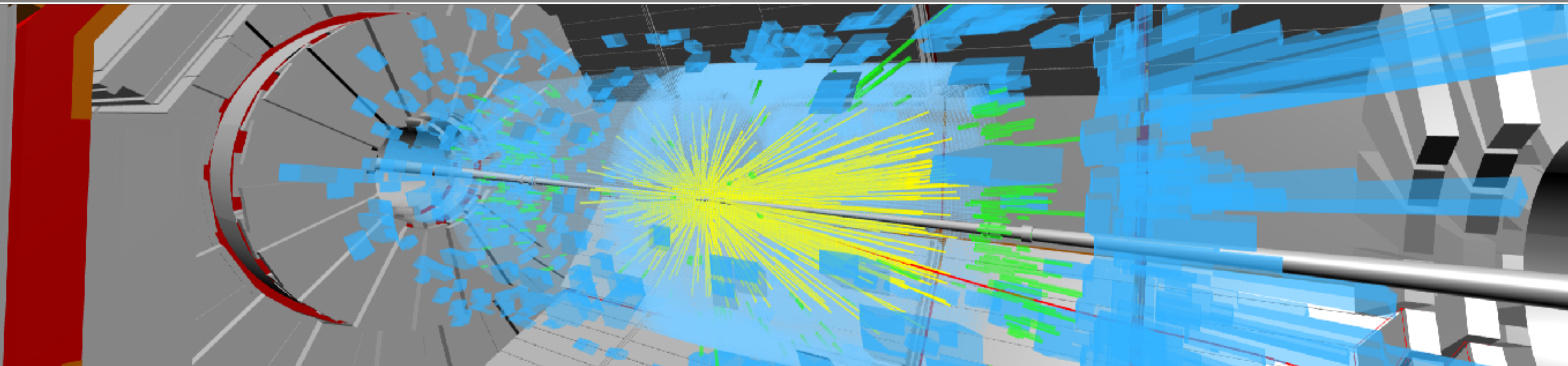


Moderne Experimentalphysik III – Teilchen und Hadronen

Karlsruher Institut für Technologie
Sommersemester 2020 – 7. Vorlesung

ULRICH HUSEMANN, KATHRIN VALERIUS

Bildquelle: CMS



Kurze Wiederholung

- Beschleunigertypen:
 - **Elektrostatische** Beschleuniger: van-de-Graaff, Cockcroft-Walton
 - **Hochfrequenz**-Beschleuniger: LINAC, Zyklotron, Synchrotron
- Elemente des Synchrotrons:
 - Ablenkung: **Dipolmagnete**, Fokussierung: **Quadrupolmagnete**
 - Beschleunigung: **Hohlraumresonatoren**
- Collider für die Teilchenphysik:
 - Kollision von **Teilchenpaketen** (Speicherring oder LINAC)
 - Leistungszahl: (instantane) **Luminosität**

Aufgabe 12

Wie sind moderne Teilchenbeschleuniger aufgebaut?

- A. Alle physikalisch interessanten Energiebereiche können mit der Bauform Zyklotron erreicht werden.
- B. Ein Speicherring wird oft aus einer Kette von Vorbeschleunigern gespeist, die Endenergie wird in einem Synchrotron erreicht.
- C. Ein Speicherring wird oft aus einer Kette von Vorbeschleunigern gespeist, die Endenergie wird in einem LINAC erreicht.
- D. Die mit einem LINAC erreichbare Endenergie ist proportional zur Länge der Beschleunigungsstruktur.
- E. In einem Synchrotron werden Magnetfelder zur Beschleunigung und Ablenkung der Teilchenstrahlen verwendet.

Kapitel 4

Anwendungen der Kernphysik

Kapitel 4.1

Instabile Kerne

Beobachtungen

Karlsruher Nuklidkarte (Darstellung nach Segrè)

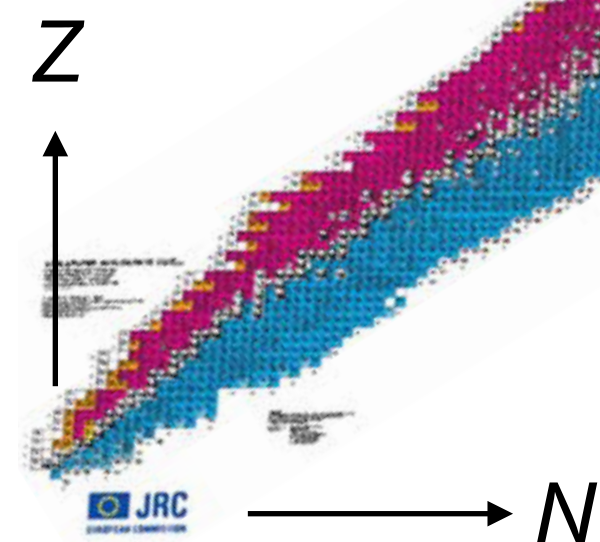
>4000 Radionuklide:

stabil

β^- -Zerfall

β^+ -Zerfall

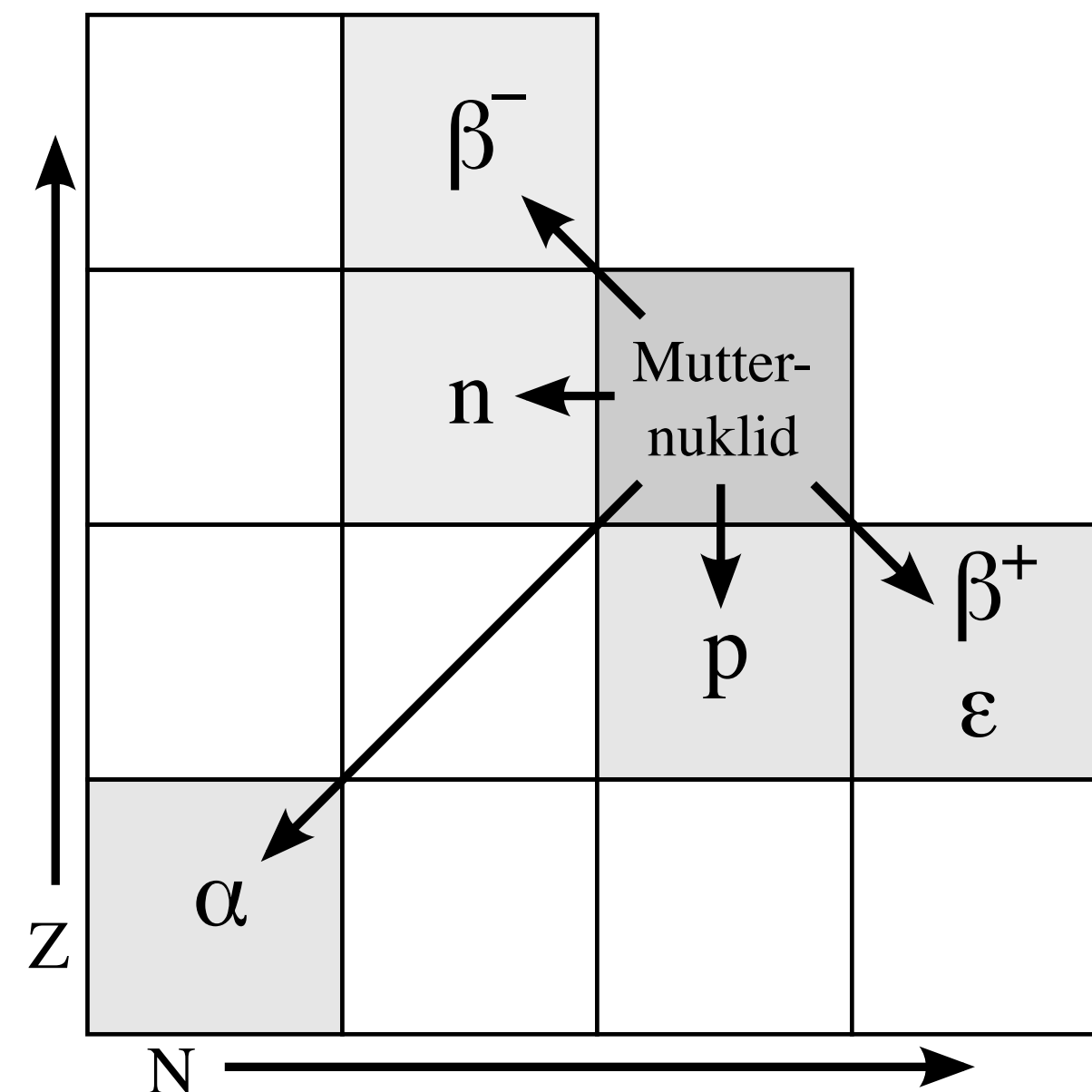
α -Zerfall



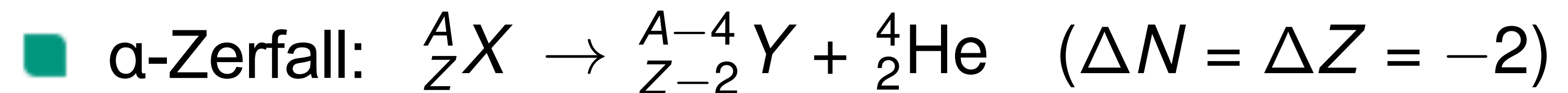
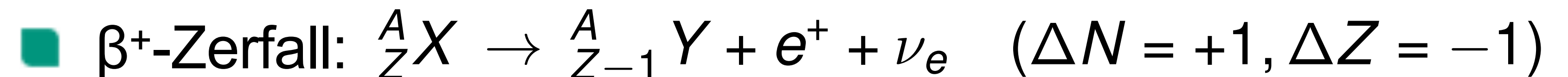
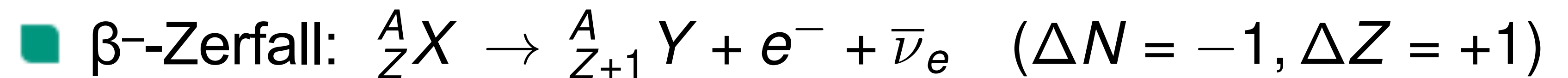
nucleonica.com

- Nur sehr wenige stabile Kerne, alle anderen **zerfallen spontan** (vgl. Nuklidkarte), z. B.:
 - Neutronenüberschuss: **β^- -Zerfall** ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$)
 - Protonenüberschuss: **β^+ -Zerfall** ($p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$)
 - Schwerer Kern mit genug Energie zur Bildung von zwei Tochterkernen, einer davon meist Heliumkern: **α -Zerfall**
- **Angeregte Kernzustände**: Zerfall unter Emission von **Gammastrahlung**
- Sehr schwere Kerne: (induzierte) **Kernspaltung**

Reaktionen in der Nuklidkarte

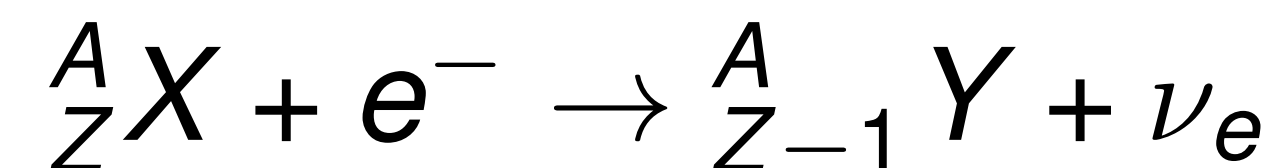


Radioaktive Zerfälle:



Beispiele für weitere Prozesse:

■ Elektroneneinfang (engl.: electron capture, EC):



Zerfallsgesetz und Aktivität

- Betrachte Ensemble von N instabilen Kernen:
 - Zufällige Zerfälle, Zerfallsrate proportional zu Zahl der Kerne

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \equiv -A(t)$$

- Lösung der Differenzialgleichung: **Zerfallsgesetz** $N(t) = N_0 \exp[-\lambda t]$
- **Aktivität A** des Ensembles:
 - Zeitabhängigkeit der Aktivität: $A(t) = \lambda N_0 \exp[-\lambda t]$
 - SI-Einheit **Becquerel**, $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$ (ein Zerfall pro Sekunde)
 - Alte Einheit **Curie**, $1 \text{ Ci} = 3,7 \text{ GBq}$ (Aktivität von $1 \text{ g } ^{226}\text{Ra}$)
 - Beispiele: Menschlicher Körper $\rightarrow \text{kBq}$, Sterilisation Lebensmittel $\rightarrow \text{PBq}$



Radura-Symbol



Lebensdauer und Breite

- Charakteristisches Zeitintervall:
mittlere Lebensdauer (Erwartungswert)

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t A(t) dt = \dots = \frac{1}{\lambda}$$

- Nach $t = \tau$: nur noch **$1/e \approx 36,8\%$** der Kerne
- Alternativ: **Halbwertszeit** $t_{1/2} = \tau \ln 2$ (50% der Kerne)
- Unschärferelation: instabile Zustände mit mittlerer Lebensdauer $\tau \rightarrow$ **Breite** (= Energieunschärfe):

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}$$

Prozess	τ
Zerfall des Top-Quarks ($t \rightarrow Wb$)	$5 \cdot 10^{-25} \text{ s}$
Betazerfall Tritium	17,7 a
Alphazerfall natürliches Uran (^{238}U)	$6,4 \cdot 10^9 \text{ a}$
Zerfall des Protons	$> 2 \cdot 10^{29} \text{ a}$ (nicht beobachtet)

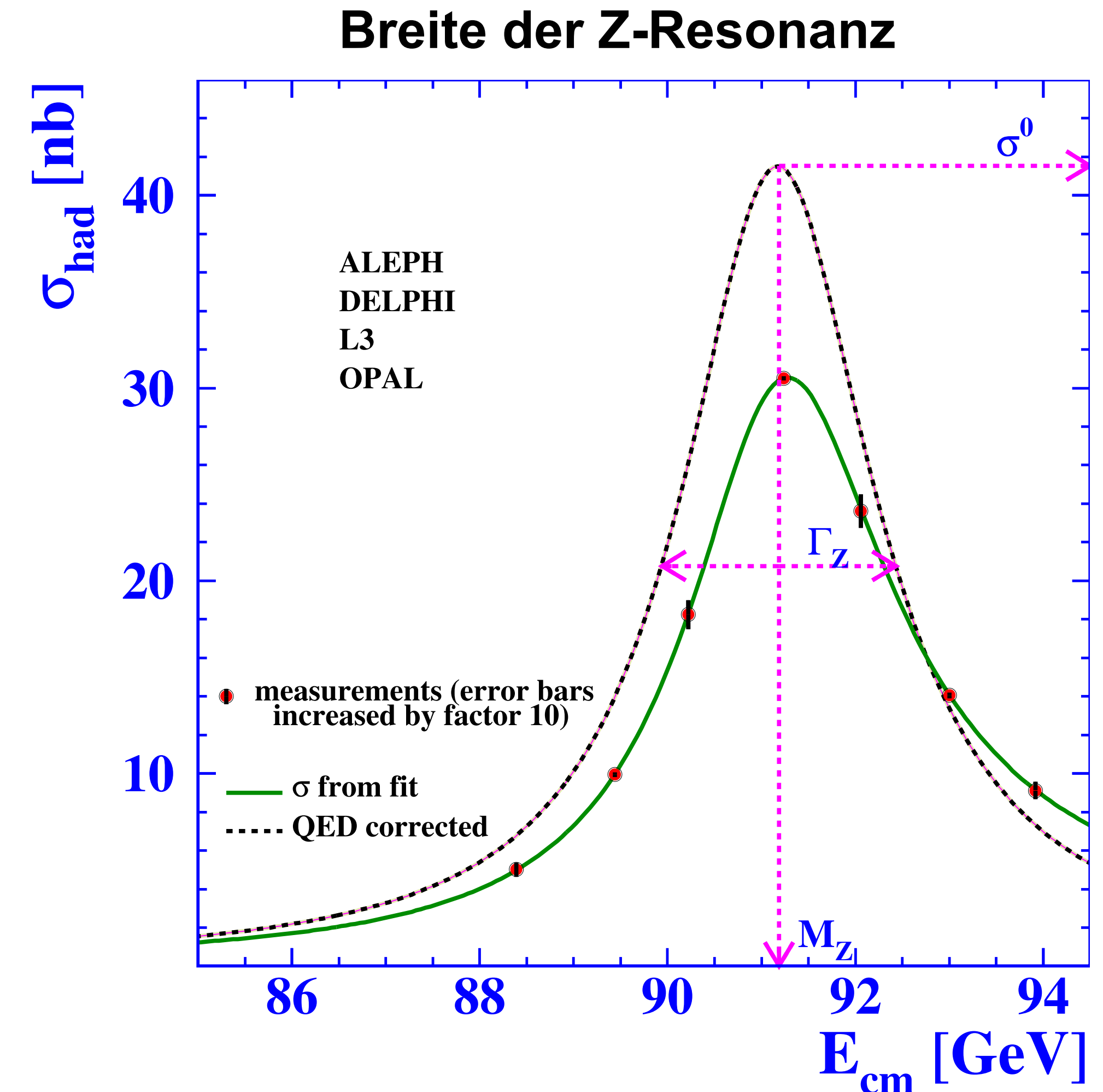
Zahlenwerte: pdg.lbl.gov

Zerfallsbreite

- Zerfallsbreite = **Energieunschärfe** eines instabilen Teilchenzustands („Resonanz“)
- Beispiel Z-Boson:
 - Zerfallsbreite: $\Gamma = 2,4952(23) \text{ GeV}$
 - Lebensdauer: $\tau \approx 2,6 \cdot 10^{-25} \text{ s}$
- Beschreibung mit **Breit-Wigner-Verteilung** (vgl. CgDA, Rechnernutzung)

$$f(E; E_0, \Gamma) = \frac{1}{\pi} \frac{\Gamma/2}{(E - E_0)^2 + (\Gamma/2)^2}$$

- Γ : volle Breite bei halber Höhe (full width at half maximum, FWHM)

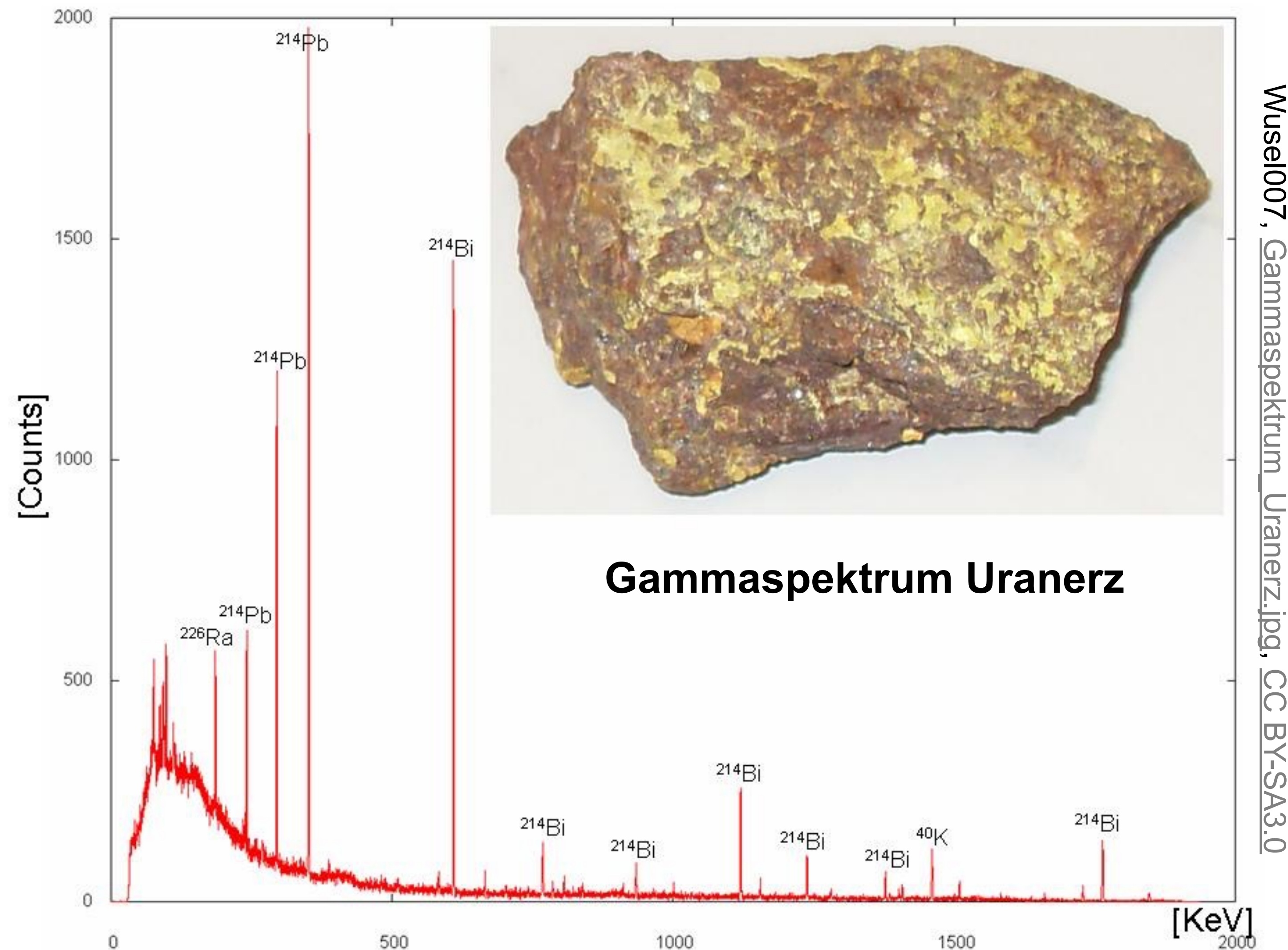


Phys. Rep. 427 (2006) 257

Gammastrahlung

- Gammastrahlung = **Photonenemission** angeregter Kerne:
 - ≥ 1 **monoenergetische** Photonen, Energiebereich 100 keV bis 10 MeV
 - gg-Kerne: große Anregungsenergie (Trennung gepaarter Nukleonen), alle anderen Kerne: „erreichbare“ Energieniveaus (Abstand einige 100 keV)
 - Typische Halbwertszeiten angeregter Kerne: **10^{-15} s bis 10^{-9} s**
- Abregung angeregter Kerne auch **ohne Photonemission** möglich:
 - **Innere Konversion**: Übertragung der Photonenenergie auf Hüllenelektron
→ diskretes Spektrum von **Konversionselektronen** mit $E_{\text{kin,e}} = E_{\gamma} - E_{b,e}$
→ Auffüllen der Leerstelle: Röntgenübergänge, **Auger-Meitner-Elektronen**
 - **Innere e^+e^- -Paarbildung** im Kernfeld falls $E_{\gamma} > 2m_e$

Gammaspektroskopie



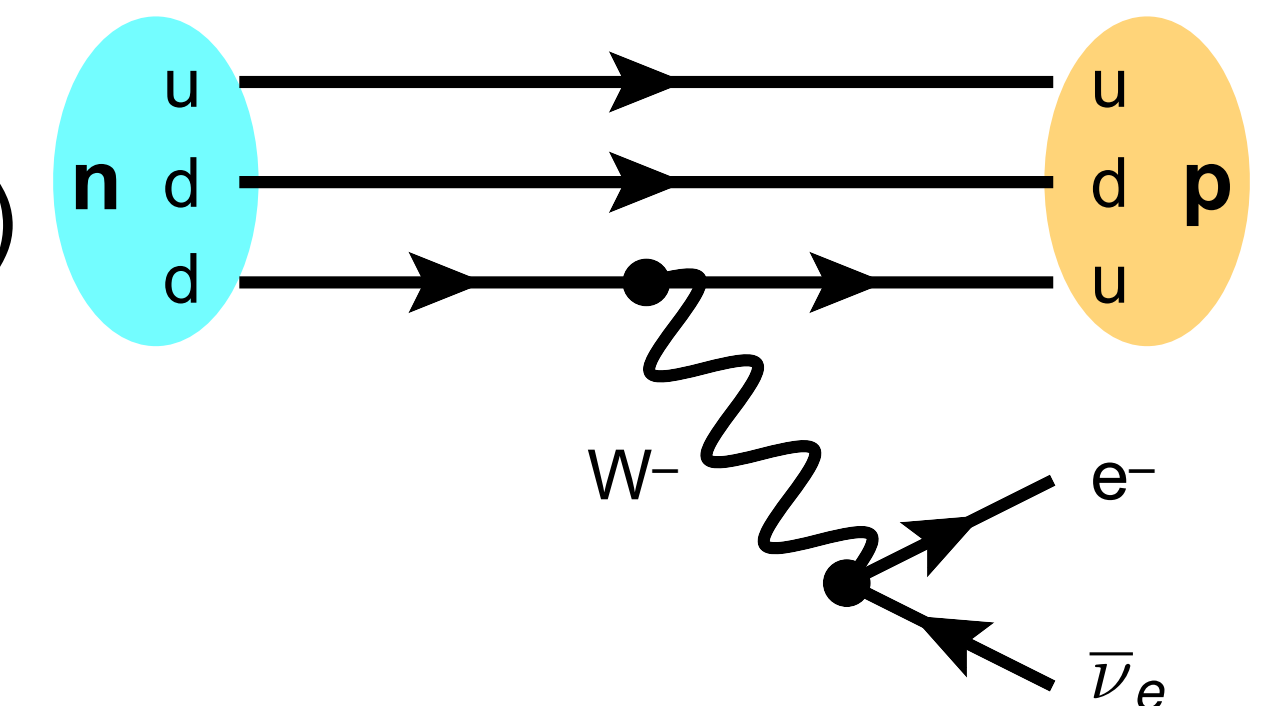
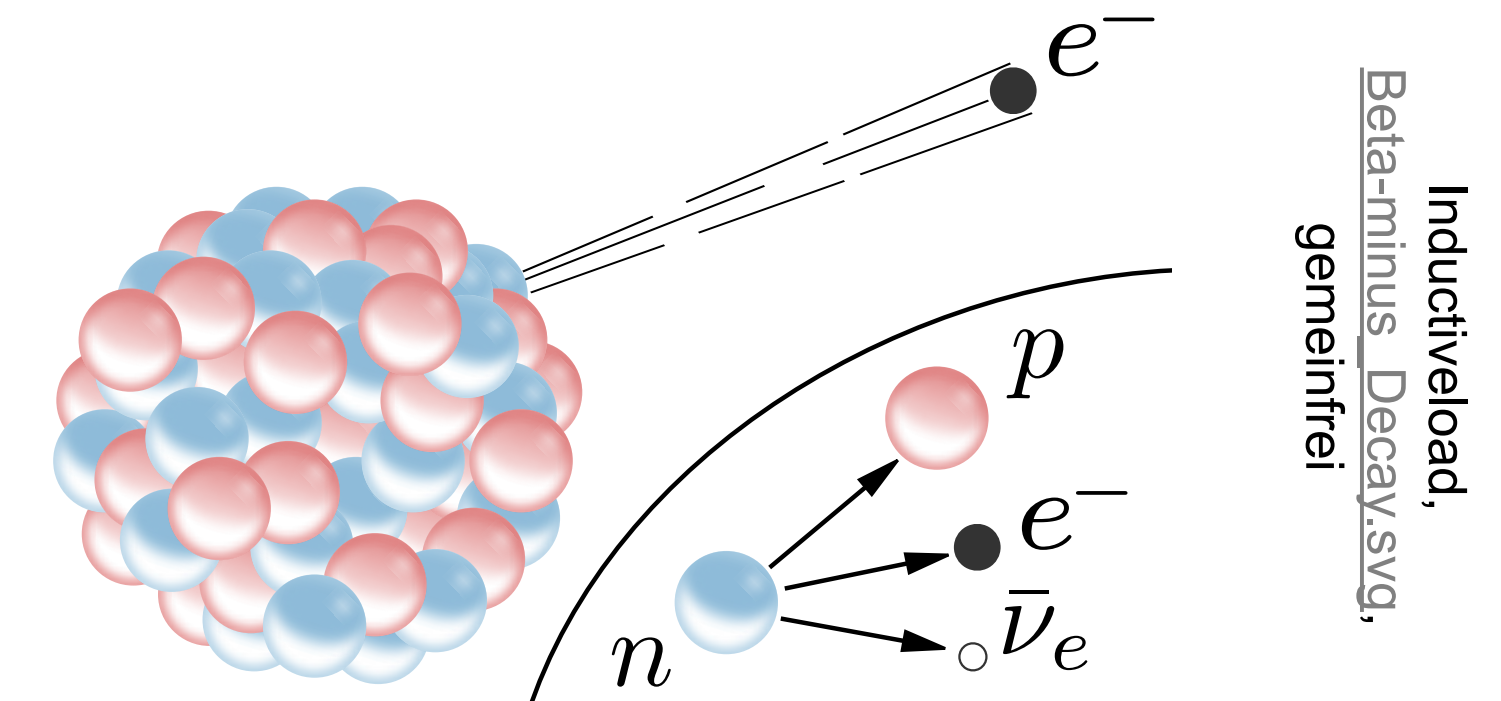
- **Spektrallinien**
→ Photonenenergie
- **Winkelverteilung**
relativ zum Kernspin
→ Quantenzahlen
(später)

Kurze Geschichte des β -Zerfalls

■ Forschungsgeschichte:

- 1911-1929: kontinuierliches Energiespektrum der β -Teilchen (Chadwick, Ellis & Wooster, ...)
- 1930: Neutrino-Postulat (Pauli)
- 1934: Theorie der schwachen Wechselwirkung (Fermi)
- 1948: Betastrahlung besteht aus Elektronen (Goldhaber, Scharff-Goldhaber)
- 1956: Entdeckung des Neutrinos (Reines, Cowan)
- 1956: Postulat der Paritätsverletzung im β -Zerfall (Lee, Yang)
- 1957: Nachweis Paritätsverletzung (Wu)
- 1958: Händigkeit des Neutrinos (Goldhaber, Grodzins, Sunyar)

■ Heutiges Verständnis: β -Zerfall = Prozess der elektroschwachen Wechselwirkung



Experimentelle Befunde

■ β -Energiespektrum:

- Erwartung für Zweikörperzerfall: **Linienpektrum**
- Beobachtung: **kontinuierliches** Energiespektrum mit Endpunkt E_0
→ Energieerhaltung verletzt?



James Chadwick:
Kontinuierliches Spektrum

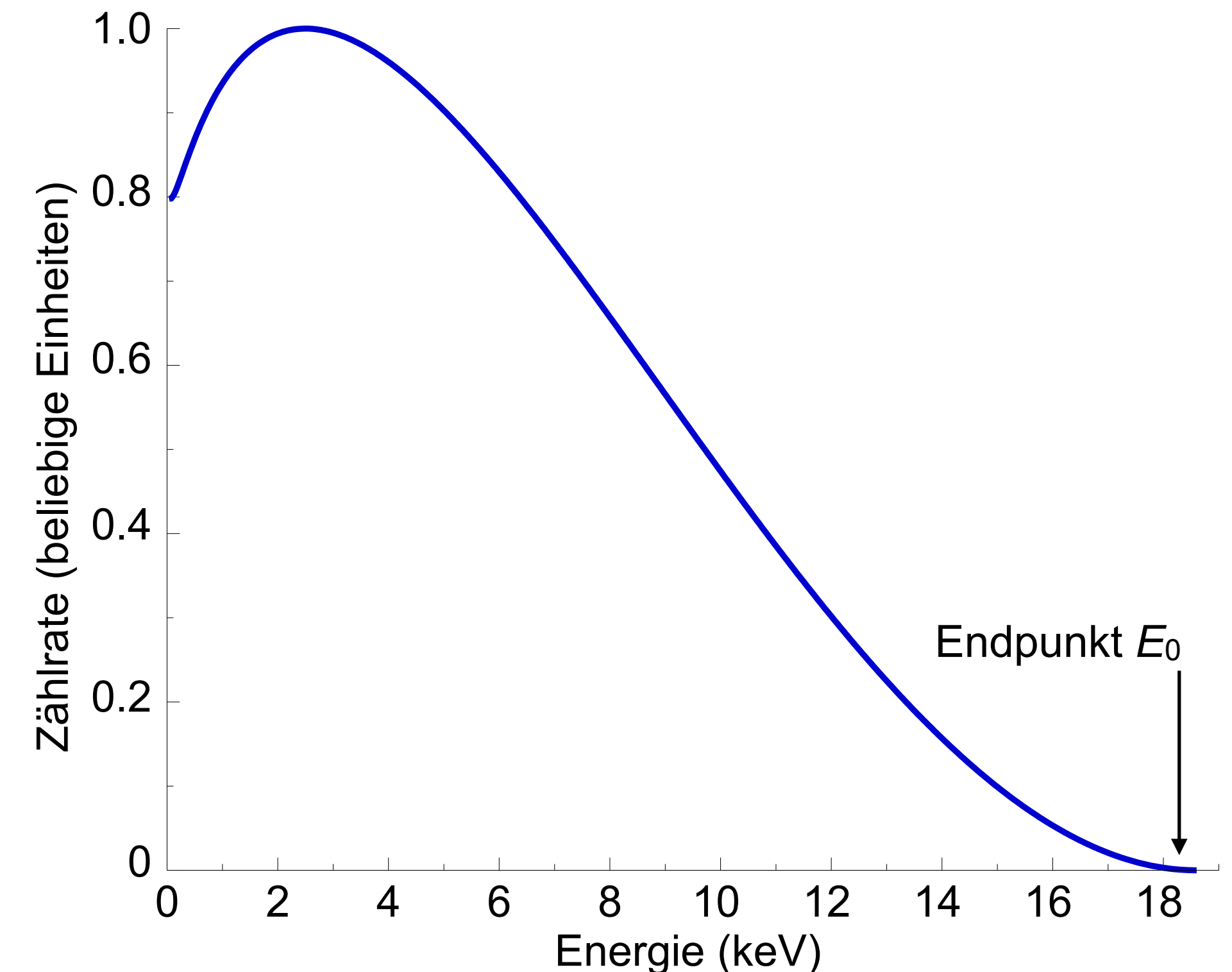


Lise Meitner:
Kontinuum ein Sekundäreffekt?



Charles D. Ellis
Mott: "practically discovered the neutrino"

Energiespektrum Elektronen für ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \text{e}^- + \nu_e$



Experimentelle Befunde

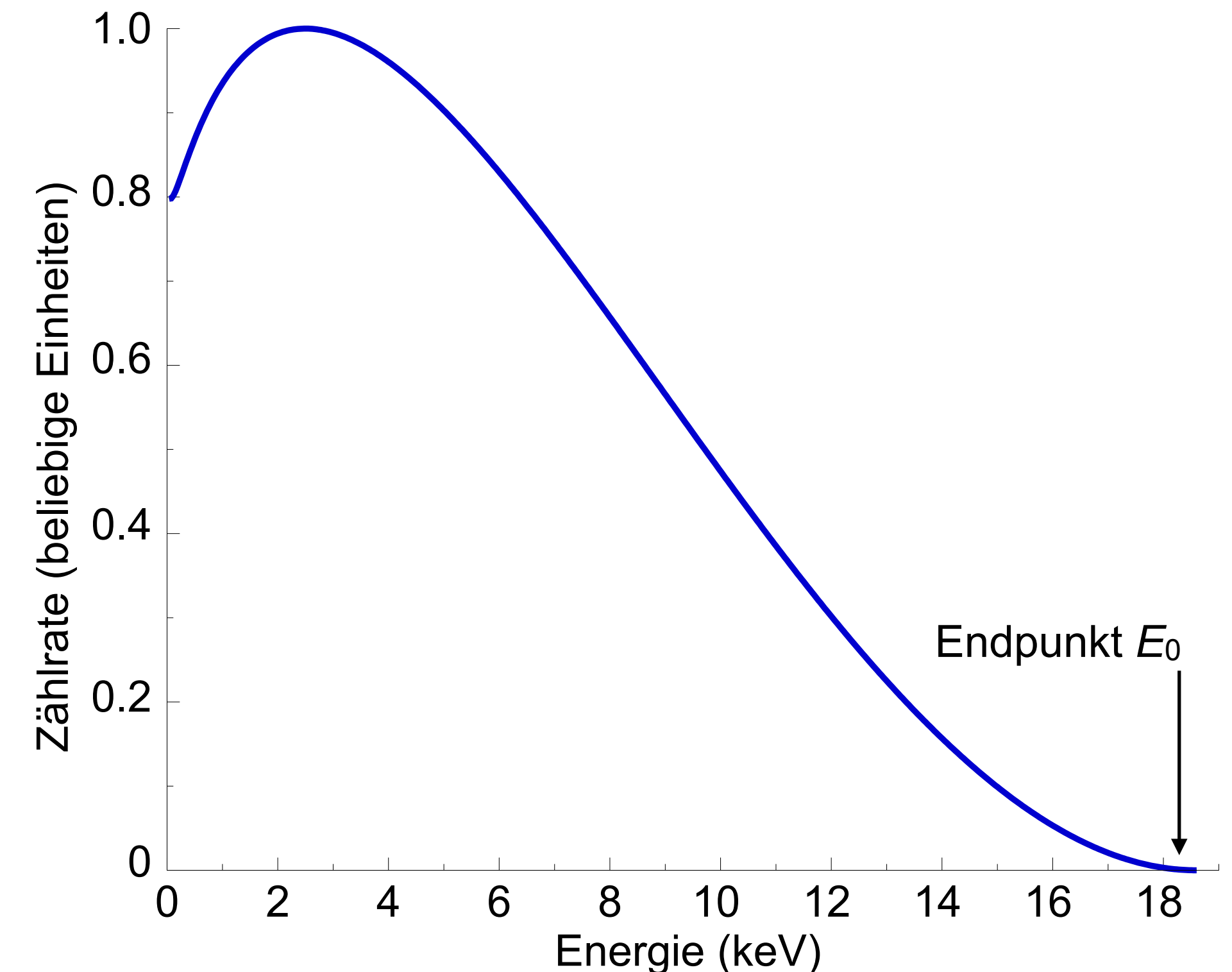
■ β -Energiespektrum:

- Erwartung für Zweikörperzerfall: **Linienpektrum**
- Beobachtung: **kontinuierliches** Energiespektrum mit Endpunkt E_0
→ Energieerhaltung verletzt?

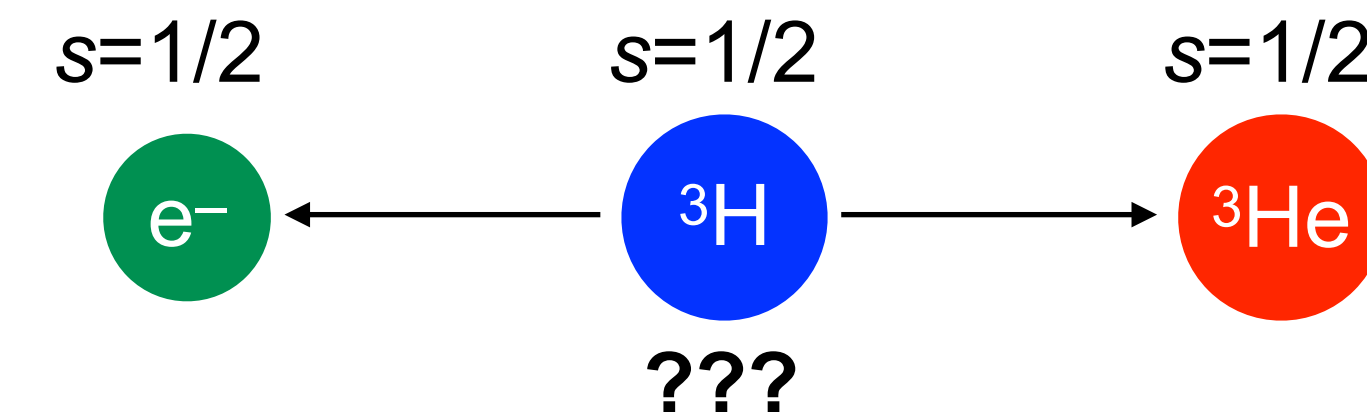
■ Drehimpulserhaltung im Zerfall:

- ^3H , ^3He und Elektron besitzen jeweils Spin $1/2$
- Drehimpulserhaltung verletzt?

Energiespektrum Elektronen für $^3\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + e^- + \nu_e$



nach Zykure, [KATRIN Spectrum.svg](#), CC BY-SA 3.0



1930: Paulis Neutrino-Hypothese

Original - Photocopy of PLC 0393
Abschrift/15.12.93 FN

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der
Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse



W. Pauli

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst
anzuhören bitte, Ihnen das näheren auseinandersetzen wird, bin ich
angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie
des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg
verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz
zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale
Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren,
welche den Spin $1/2$ haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und
sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie
nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen
müsste von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und
jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.- Das kontinuierliche
beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim
beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert
wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron
konstant ist.

Nun handelt es sich weiter darum, welche Kräfte auf die
Neutronen wirken. Das wahrscheinlichste Modell für das Neutron scheint
mir aus wellenmechanischen Gründen (näheres weiss der Ueberbringer
dieser Zeilen) dieses zu sein, dass das ruhende Neutron ein
magnetischer Dipol von einem gewissen Moment μ ist. Die Experimente
verlangen wohl, dass die ionisierende Wirkung eines solchen Neutrons
nicht grösser sein kann, als die eines gamma-Strahls und darf dann
wohl nicht grösser sein als $e \cdot (10^{-13} \text{ cm})$.

Paulis Erklärung für Energiespektrum der Elektronen im Betazerfall und Drehimpulserhaltung: neues sehr leichtes Spin-1/2-Teilchen

Ich traue mich vorläufig aber nicht, etwas über diese Idee
zu publizieren und wende mich erst vertrauensvoll an Euch, liebe
Radioaktive, mit der Frage, wie es um den experimentellen Nachweis
eines solchen Neutrons stünde, wenn dieses ein ebensolches oder etwa
10mal grösseres Durchdringungsvermögen besitzen würde, wie ein
gamma-Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Ausweg vielleicht von vornherein
wenig wahrscheinlich erscheinen wird, weil man die Neutronen, wenn
sie existieren, wohl schon längst gesehen hätte. Aber nur wer wagt,
diskutiert und der Ernst der Situation beim kontinuierliche beta-Spektrum
wird durch einen Ausspruch meines verehrten Vorgängers im Amt,
Herrn Debye, beleuchtet, der mir kürzlich in Brüssel gesagt hat:
"O, daran soll man am besten gar nicht denken, sowie an die neuen
Steuern." Darum soll man jeden Weg zur Rettung ernstlich diskutieren.-
Also, liebe Radioaktive, prüfet, und richtet.- Leider kann ich nicht
persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht
vom 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Balles hier unabkömmlich
bin.- Mit vielen Grüssen an Euch, sowie an Herrn Back, Euer
untertänigster Diener

ges. W. Pauli

z. B. in W. Pauli: Wissenschaftlicher Briefwechsel, Bd. II (Springer 1985)

Experimentelle Befunde

■ Auftreten von β -Zerfällen:

- **Neutronenreiche Kerne:** β^- -Zerfall
- **Protonenreiche Kerne:** β^+ -Zerfall und Elektroneneinfang

■ Lange Halbwertszeiten

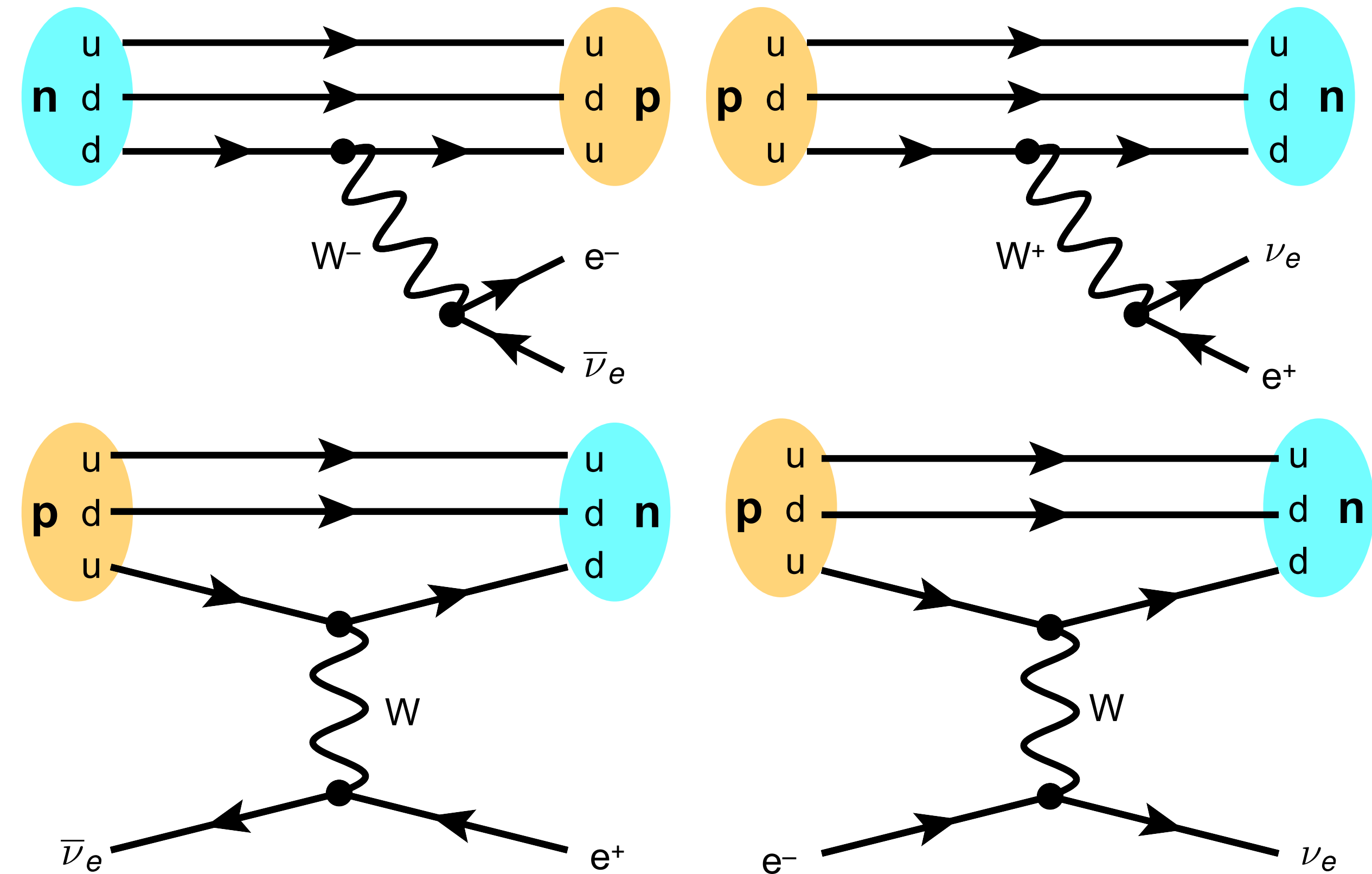
→ kleine **Übergangswahrscheinlichkeiten**

- $t_{1/2}$: Millisekunden bis 10^{17} Jahre (Vergleich: elektromagnetische Prozesse 10^{-12} s, starke Prozesse 10^{-24} s) → Prozess der **schwachen** Wechselwirkung
- Starke Abhängigkeit: Halbwertszeit skaliert mit Endpunktsenergie $\sim E_0^{-5}$ („Sargent-Regel“, empirisch gefunden in 1930 und später von Fermi erklärt)
- Anwendung: **Datierung** von organischen Materialien (^{14}C , bis ca. 50.000 Jahre) und Gestein (^{40}K , bis ca. 5 Millionen Jahre)

Isotop	E_0 (keV)	$t_{1/2}$
^3H	18,59	12,33 a
^{14}C	156,48	5730 a
^{40}K	1311,09	$1,277 \cdot 10^9$ a
^{90}Sr	546	28,79 a
^{131}I	970,8	8,02 d

β -Zerfall: Klassifizierung

- **β^- -Zerfall:** Neutronzerfall (frei oder im Kern) über W^- -Austausch
- **β^+ -Zerfall:** Protonzerfall (im Kern) über W^+ -Austausch
- **Inverser β -Zerfall:** Einfang Antineutrino durch Proton
- **Elektroneneinfang:** Einfang Hüllenelektron (meist K-Schale)



- **Q-Wert:**
freiwerdende kinetische Energie bei Zerfall in Ruhe

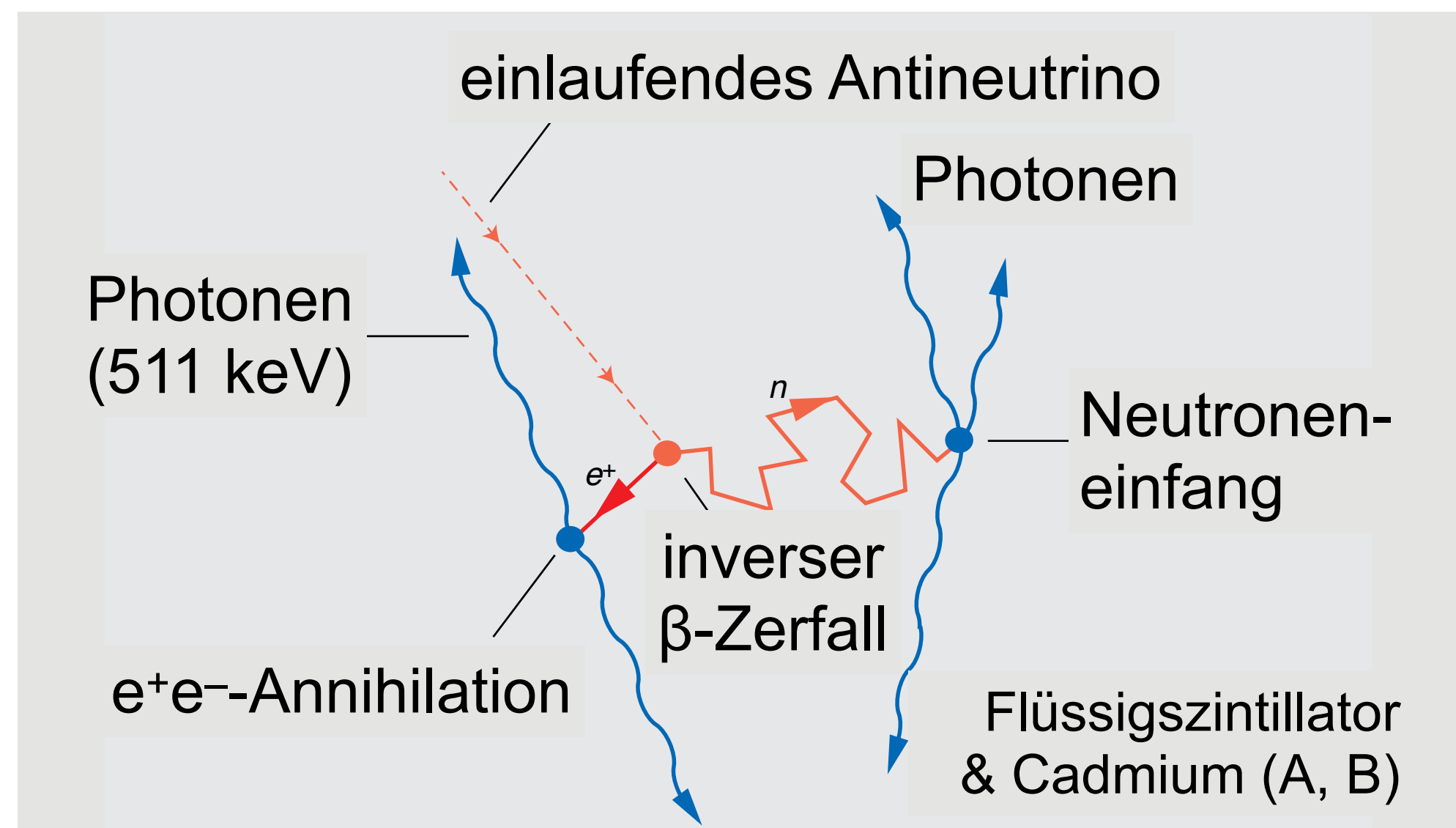
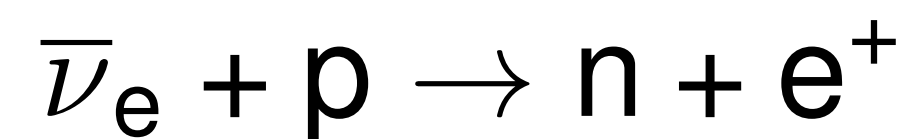
$$Q = \left(\sum m_i - \sum m_f \right) c^2$$

Neutrino nachweis

- Project Poltergeist: (Reines, Cowan, 1956)

- (Anti-)Neutrinoquelle:
Kernreaktor Savannah River

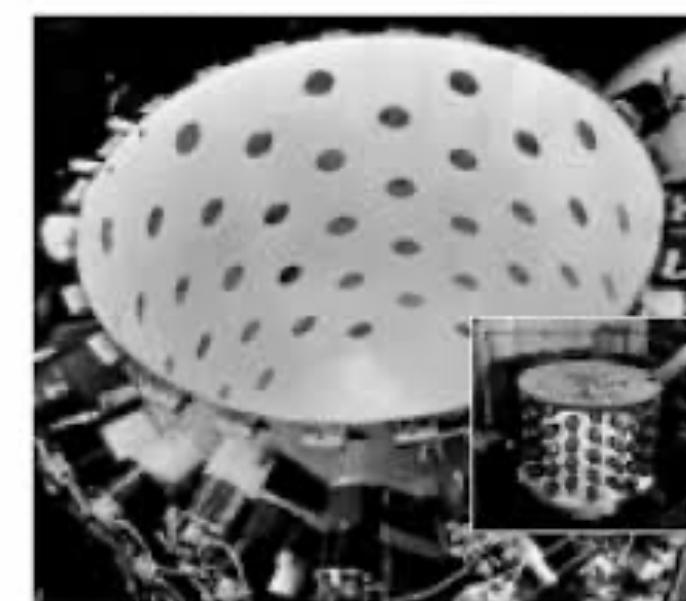
- Nachweis: inverser β -Zerfall



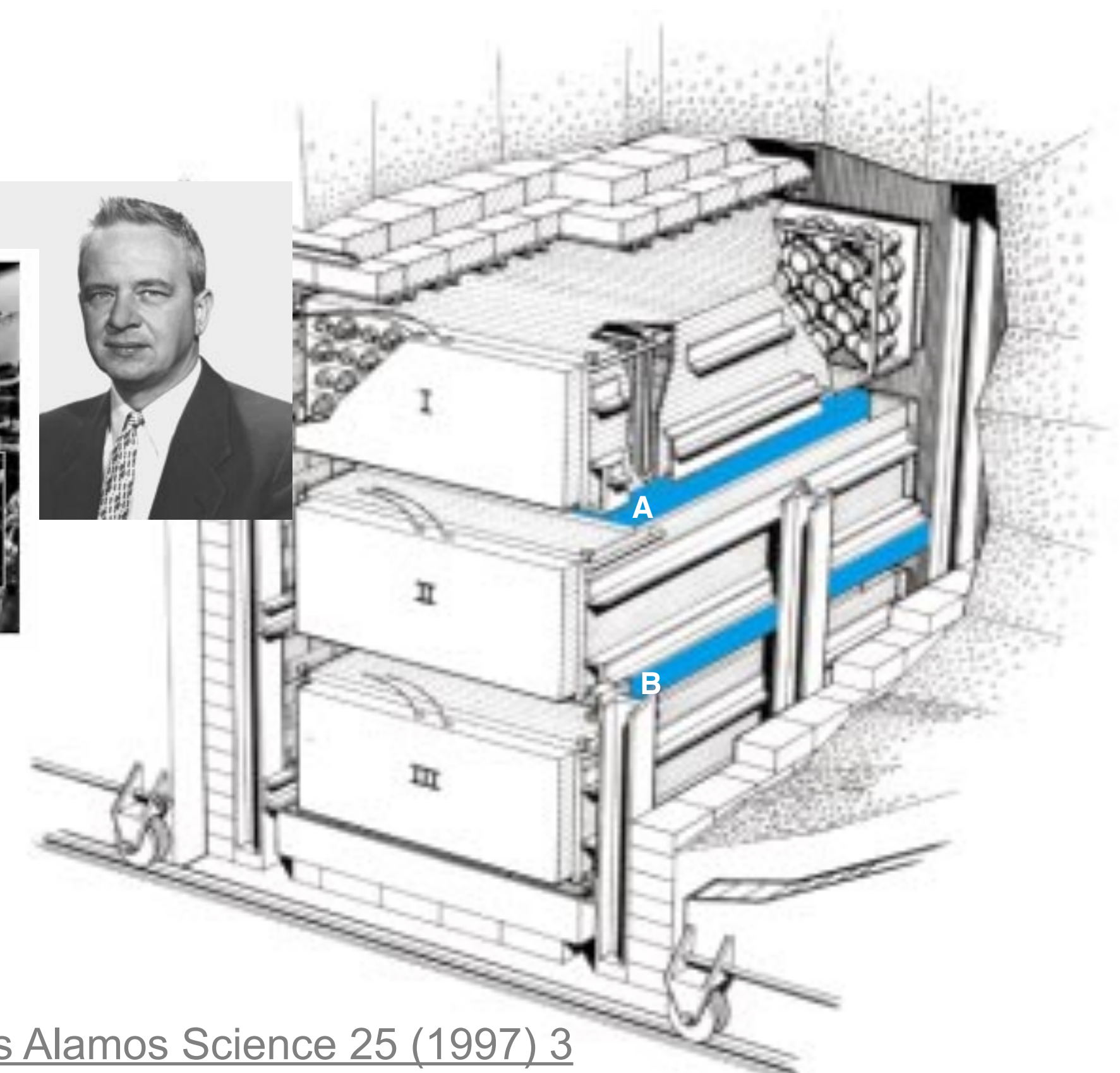
F. Reines



C.L. Cowan



“Herr Auge”



Los Alamos Science 25 (1997) 3

Isobaren-Zerfallskette

■ Bethe-Weizsäcker-Formel für Isobare: **Parabel**

$$E_{b,K}(Z) = c_1 - c_2 Z(Z - 1) - c_3 (N - Z)^2 + \begin{cases} +c_4 & gg \\ 0 & ug/gu \\ -c_4 & uu \end{cases}$$

■ Gerade A: **zwei Massenparabeln**

→ gg-Kerne stärker gebunden als uu-Kerne

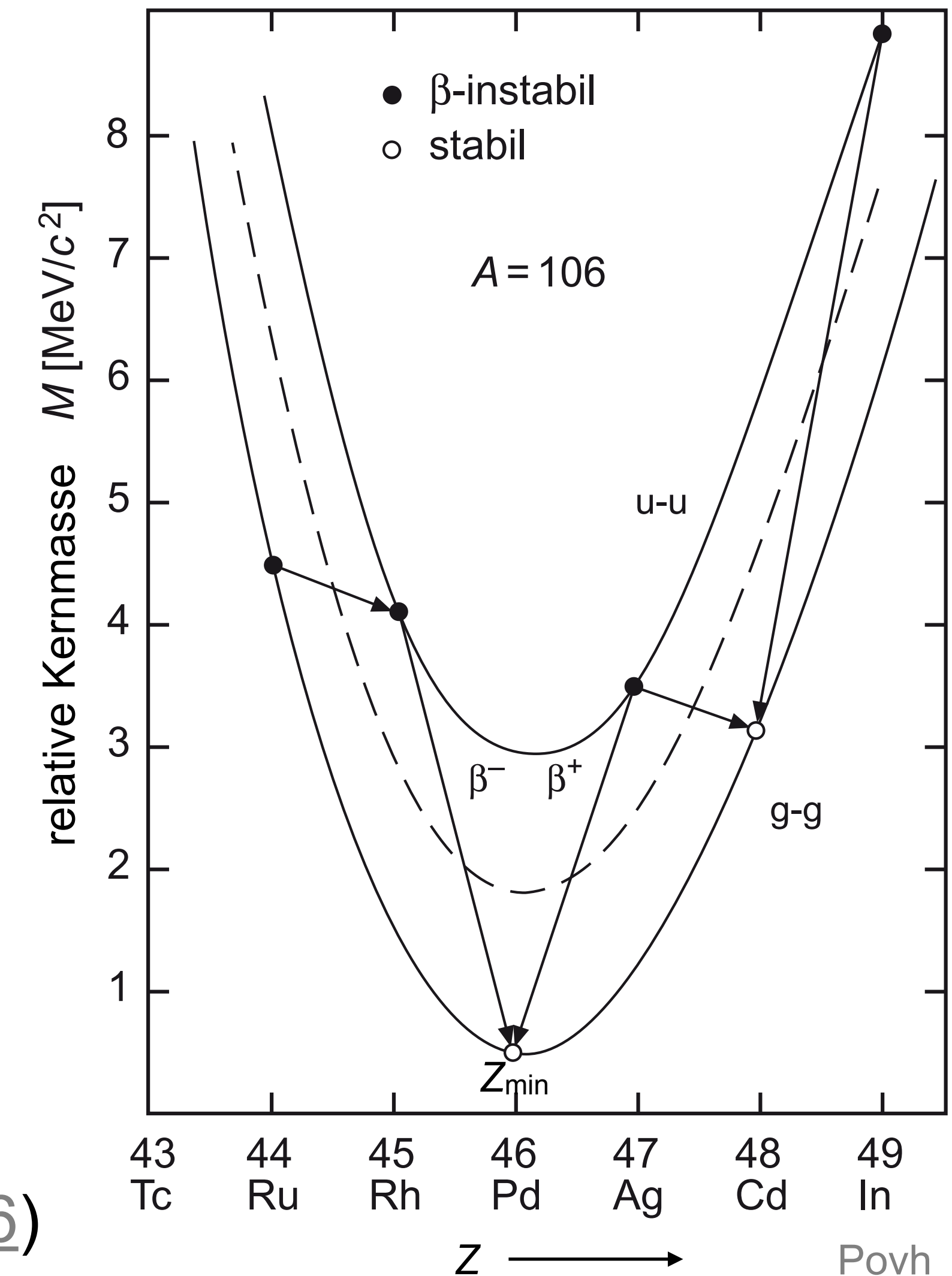
■ Ungerade A: nur **eine Massenparabel**

■ Stabilität von Kernen:

■ $Z < Z_{\min}$: β^- -Zerfall

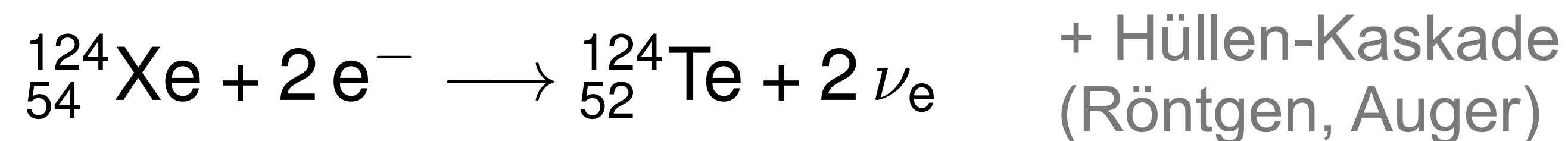
■ $Z > Z_{\min}$: Konkurrenz von β^+ -Zerfall und EC

■ Falls $\beta^\pm$ -Zerfall verboten: **doppelter β -Zerfall**, z. B. ^{76}Ge : $t_{1/2} = 1,926(94) \cdot 10^{21} \text{ a}$ ([EPJC 75 \(2015\) 416](#))



Kernphysik in der modernen Astroteilchenphysik

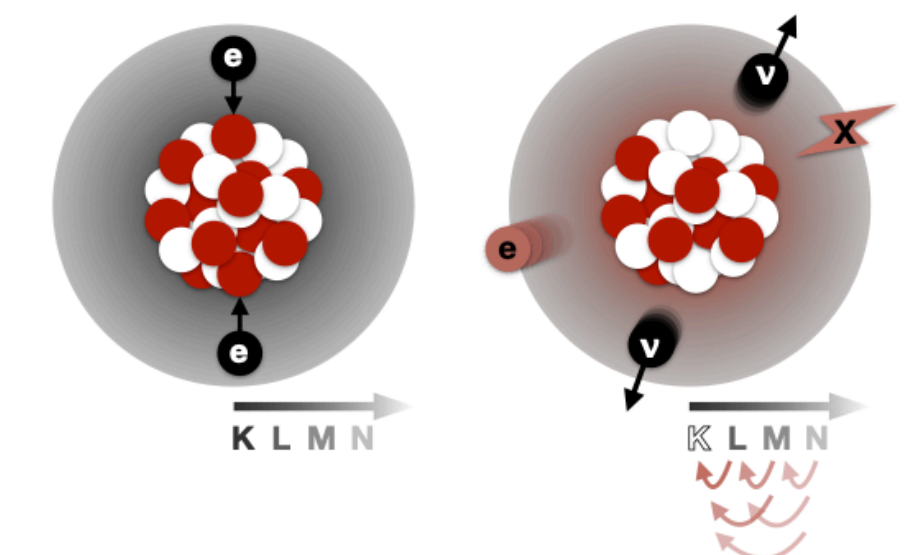
- XENON1T-Experiment zur direkten Suche nach Dunkler Materie (Gran-Sasso-Labor/Italien, unter ca. 1400 m Fels)
- Niedrige Untergrundrate große Detektormasse erlauben Suche nach extrem seltenen Ereignissen (nicht nur WIMPs)
- Time Projection Chamber (TPC) mit ca. 3,2 t Xenon (Doppel-EC-Isotop ^{124}Xe mit natürlichem Anteil 0.095%)
- 2019: “Langsamster” je direkt nachgewiesener Prozess



($t_{1/2} = 1.8 \times 10^{22}$ Jahre; 126 gezählte Ereignisse; 4.4σ)



XENON Collaboration,
Nature 568 (2019) 532 ([arXiv link](#))



Aufgabe 13

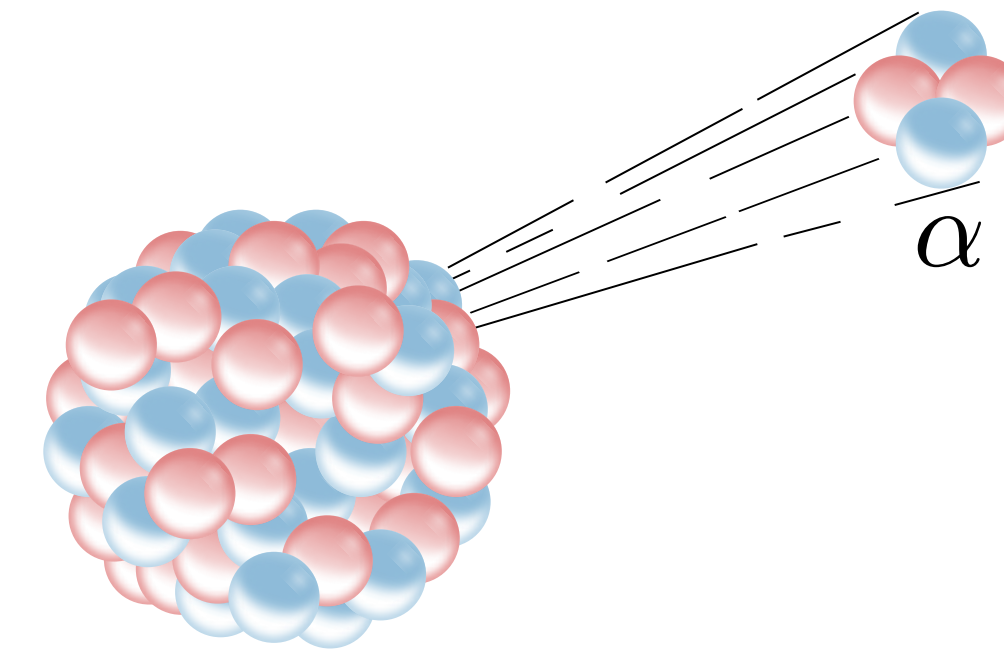
- Welche der folgenden Aussagen über den β -Zerfall sind korrekt?
- A. Aufgrund der Impulserhaltung ist das Energiespektrum der β -Teilchen diskret.
 - B. Das Energiespektrum der β -Teilchen hat einen charakteristischen Endpunkt.
 - C. Es gibt keine Nuklide, in denen sowohl β^- als auch β^+ -Zerfälle erlaubt sind.
 - D. Doppelte Zerfälle wie $2\nu\beta\beta$ und $2\nu\text{ECEC}$ können auftreten, Mischformen wie $2\nu\beta\text{EC}$ jedoch nicht.
 - E. Falls neutrinolose doppelte Zerfälle wie $0\nu\beta\beta$ und $0\nu\text{ECEC}$ auftreten, erwartet man für diese eine noch längere Halbwertszeit als für die Zerfälle mit 2ν .
- Bitte beantworten Sie die Frage anonym auf ILIAS: [\[link\]](#)

Zusammenfassung: β -Zerfall

- Beobachtung: Emission von **Elektronen mit kontinuierlichem Energiespektrum** aus Kern
 - Kleine Übergangswahrscheinlichkeiten → **neue „schwache“ Wechselwirkung**
 - Hypothese Zweikörperzerfall: Energie und Drehimpuls nicht erhalten
 - Lösung: **Neutrinohypothese** → leichtes neutrales Spin-1/2-Teilchen
- **Prozesse:**
 - $\beta^\pm$ -Zerfall, inverser β -Zerfall, Elektroneneinfang
 - Falls einfacher β -Zerfall verboten: doppelter β -Zerfall oder Elektroneneinfang
- Neutrinonachweis: inverser β -Zerfall → Signal: **verzögerte Koinzidenz**

Alphazerfall

- p und n auch in schweren Kernen mit ~ 8 MeV gebunden, aber α -Teilchen (= leichtestes und stark gebundenes System) liefert $E_{b,\alpha} = 28,3$ MeV
- Zweikörperzerfall:
 α -Teilchen **monoenergetisch**,
Energien **O(einige MeV)**
- Wechselwirkung mit Materie: **geringe Reichweite** ($\rightarrow$ leicht abschirmbar), aber **starke Ionisation** ($\rightarrow$ hohe Schädigung bei Einnahme)



Inductiveload, [Alpha_Decay.svg](#), gemeinfrei

Spuren von Alphateilchen in Nebelkammer



W. Finkelburg: [Einführung in die Atomphysik](#), Springer 1954

Anwendung Alphazerfall

- Prinzip des Ionisationsrauchmelders beruht auf der ionisierenden Wirkung von α -Strahlung (Spuren von ^{241}Am ; $A < 40 \text{ kBq}$; $t_{1/2} = 432 \text{ a}$)
- Ionisation von Luft in der Messkammer
→ kontinuierlicher Gleichstromfluss
- Eindringen von Rauch in die Kammer
→ Anlagerung großer Partikel an den Ionen
→ Stromstärke nimmt ab und löst Alarm aus
- Höhere Empfindlichkeit als photoelektrische (optische) Rauchmelder; wegen Auflagen (Strahlenschutz, Entsorgung) jedoch nur begrenzt eingesetzt



BfS / Firma Apollo

α -Zerfall und Tunneleffekt

■ Physikalisches Modell für α -Zerfall: **Tunneleffekt**

→ Alphateilchen tunnelt durch Coulombwall V_c des Restkerns

■ Zerfallskonstante abhängig von:

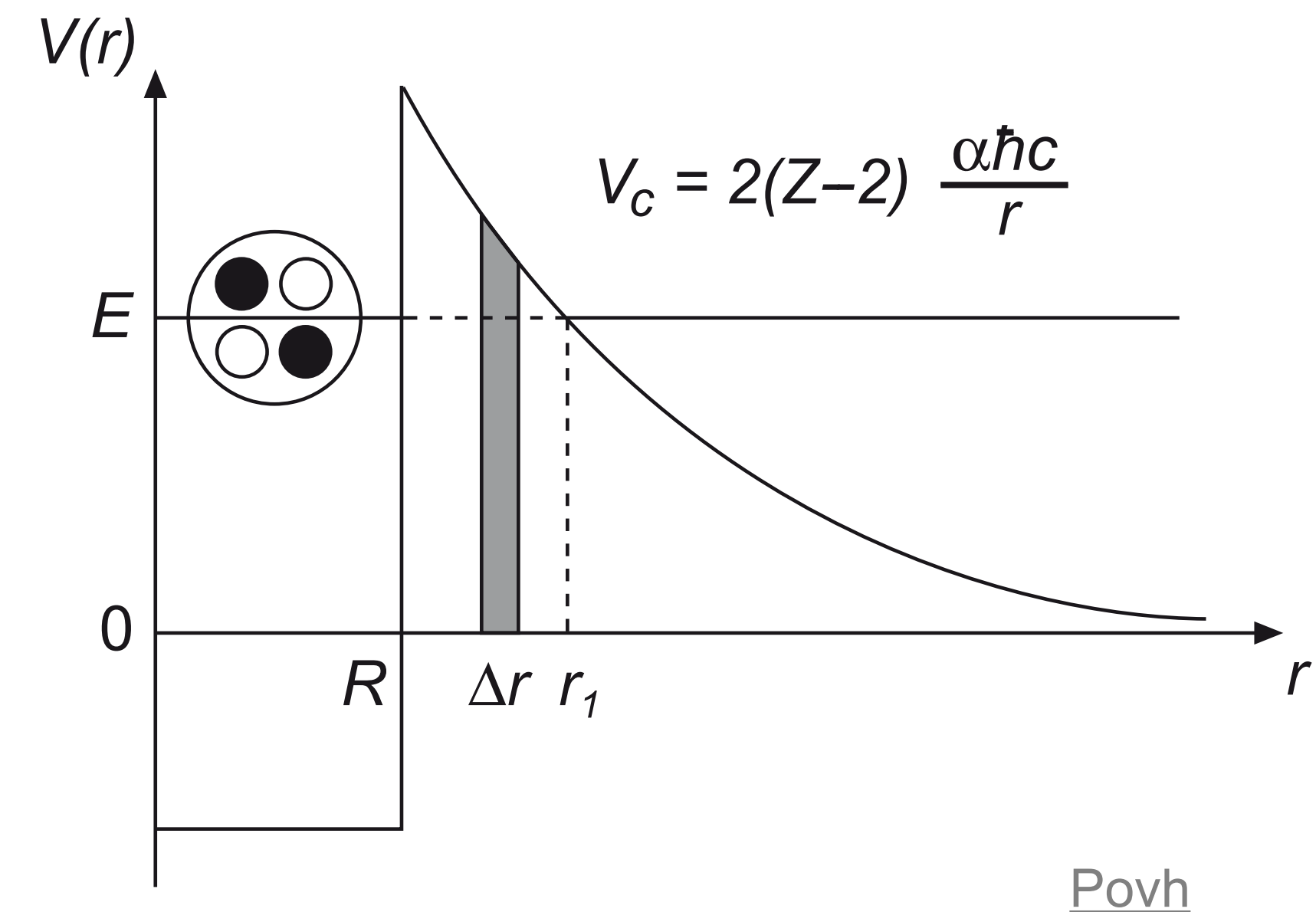
■ Bildungswahrscheinlichkeit p_α

■ Tunnelversuche pro Zeiteinheit („Kloppfrequenz“)

$$\nu_K = \frac{v_\alpha}{2R}$$

mit mittlerer Geschwindigkeit im Kern
(E_α boltzmannverteilt):

$$v_\alpha = \sqrt{2E_\alpha/m}$$

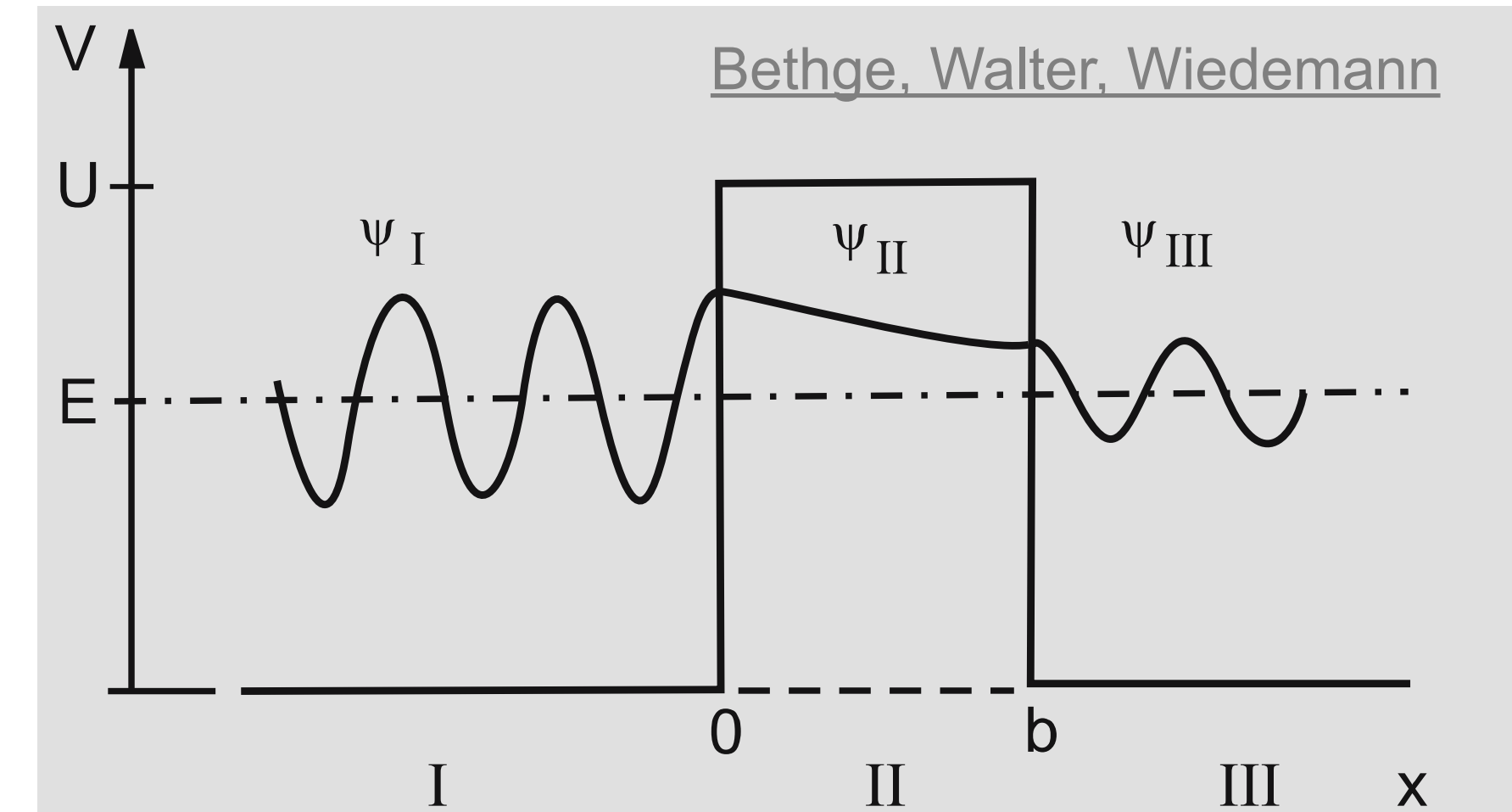


Povh

■ Transmissionswahrscheinlichkeit für Tunneleffekt (→ nächste Folie)

Transmissionswahrscheinlichkeit T

- Modell für Transmissionswahrscheinlichkeit:
 - Zerlegung des Walls in **Schichten** der Dicke b
 - Jede Schicht: Tunneln an **rechteckigem** Potenzialwall (1D) der Höhe U (vgl. QM I)
mit $U = V_C(r) = 2(Z - 2)\frac{\alpha\hbar c}{r}$
 - Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten
- Rechnung für eine Schicht:
 - Ansatz für Wellenfunktionen $\psi_{I,II,III}$ in Bereichen I, II, III
 - Stetigkeit von $\psi_{I,II,III}$ und (räumlicher) Ableitung $\psi'_{I,II,III}$ an Übergängen



$$T = \left(1 + \frac{U^2 \sinh^2(\kappa b)}{4E(U - E)} \right)^{-1}$$
$$\text{mit } \kappa = \frac{\sqrt{2m(U - E)}}{\hbar}$$
$$\text{für } \kappa b \gg 1 : T \approx \exp[-2\kappa b]$$

Gamow-Faktor & Zerfallskonstante

- Gesamttransmission: Integral über gesamten Coulombwall

$$T_{\text{ges}} \approx \exp \left[-\frac{2}{\hbar} \int_R^{r_1} \sqrt{2m(V_C(r) - E)} \, dr \right] \equiv \exp[-2G]$$

$$V_C(r) = 2(Z - 2) \frac{\alpha \hbar c}{r}$$

- Gamow-Faktor: $G \equiv \frac{1}{\hbar} \int_R^{r_1} \sqrt{2m(V_C(r) - E)} \, dr \approx \frac{\pi \cdot 2(Z - 2)\alpha}{\beta}$

- Zerfallskonstante für α -Zerfall: $\lambda = p_\alpha \cdot \frac{v_\alpha}{2R} \cdot \exp[-2G]$



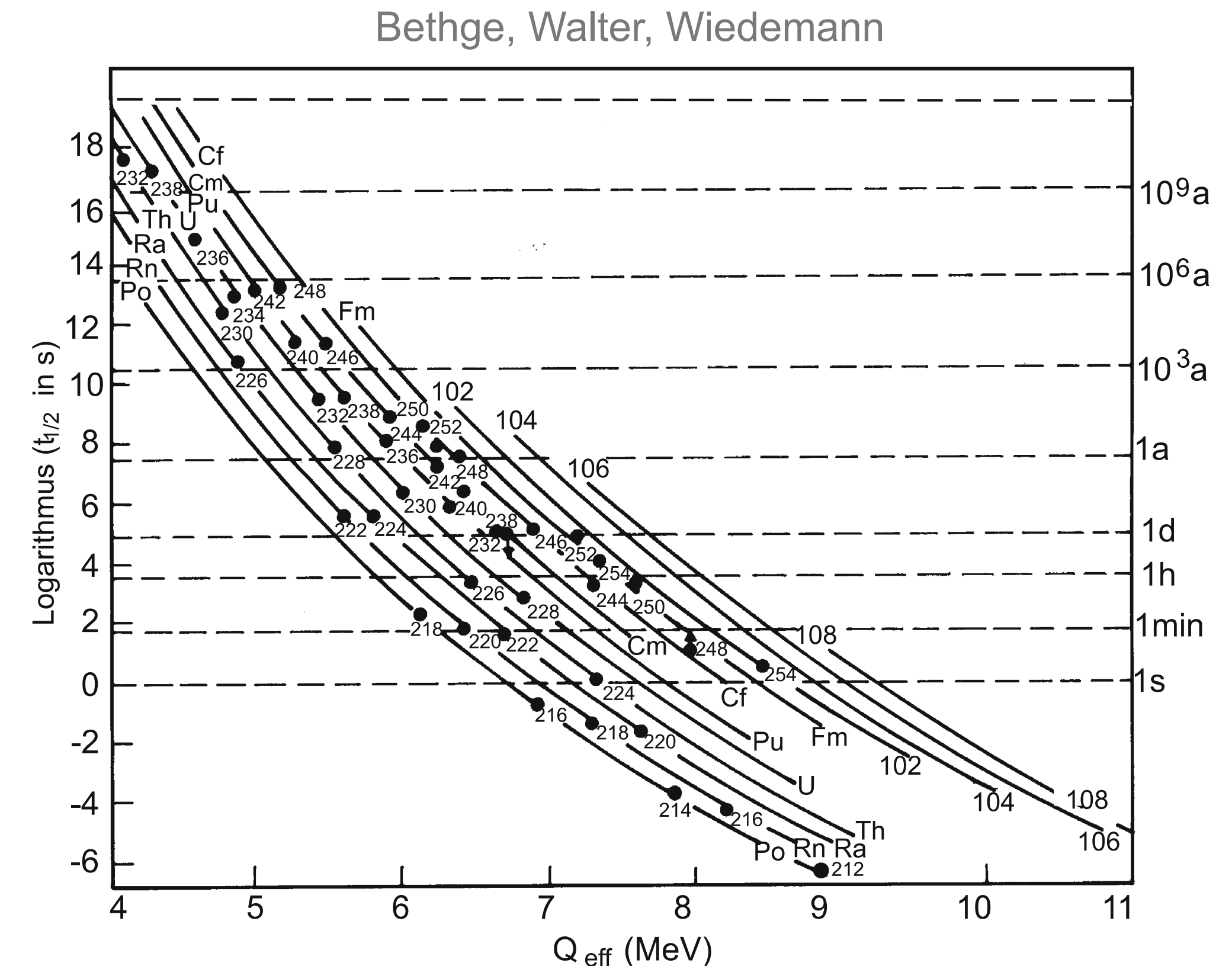
G. Gamow

aps.org

- Einer der ersten praktischen Erfolge der Wellenmechanik
- Ermöglicht Messung von Kernradien unabhängig von Streuung

Natürliche α -Zerfallsreihen

- Beobachtung: Die meisten α -Strahler sind Kerne schwerer als Blei.
- Energetisch ist α -Zerfall auch bei leichteren Kernen (bis ca. $A = 140$) möglich (nicht beobachtet, da frei werdende Energie klein $\rightarrow t_{1/2}$ groß, vgl. Gamow-Exponent).
- Beziehung zwischen Halbwertszeit und α -Energie (Geiger & Nuttall, 1911):



$$\log \left(\frac{t_{1/2}}{s} \right) = \frac{a(Z)}{\sqrt{E_{\alpha}/\text{MeV}}} + b(Z)$$

Natürliche α -Zerfallsreihen

- Ausgangspunkt: schwere Elemente (z. B. Supernova-Explosionen)

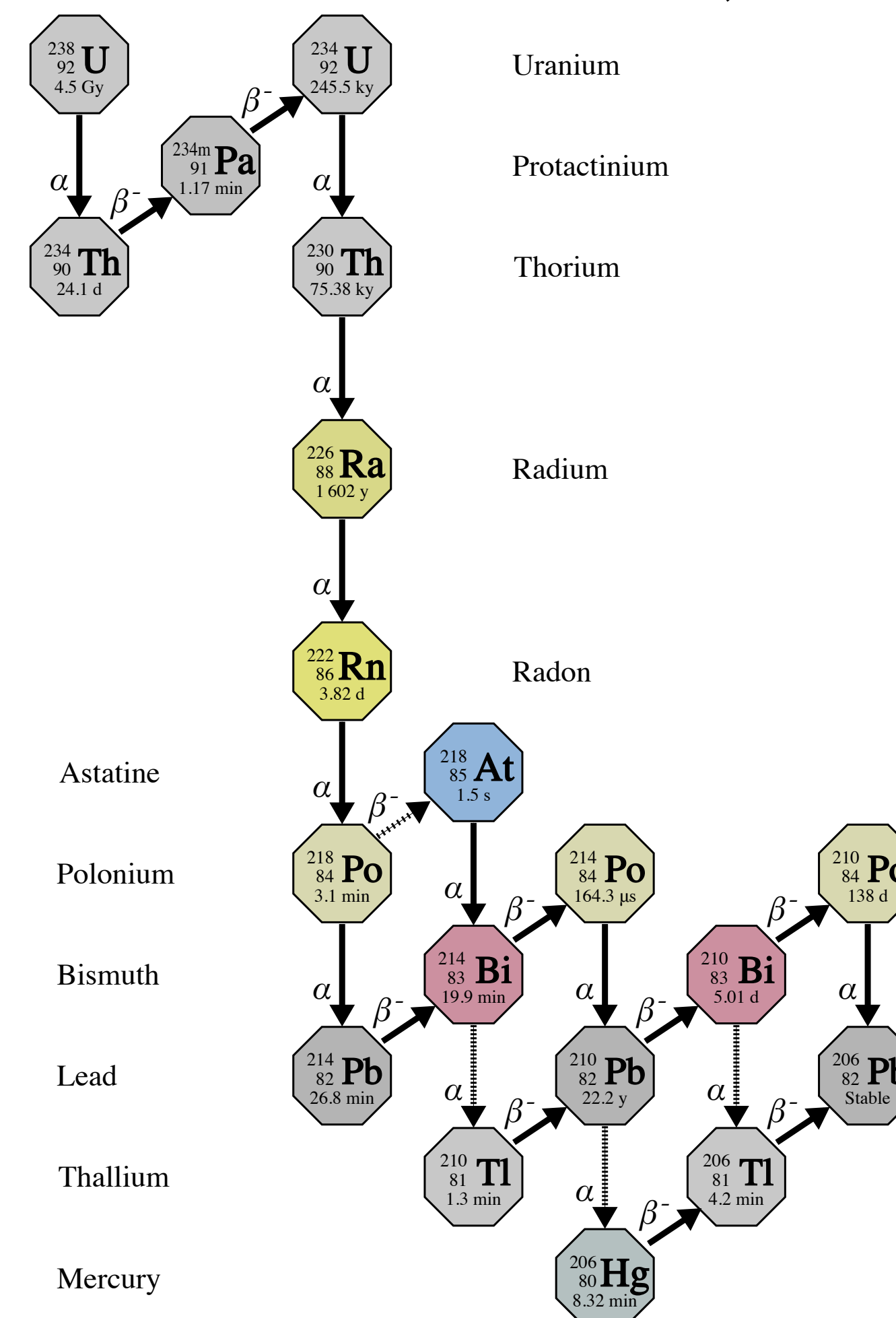
- Ketten von α - und β -Zerfällen:

- Uran-Radium-Reihe:
 $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$

- Neptunium-Reihe:
 $^{237}\text{Np} \rightarrow ^{209}\text{Bi}$

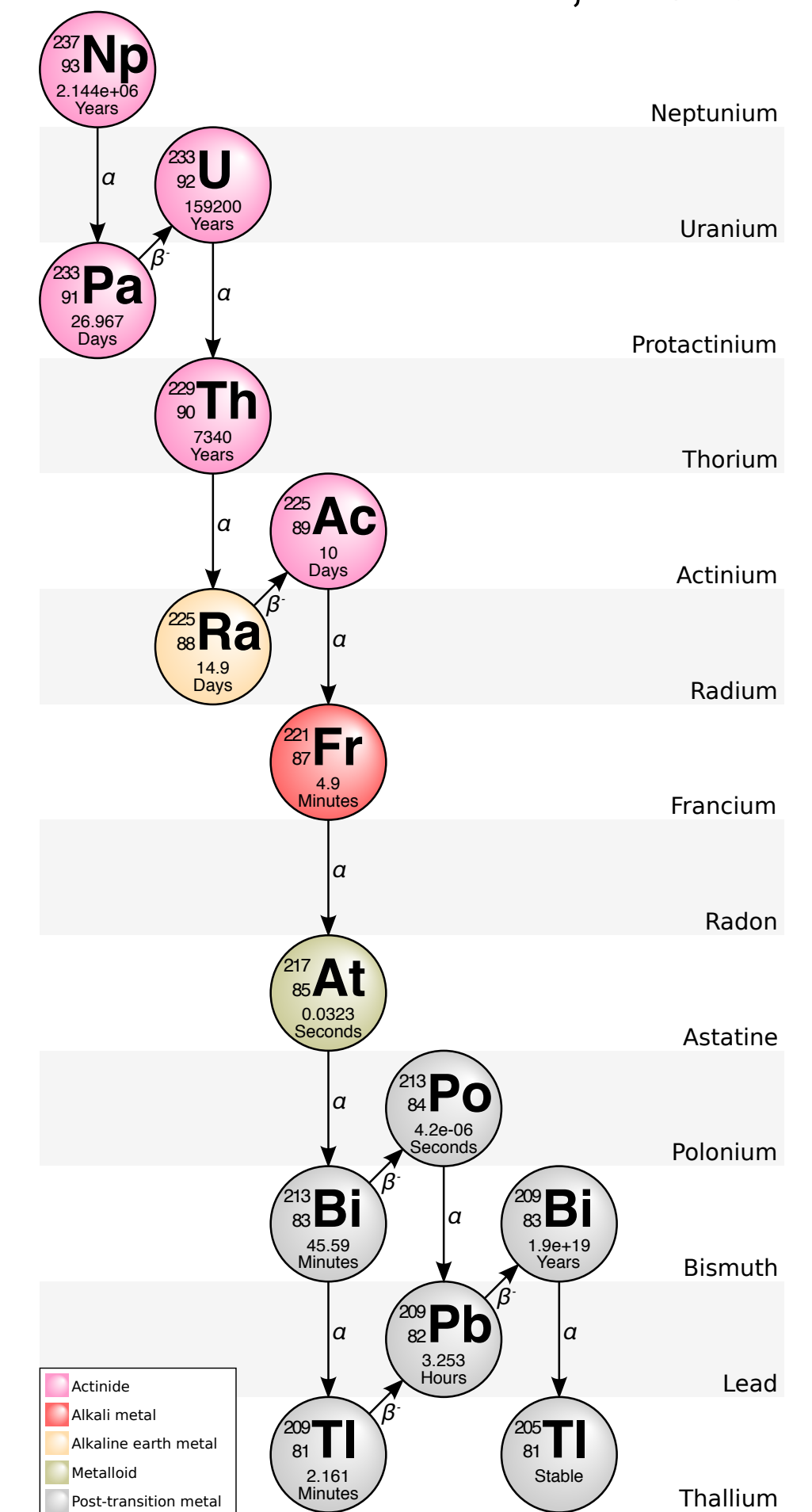
- Lange Halbwertszeit
 $\rightarrow$ radioaktives Gleichgewicht

Uran-Radium-Reihe $4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$



Tosaka, Decay_chain(4n%2B2, Uranium_series).svg, CC BY-SA 3.0

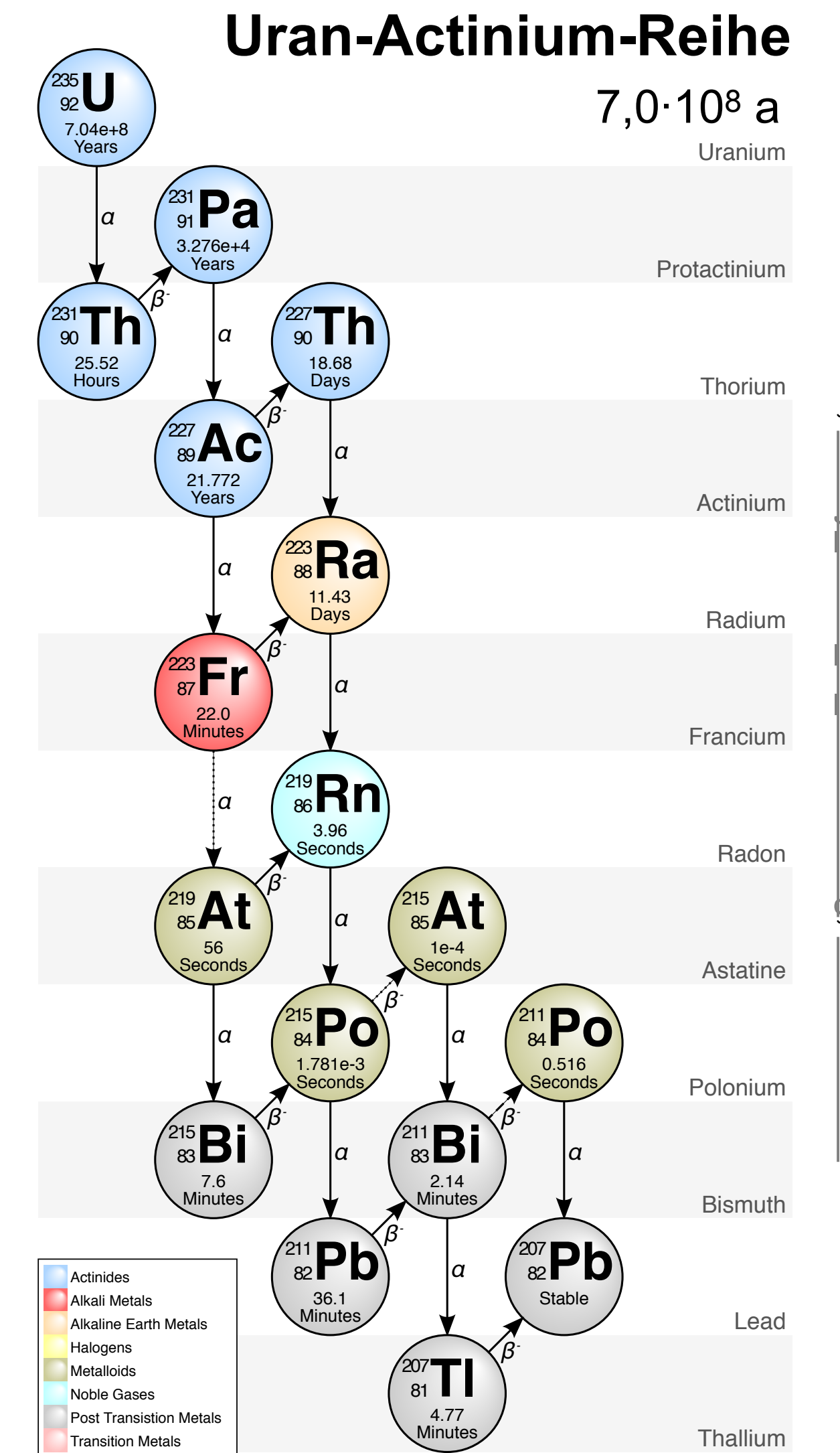
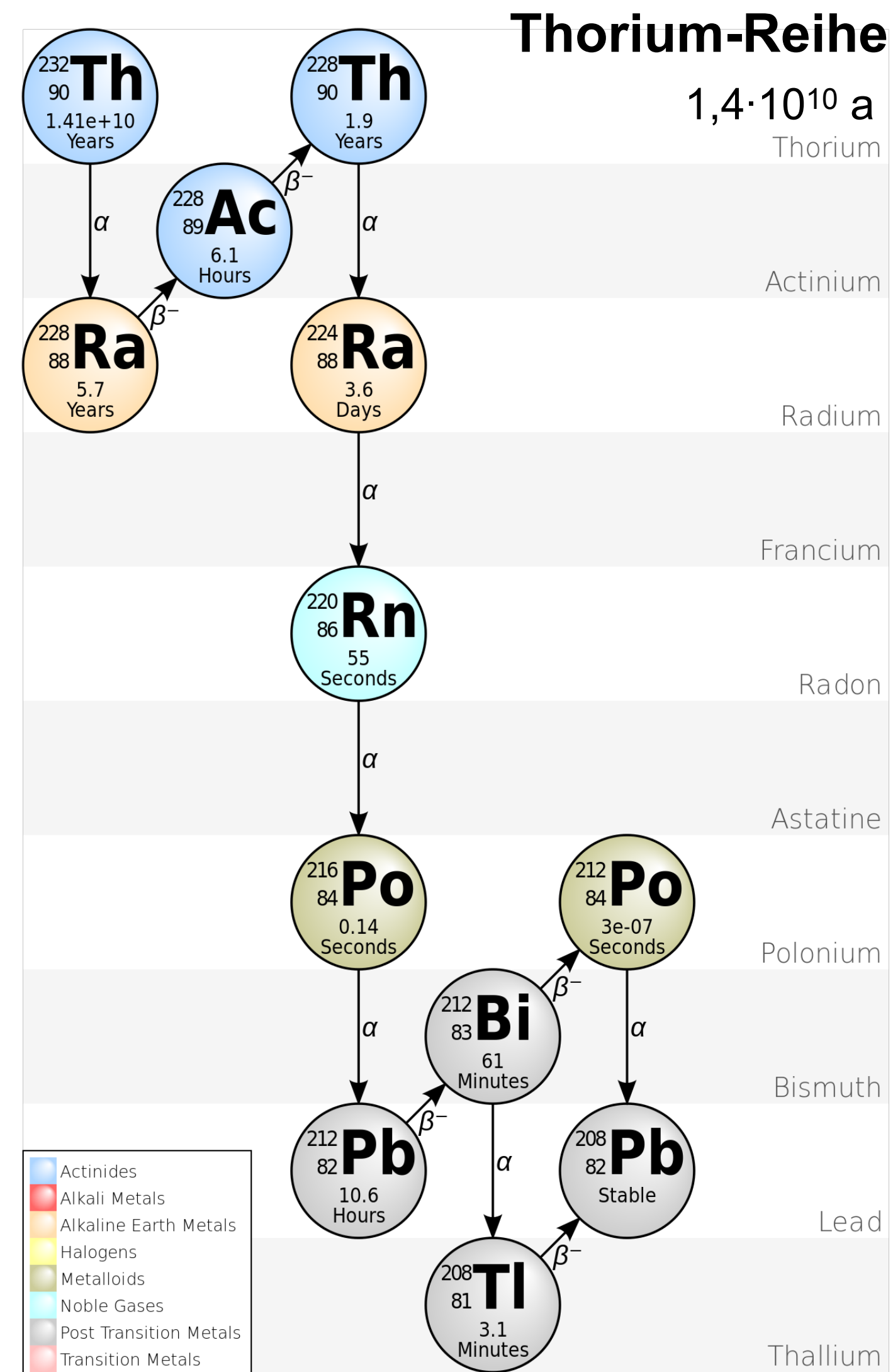
Neptunium-Reihe $2,1 \cdot 10^6 \text{ a}$



BatesBack, Decay_Chain(4n%2B1, Neptunium_Series).svg, CC BY-SA 3.0

Natürliche α -Zerfallsreihen

- Ausgangspunkt:
schwere Elemente (z. B.
Supernova-Explosionen)
- Ketten von α - und β -
Zerfällen:
 - Thorium-Reihe:
 $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$
 - Uran-Actinium-Reihe:
 $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$
- Lange Halbwertszeit
 $\rightarrow$ radioaktives
Gleichgewicht



BatesBack, Decay_Chain_Thorium.svg, CC BY-SA 3.0

E. Bohnet, Decay_Chain_of_Actinium.svg, CC-BY-SA 3.0

Aufgabe 14

■ Welche der folgenden Aussagen über α -Strahlung sind korrekt?

- A. α -Strahlung tritt vornehmlich in schweren Kernen auf.
- B. Aufgrund der Zerfallskinetik wird eine kontinuierliche Verteilung der Energien von Alphateilchen erwartet.
- C. Aufgrund der Zerfallskinetik werden diskrete α -Energien erwartet.
Pro Nuklid können auch mehrere α -Linien auftreten.
- D. Die Wahrscheinlichkeit für α -Strahlung ist proportional zur Tunnelwahrscheinlichkeit der Alphateilchen durch den „Coulombwall“.
- E. Die Zerfallsprodukte langlebiger α -Strahler wie Uran sind ein wichtiger Bestandteil der natürlichen Radioaktivität.

■ Bitte beantworten Sie die Frage anonym auf ILIAS [[link](#)]

Zusammenfassung: α -Zerfall

- Schwere Kerne: Bildung leichter, stark gebundener Systeme im Kern, besonders **Alphateilchen**
 - Freisetzung von Bindungsenergie durch Emission des Alphateilchens
 - Zweikörperzerfall: **monoenergetische α** , typische Energie: **einige MeV**
- Natürliche Radioaktivität: lange Halbwertszeit von α -Zerfällen steuert Zerfallsreihen schwerer Elemente → **radioaktives Gleichgewicht**
- Beschreibung des α -Zerfalls über **Tunneleffekt**:
 - Alphateilchen **tunnelt durch Coulombwall** des Restkerns
 - Zerfallskonstante abhängig von Wahrscheinlichkeit für Bildung des Alphateilchens, „Klopfrequenz“ und Transmissionswahrscheinlichkeit (Gamow-Faktor)