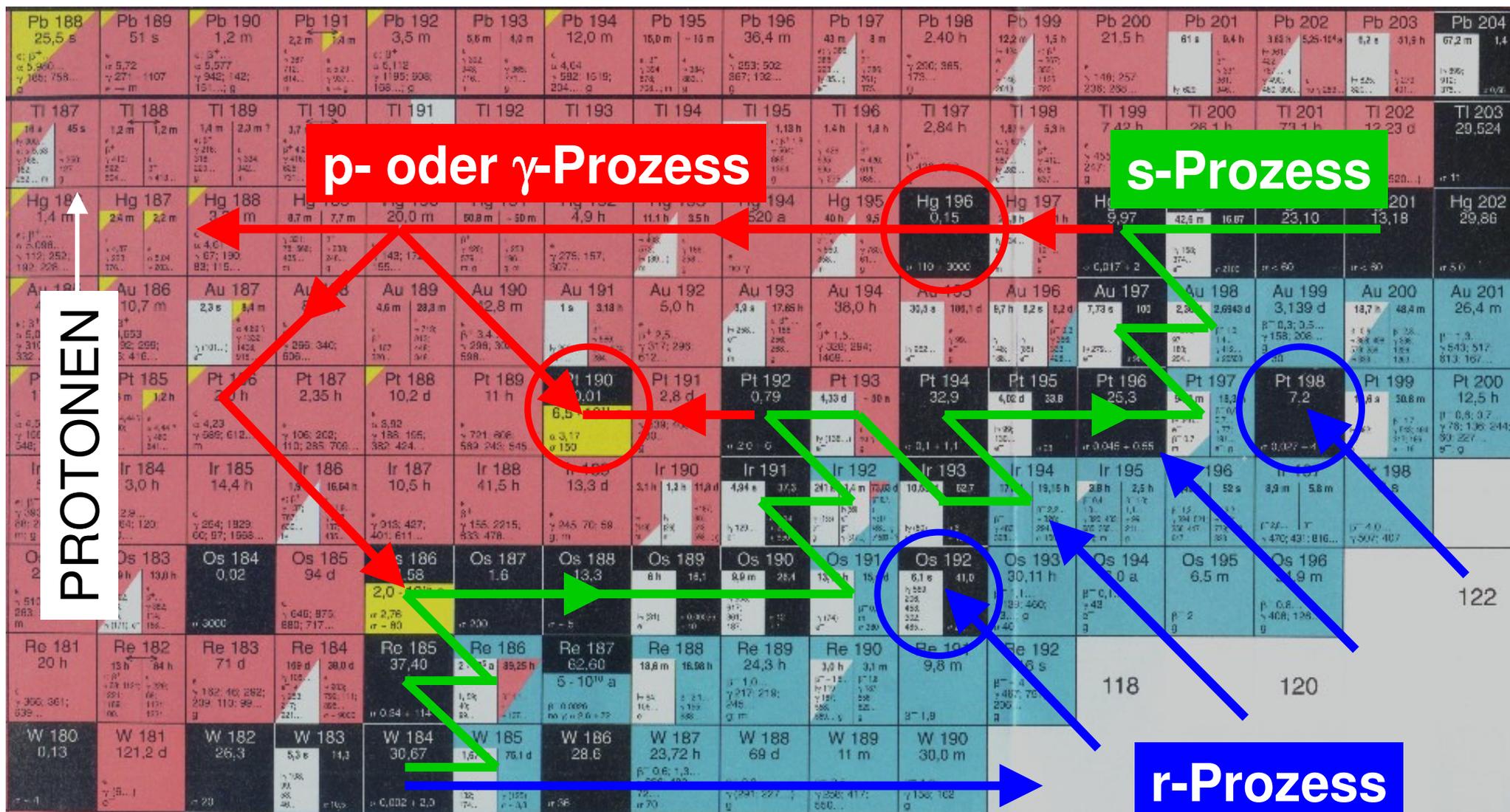
– S. Volz	Pygmy-Resonanz	IBM Deutschland
– M. Miski-Oglu	Quantenchaos	TUD
– T. Friedrich	Quantenchaos	TUD
– S. Watzlawik	Polarisierbarkeit Proton	ZF Lenksysteme
– A. Shevchenko	Riesenresonanzen	Siemens
– M. Babilon	Kernstruktur	Bosch
– A. Lenhardt	Detektorsystem	PCS GmbH Regensburg
– Y. Kalmykov	Riesenresonanzen	Radium
– A. Heine	Quantenchaos	Ernst-Mach-Institut (FHG)
– T. Hartmann	Pygmy-Resonanz	Framatome
– F. Hofmann	Protonenstreuung	Kassenärztl. Vereinigung
– C. Dembowski	Quantenchaos	Beratung (d-fine)
– K. Schweda	Riesenresonanzen	U Heidelberg
– B. Reitz	Twist-Mode	Gen. Hospital Pittsburgh



Nukleare Astrophysik



Die Nukleosynthese der schweren Elemente



NEUTRONEN →



Eine Brutstätte für schwere Elemente: Supernova-Explosionen

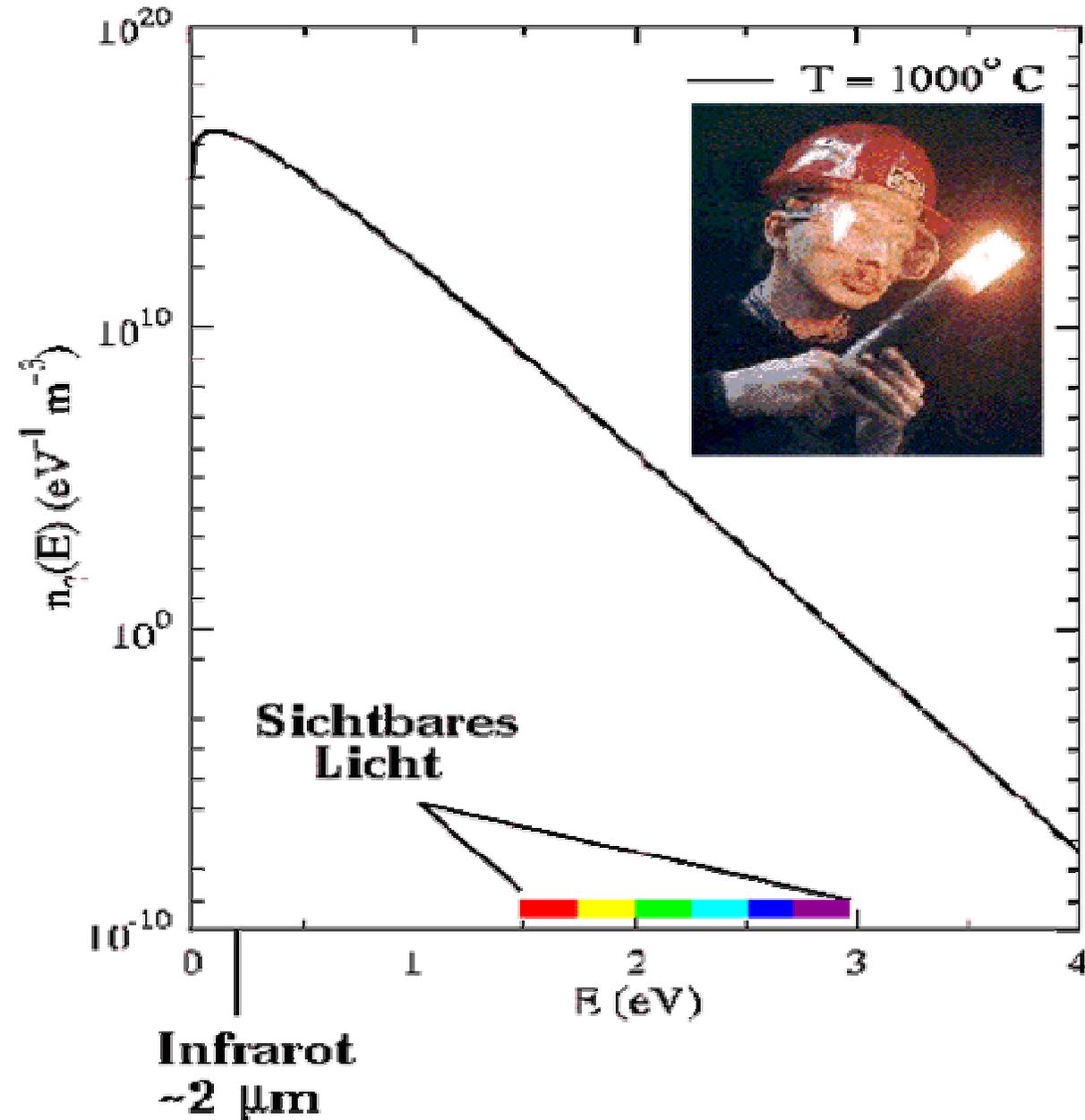
Temperaturen um 3×10^9 Kelvin \sim 200 keV



Crab-Nebel

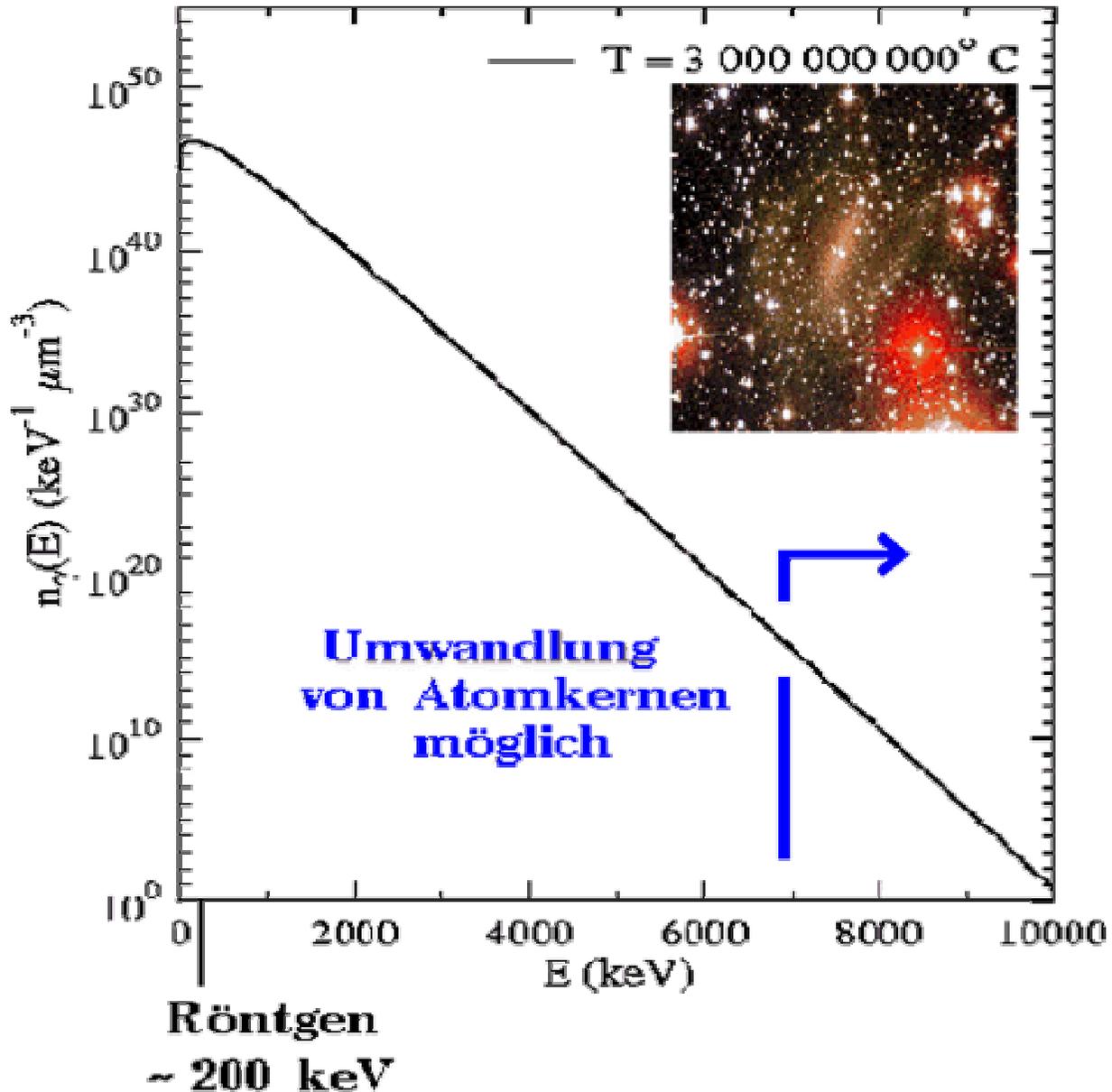


Das Planck-Spektrum



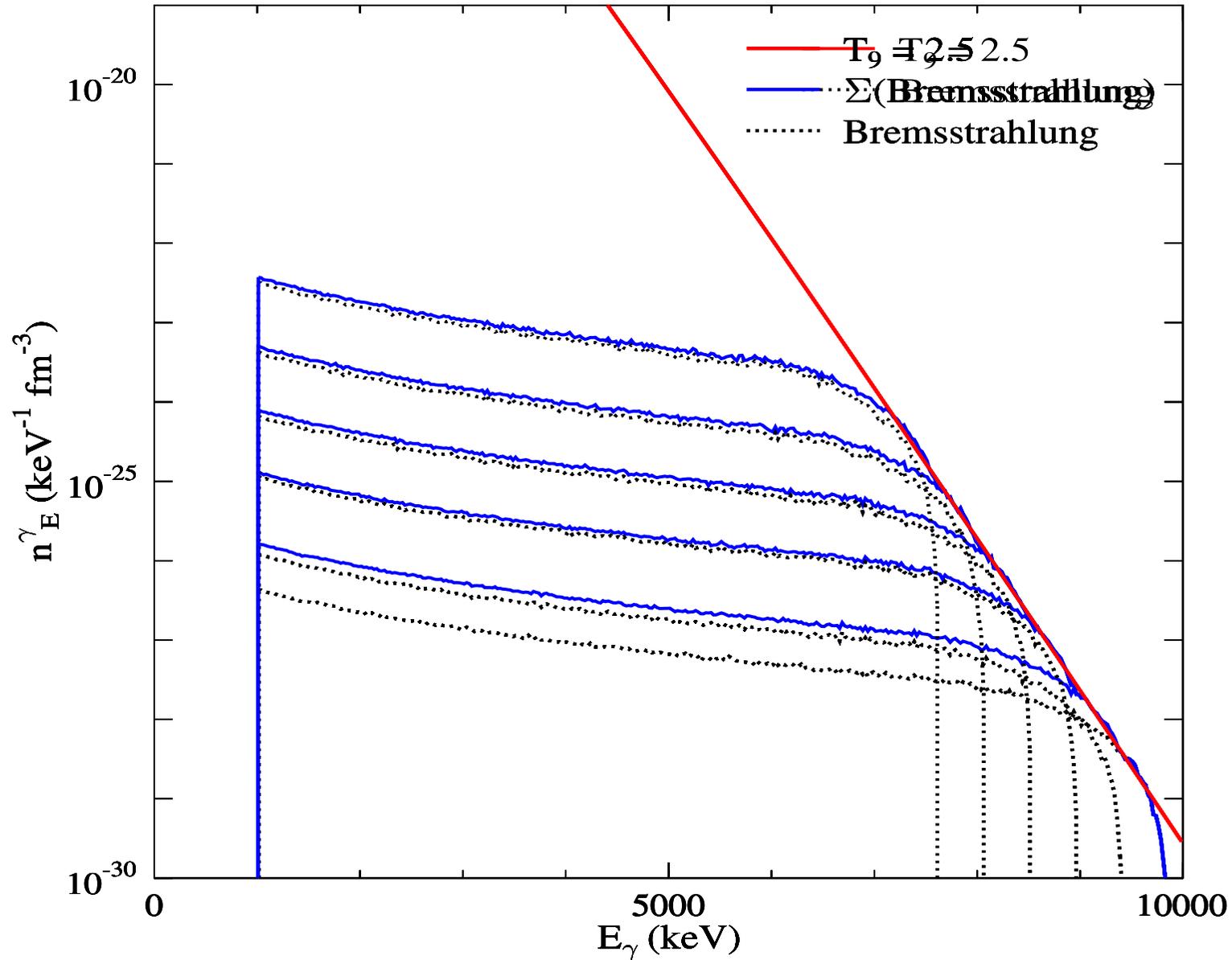


Das Planck-Spektrum



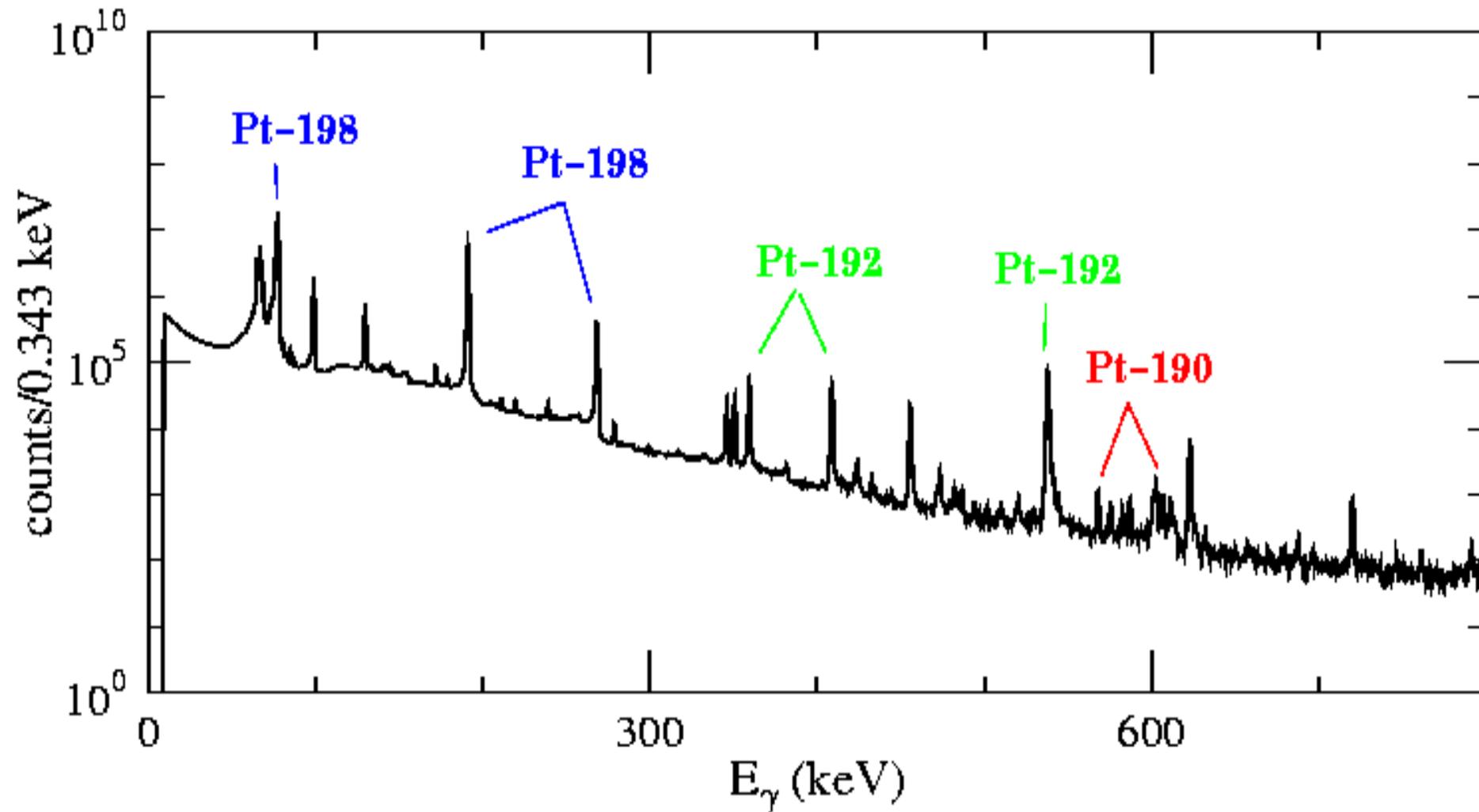


Simulation der Planck-Kurve





Resultat einer Pt_{nat} -Aktivierung





Eine Supernova in den Medien...

WISSENSCHAFT UND TECHNIK M 2

Atomumwandlung im kosmischen Brutofen

Physiker der TU Darmstadt bauen winzige Supernova nach: Erkenntnisse zur Erdgeschichte

Die Umwandlung von chemischen Elementen in andere beschäftigt schon die Alchemisten: Sie fingen prima materia auf und hofften sie in Gold zu verwandeln. Heute beschreiben Physiker, wie sich durch die Einwirkung von hochenergetischem Licht bei einer Temperatur von drei Milliarden Grad Celsius ein Teil der Materie in andere Elemente umwandelt. Die Umwandlung für den geschichtlichen Umwandlungsprozess überraschend groß sind und deutlich von der Supernova-Explosionen. Möglich wäre die schnelle Auswertung der komplexen Messdaten von

7. November 1999 SONNTAG-MORGENMAGAZIN

in

Informationen und Meinungen aus d

Urknall am S-DALINAC

Dem Ursprung der Elemente auf der Spur

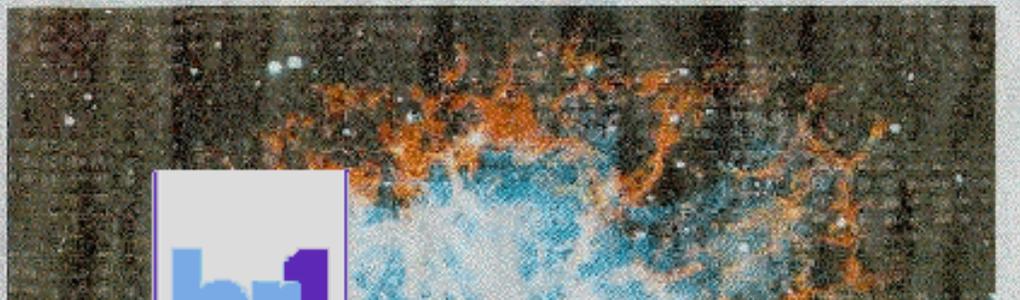
Am 11.11.1999 wurde die erste deutsche Supernova im Labor nachgebaut - schickte die Wissenschaftler der TU Darmstadt die Welt der Alchemisten zurück zu dem Projekt der Alchemisten am Prof. Dr. Andreas Ziegler

Forschung an der TU Darmstadt:

Urknall am S-DALINAC

TUD-Kernphysiker dem Ursprung der Elemente auf der Spur

Die Umwandlung von Plutonium-Atomkernen in Gold- und Platin-Atomkerne in einer Supernova berechnen. Die vorläufige Analyse der Daten zeigt, dass die gemessenen Wahrscheinlichkeiten für die Entstehung dieser Elemente auf der Erde erklären, denn der Großteil der auf der Erde vorhandenen schweren Elemente stammt aus der im Universum geschleuderten „Asche“ von Supernova-Explosionen. Ohne diese gemeinsame Anstrengung wäre es kaum möglich, die Geheimnisse von Supernova-Explosionen experimentell zu entschlüsseln. Tina Wehler



"Supernova Im Labor"



Diplom- und Doktorarbeiten in Nuklearer Astrophysik

- Einige Absolventen der letzten Jahre:

– N. Ryezayeva	Big Bang	DESY Zeuthen
– O. Burda	Sternexplosion	TUD
– A. Byelikov	Nukleosynthese	TUD
– K. Vogt	p-Prozess	AMETEK GmbH
– K. Sonnabend	s-Prozess	TU Darmstadt
– D. Galaviz	alpha-Streuung	CSIC Madrid

- Im Rahmen des SFB 634 angertigte Arbeiten:

	2006	2007
Bachelor Thesis	13	19
Diplomarbeiten	9	15
Dissertationen	4	8



Forschungsmöglichkeiten für Studierende am Institut für Kernphysik



Miniforschung

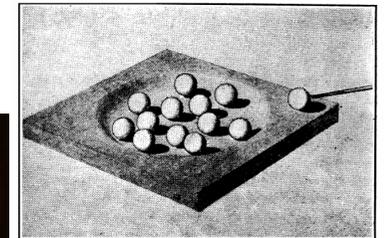
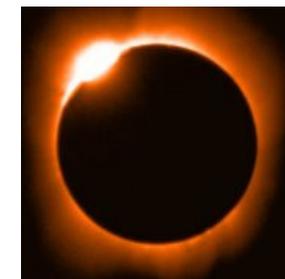
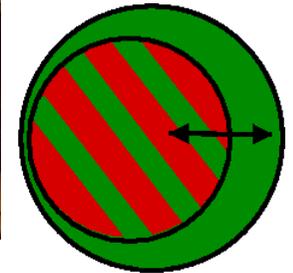
- Vier bis acht Wochen in den Semesterferien oder ein bis zwei Tage pro Woche im Semester
- Unverbindliche Mitarbeit in einer Forschungsgruppe
- Kennenlernen der Arbeitsatmosphäre
- Auch im Zusammenhang mit Bachelor-/Master-Thesis





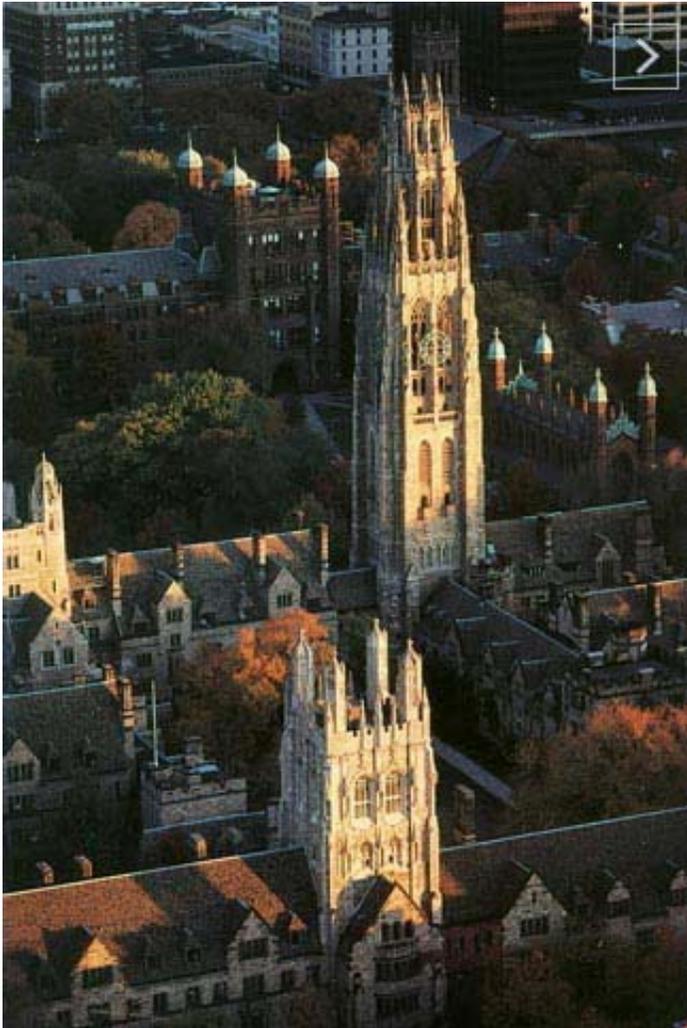
Bachelor/Master Thesis

- Eigenständiges Projekt mit Bezug zur aktuellen Forschung
 - Technische Entwicklungen
 - Experimente
 - Simulationen
 - Datenanalyse
- Wir bieten Theses an für die Bereiche
 - Beschleunigerphysik
 - Kernstrukturphysik
 - Nukleare Astrophysik
 - Quantenchaos
- Liste verfügbarer Arbeiten:
 - <http://www.ikp.physik.tu-darmstadt.de/bachelor/themen.html>



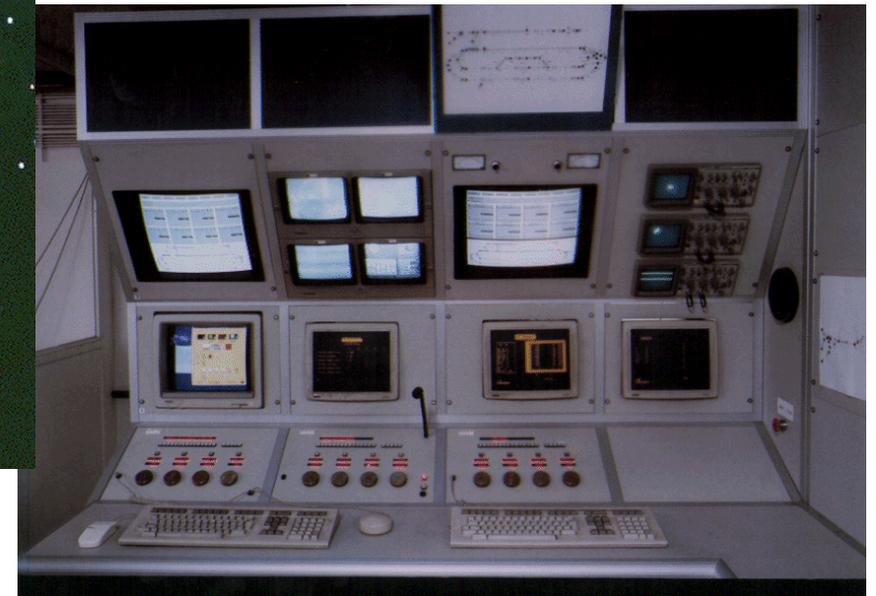
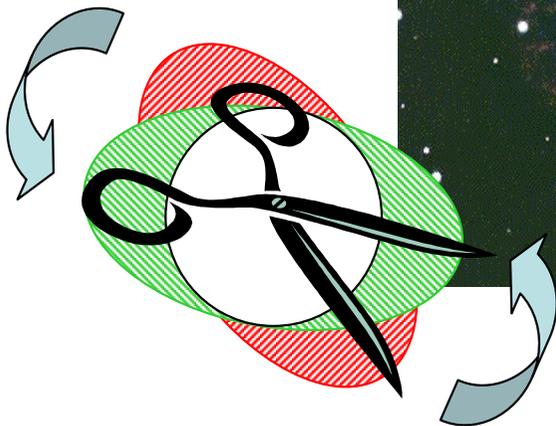
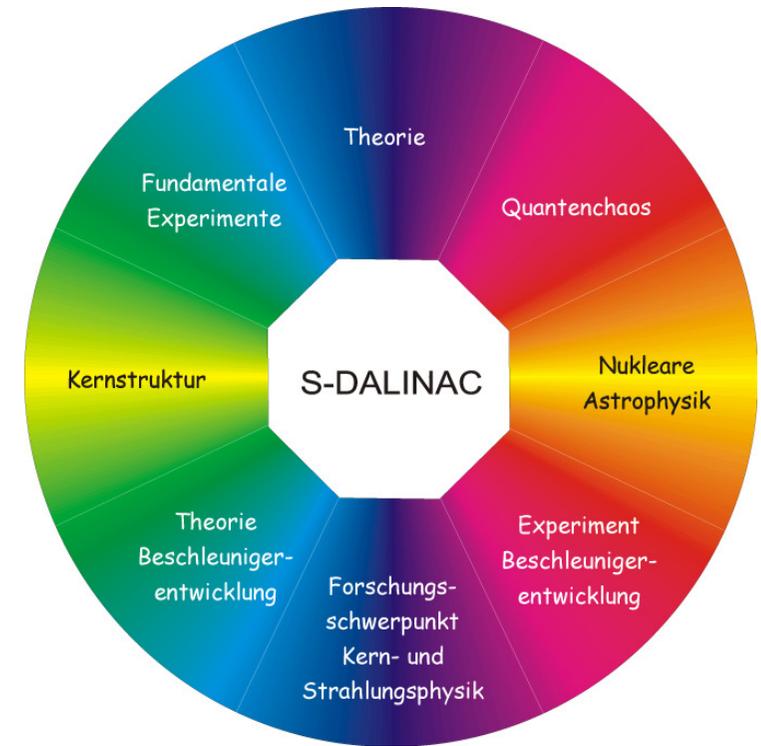


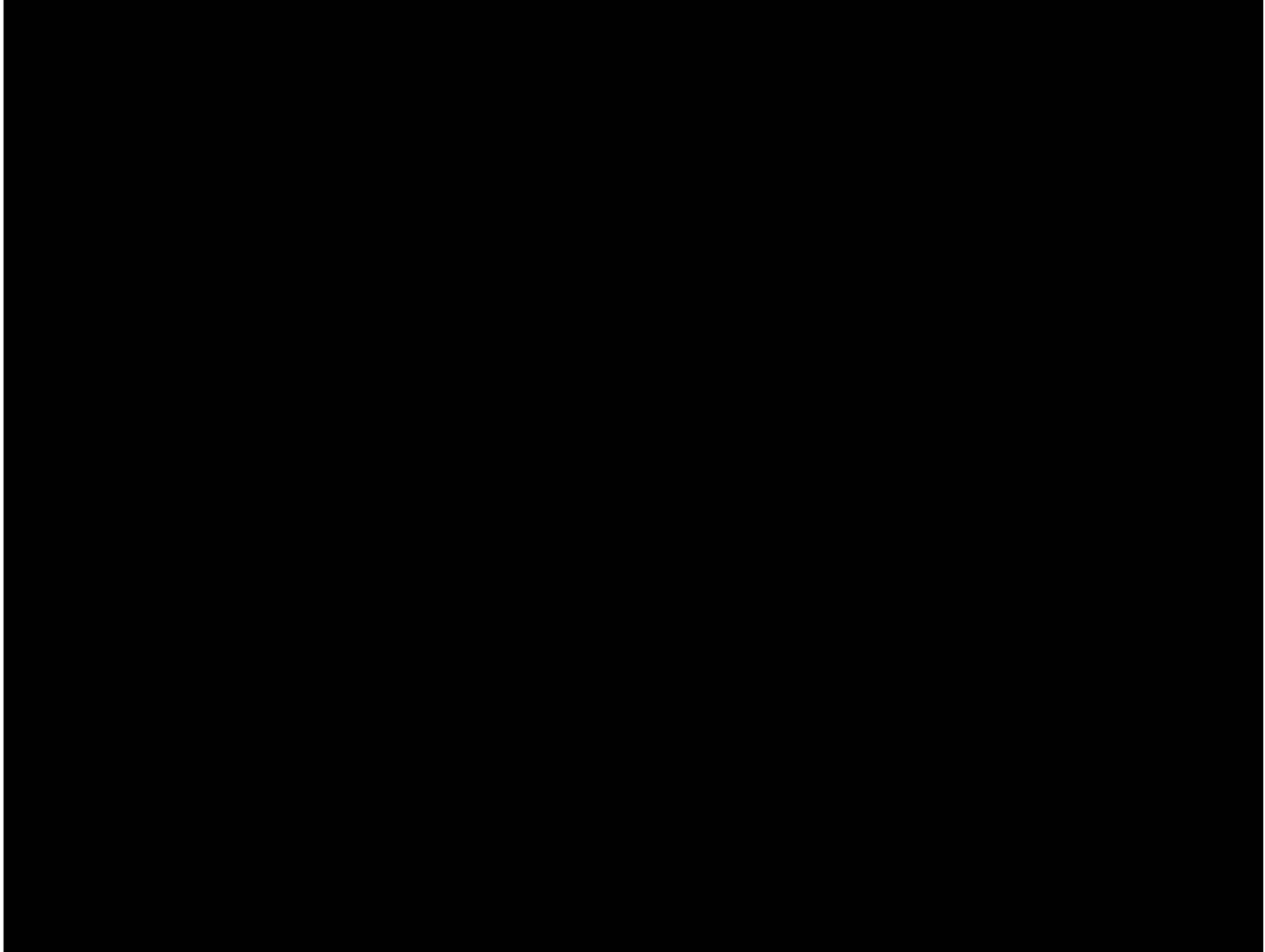
Studierende und Doktoranden unserer Arbeitsgruppen forschen auch in:



- GSI, Darmstadt
- New Haven (Yale University), U.S.A.
- Durham (Duke University), U.S.A.
- Chicago (Argonne Nat'l Lab), U.S.A.
- Genf (CERN), Schweiz
- Caen (GANIL), Frankreich
- Padua (LNL), Italien
- Kapstadt, Südafrika (NAC)
- Debrecen, Ungarn (ATOMKI)
- Groningen, Niederlande (KVI)
- Osaka, Japan (RCNP)
- Jyväskylä, Finnland (JYFL)

Vielen Dank für Ihr Interesse !

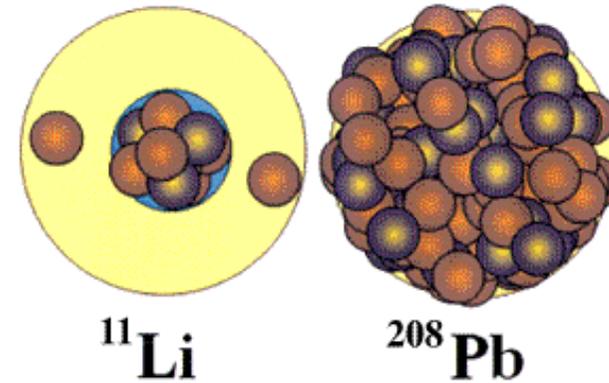






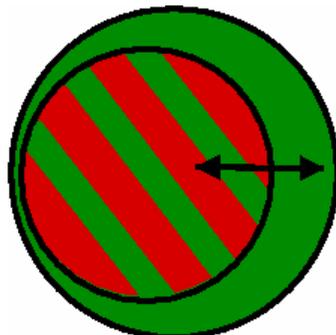
Experimente mit exotischen Kernen

- Exotische Kerne sind radioaktiv und sehr kurzlebig (^{32}Mg : 120 ms; ^{11}Li : 8.5 ms)
- Exotische Kerne werden in Beschleunigeranlagen künstlich erzeugt und direkt als Strahl für Experimente verwendet



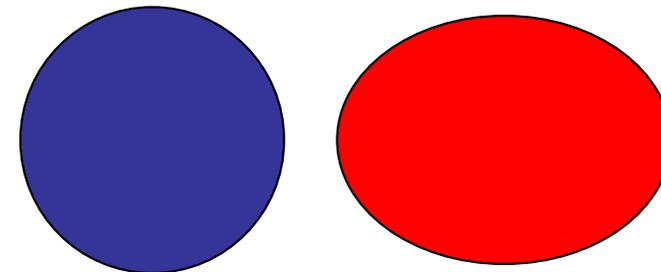
Halo-Kerne:

Ungewöhnliche Verteilung der Nukleonen



 n-p-core
 neutron skin

Neuartige Anregungen



^{34}Si

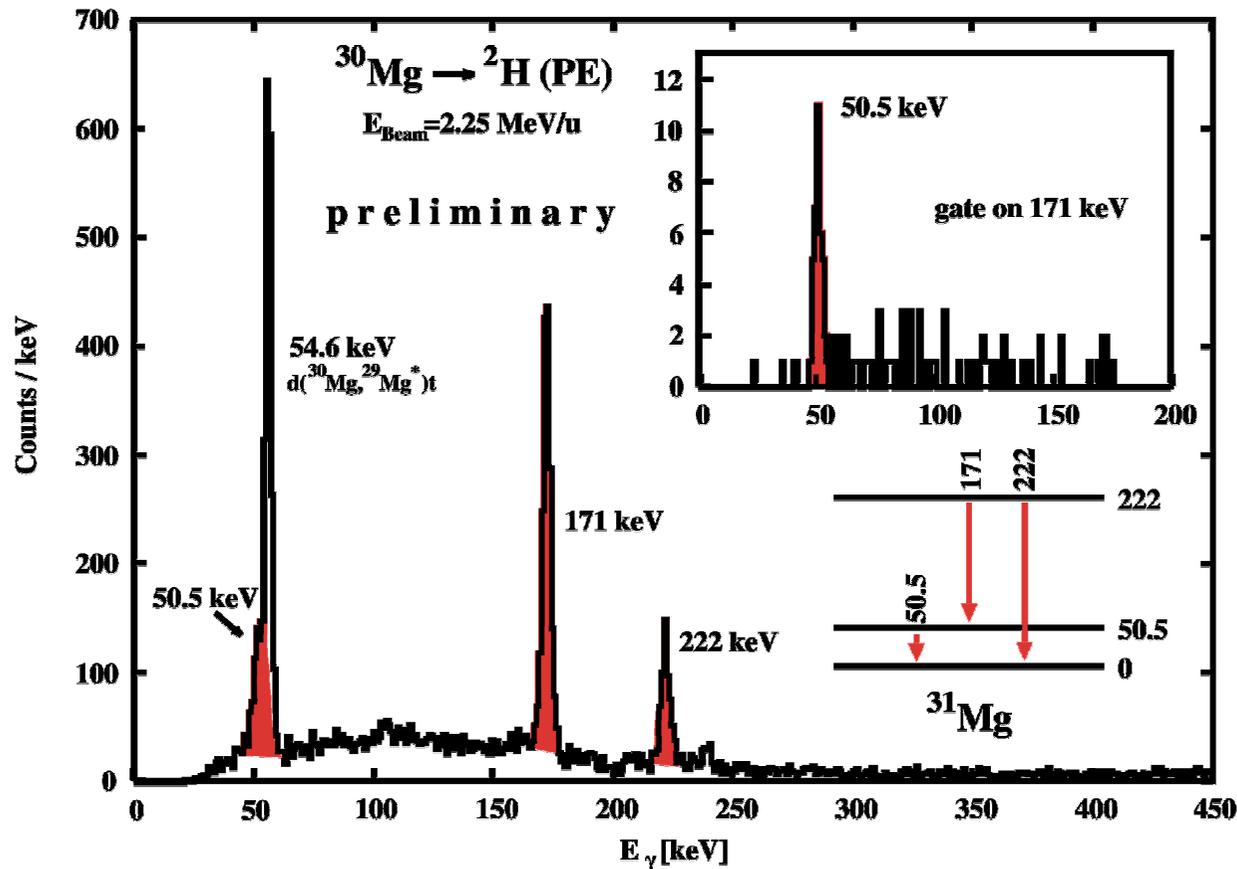
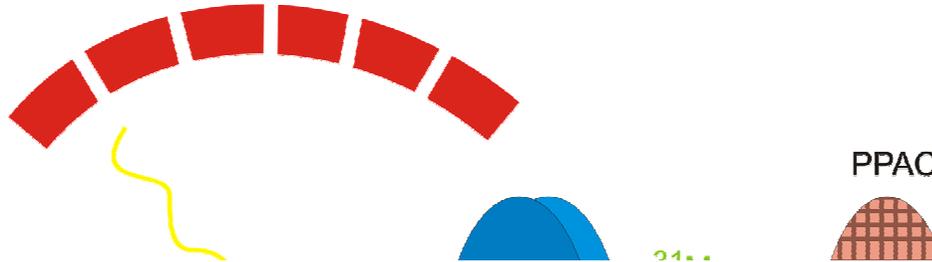
^{32}Mg

Unerwartete geometrische Form



Experimente mit exotischen Kernen an REX-ISOLDE (CERN, Genf)

MINIBALL γ spectrometer





Sonderforschungsbereich SFB 634

