

# Schlüsselexperimente der Teilchenphysik: Die Entdeckung des Neutrons



Benjamin Bastian

Pflichtseminar  
Universität Heidelberg

30.Oktober 2015



- 1 Wissenschaftlicher Stand zur Zeit Chadwicks
  - Das Postulat des Neutrons
  - Neutronenquelle: Die Berylliumstrahlung
- 2 Experimente
  - Verwendete Geräte
  - Verhält sich die Strahlung wie ein Partikelstrom?
  - Welche Masse haben diese Partikel?
  - Wie reagiert das Neutron mit Materie?
- 3 Chadwicks Sicht aufs Neutron



# Inhaltsverzeichnis

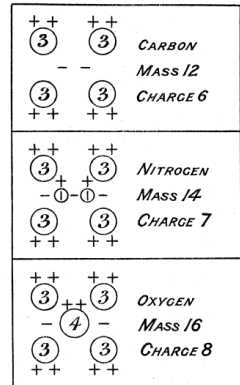
- 1 Wissenschaftlicher Stand zur Zeit Chadwicks
  - Das Postulat des Neutrons
  - Neutronenquelle: Die Berylliumstrahlung
- 2 Experimente
  - Verwendete Geräte
  - Verhält sich die Strahlung wie ein Partikelstrom?
  - Welche Masse haben diese Partikel?
  - Wie reagiert das Neutron mit Materie?
- 3 Chadwicks Sicht aufs Neutron



# Entdeckung von ${}^3\text{He}$

## Abbildung: Rutherfords Vorstellung der Kernstruktur

- Entdeckung von  ${}^3\text{He}$



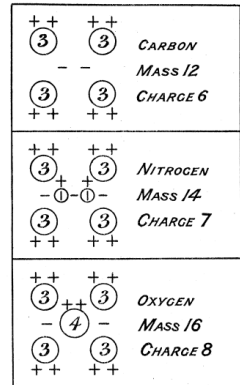
[Rutherford, Proc. Roy. Soc. vol.97, p. 374, 1920]



# Entdeckung von ${}^3\text{He}$

## Abbildung: Rutherfords Vorstellung der Kernstruktur

- Entdeckung von  ${}^3\text{He}$
- Mögliche Existenz eines Neutron



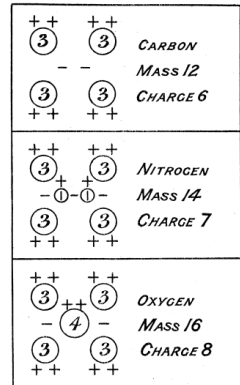
[Rutherford, Proc. Roy. Soc. vol.97, p. 374, 1920]



# Entdeckung von ${}^3\text{He}$

## Abbildung: Rutherfords Vorstellung der Kernstruktur

- Entdeckung von  ${}^3\text{He}$
- Mögliche Existenz eines Neutron
- $p^+ + e^- \longrightarrow n^0$



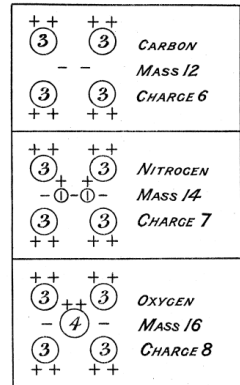
[Rutherford, Proc. Roy. Soc. vol.97, p. 374, 1920]



# Entdeckung von ${}^3\text{He}$

## Abbildung: Rutherfords Vorstellung der Kernstruktur

- Entdeckung von  ${}^3\text{He}$
- Mögliche Existenz eines Neutron
- $p^+ + e^- \longrightarrow n^0$
- Partikel der Masse  $m_n \approx m_p$  und Ladung 0



[Rutherford, Proc. Roy. Soc. vol.97, p. 374, 1920]



# Inhaltsverzeichnis

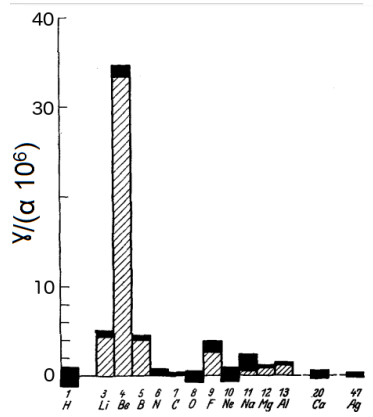
- 1 Wissenschaftlicher Stand zur Zeit Chadwicks
  - Das Postulat des Neutrons
  - Neutronenquelle: Die Berylliumstrahlung
- 2 Experimente
  - Verwendete Geräte
  - Verhält sich die Strahlung wie ein Partikelstrom?
  - Welche Masse haben diese Partikel?
  - Wie reagiert das Neutron mit Materie?
- 3 Chadwicks Sicht aufs Neutron



# Auffälligkeiten

- Erzeugung von Sekundärstrahlung durch Alphastrahlung

Abbildung: Strahlungsausbeute beim Beschuss mit  $\alpha$ -Teilchen



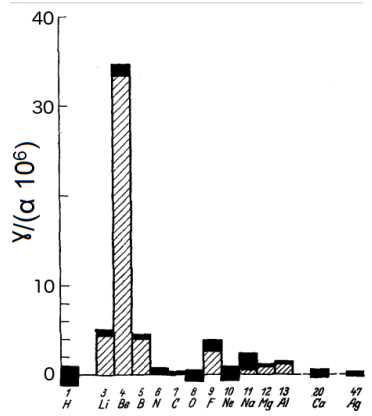
[Z. Physik vol. 66, p. 289, 1930]



# Auffälligkeiten

- Erzeugung von Sekundärstrahlung durch Alphastrahlung
  - z.B.:  ${}^9_4\text{Be} + \alpha \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + \gamma$

Abbildung: Strahlungsausbeute beim Beschuss mit  $\alpha$ -Teilchen



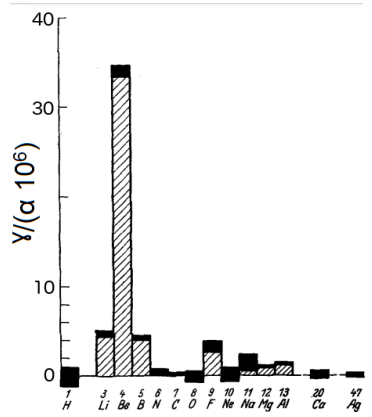
[Z. Physik vol. 66, p. 289, 1930]



# Auffälligkeiten

- Erzeugung von Sekundärstrahlung durch Alphastrahlung
  - z.B.:  ${}^9_4\text{Be} + \alpha \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + \gamma$
- Bei Beryllium fiel auf:
  - Hohe Strahlungsausbeute bzw. Intensität [Bothe, Becker]

Abbildung: Strahlungsausbeute beim Beschuss mit  $\alpha$ -Teilchen



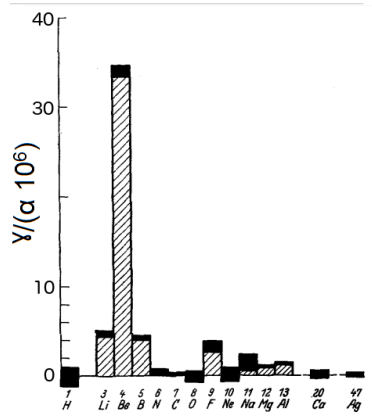
[Z. Physik vol. 66, p. 289, 1930]



# Auffälligkeiten

- Erzeugung von Sekundärstrahlung durch Alphastrahlung
  - z.B.:  ${}^9_4\text{Be} + \alpha \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + \gamma$
- Bei Beryllium fiel auf:
  - Hohe Strahlungsausbeute bzw. Intensität [Bothe, Becker]
  - Hohes Durchdringungsvermögen [Webster]

Abbildung: Strahlungsausbeute beim Beschuss mit  $\alpha$ -Teilchen



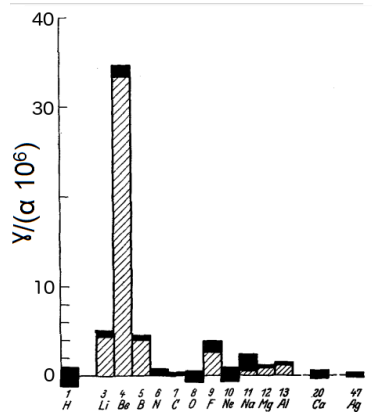
[Z. Physik vol. 66, p. 289, 1930]



# Auffälligkeiten

- Erzeugung von Sekundärstrahlung durch Alphastrahlung
  - z.B.:  ${}^9_4\text{Be} + \alpha \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + \gamma$
- Bei Beryllium fiel auf:
  - Hohe Strahlungsausbeute bzw. Intensität [Bothe, Becker]
  - Hohes Durchdringungsvermögen [Webster]
  - **Beobachtung mit Paraffinwachs** [Joliot-Curie, Joliot]

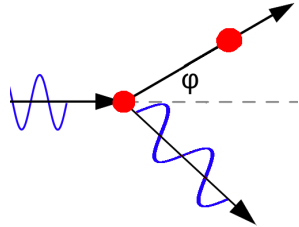
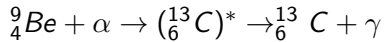
Abbildung: Strahlungsausbeute beim Beschuss mit  $\alpha$ -Teilchen



[Z. Physik vol. 66, p. 289, 1930]



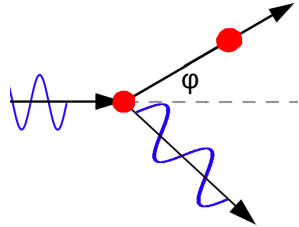
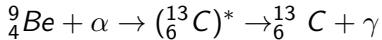
# Probleme bei der Beschreibung



[<https://de.wikipedia.org/wiki/Compton-Effekt>]



# Probleme bei der Beschreibung

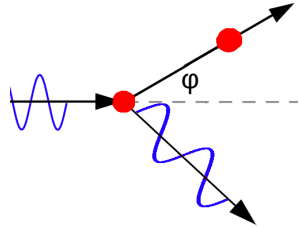
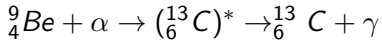


[<https://de.wikipedia.org/wiki/Compton-Effekt>]

- Winkelverteilung der gestreuten Protonen inkompatibel mit Comptonstreuung



# Probleme bei der Beschreibung

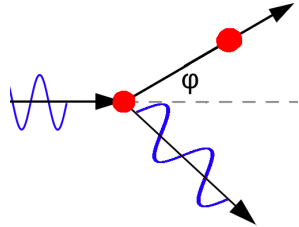
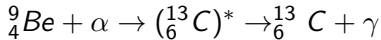


[<https://de.wikipedia.org/wiki/Compton-Effekt>]

- Winkelverteilung der gestreuten Protonen inkompatibel mit Comptonstreuung
- Energiebilanz:  $m_{\text{Be}} \cdot c^2 + m_{\alpha} \cdot c^2 + E_{\text{kin},\alpha} = m_{\text{C}} \cdot c^2 + E_{\gamma}$



# Probleme bei der Beschreibung

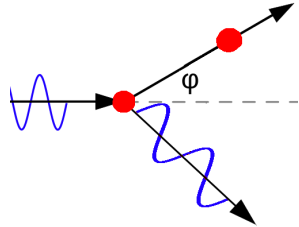
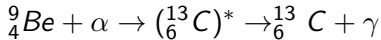


[<https://de.wikipedia.org/wiki/Compton-Effekt>]

- Winkelverteilung der gestreuten Protonen inkompatibel mit Comptonstreuung
- Energiebilanz:  $m_{\text{Be}} \cdot c^2 + m_{\alpha} \cdot c^2 + E_{\text{kin},\alpha} = m_{\text{C}} \cdot c^2 + E_{\gamma}$ 
  - Obere Abschätzung:  $E_{\gamma} \leq 14\text{MeV}$



# Probleme bei der Beschreibung



[<https://de.wikipedia.org/wiki/Compton-Effekt>]

- Winkelverteilung der gestreuten Protonen inkompatibel mit Comptonstreuung
- Energiebilanz:  $m_{\text{Be}} \cdot c^2 + m_{\alpha} \cdot c^2 + E_{\text{kin},\alpha} = m_{\text{C}} \cdot c^2 + E_{\gamma}$ 
  - Obere Abschätzung:  $E_{\gamma} \leq 14\text{MeV}$
  - Gemessen:  $E_{\gamma} \approx 50\text{MeV} !!!$

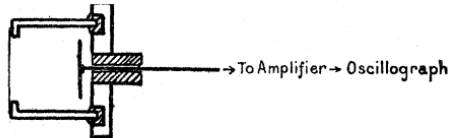
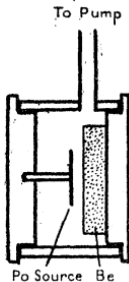


# Inhaltsverzeichnis

- 1 Wissenschaftlicher Stand zur Zeit Chadwicks
  - Das Postulat des Neutrons
  - Neutronenquelle: Die Berylliumstrahlung
- 2 Experimente
  - Verwendete Geräte
  - Verhält sich die Strahlung wie ein Partikelstrom?
  - Welche Masse haben diese Partikel?
  - Wie reagiert das Neutron mit Materie?
- 3 Chadwicks Sicht aufs Neutron



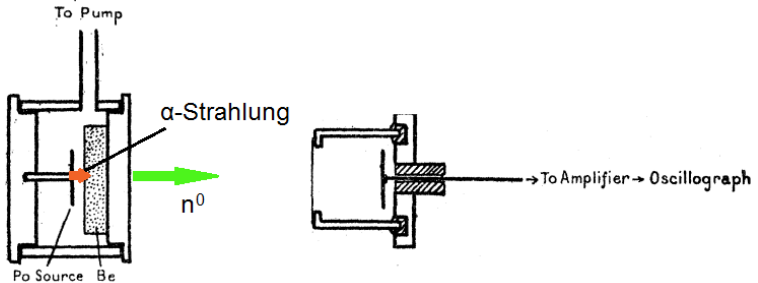
# Neutronenquelle und Ionisationskammer



[Chadwick, Nature vol. 130, p. 312 1931]



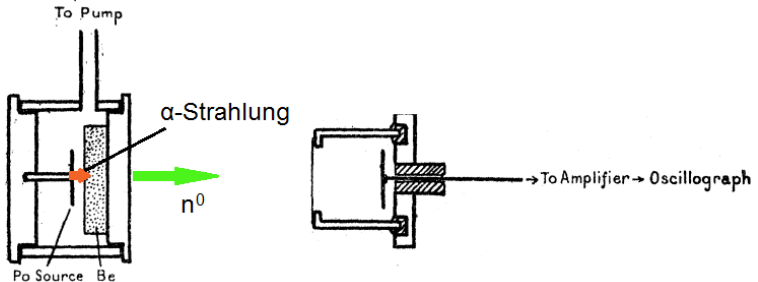
# Neutronenquelle und Ionisationskammer



[Chadwick, Nature vol. 130, p. 312, 1931]

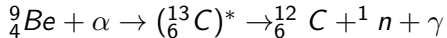


# Neutronenquelle und Ionisationskammer



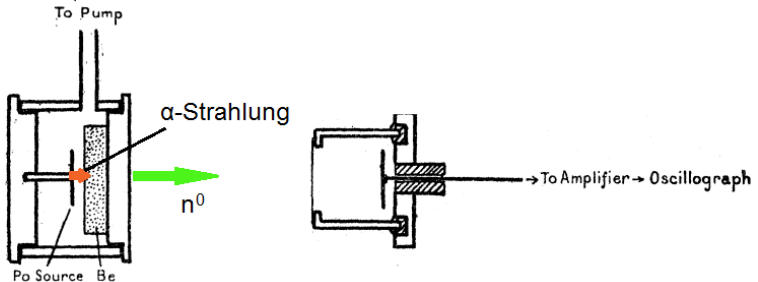
[Chadwick, Nature vol. 130, p. 312, 1931]

- Beispielreaktion:



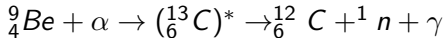


# Neutronenquelle und Ionisationskammer



[Chadwick, Nature vol. 130, p. 312, 1931]

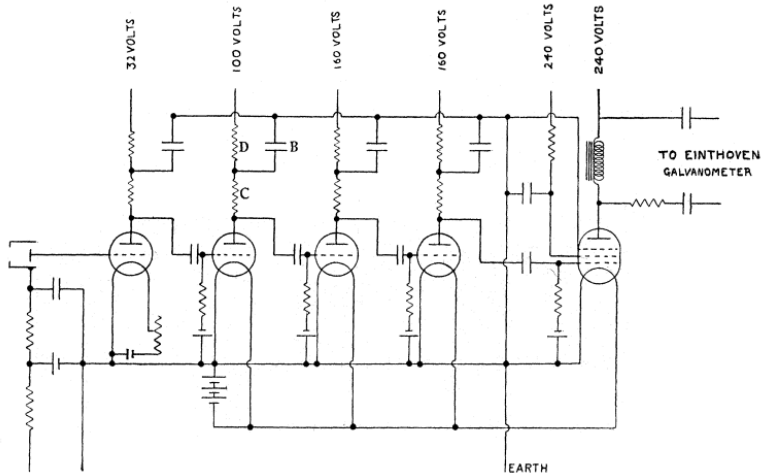
- Beispielreaktion:



- Typische Energien:  $E_n \approx 4.5\text{Mev} \rightarrow N_{e-} \approx 10^5 \rightarrow U_{\text{Signal}} \approx \mu\text{V}$



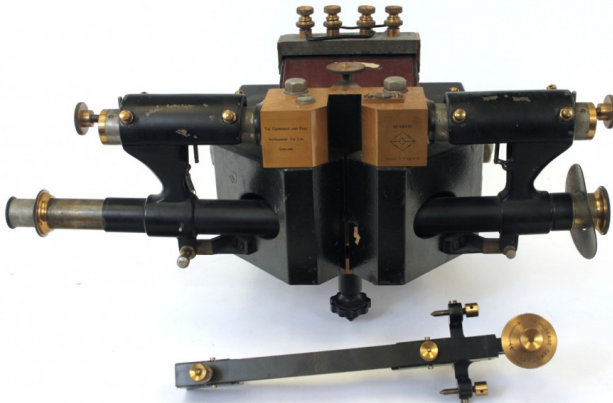
# Amplifier



[Chadwick, Nature vol. 130, p. 312, 1931]



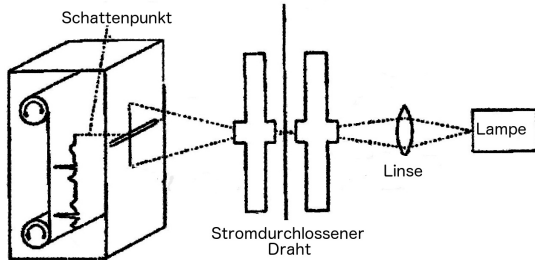
# Einthoven-Galvanometer



[<https://utsic.escalator.utoronto.ca/home/blog/instrument/einthoven-string-galvanometer/>]



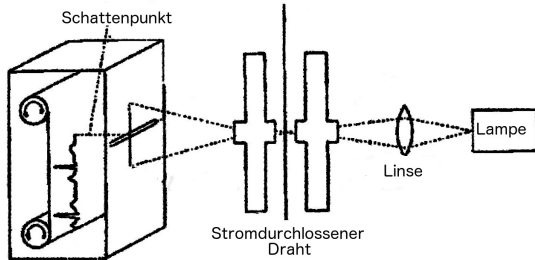
# Einthoven-Galvanometer



[<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2435435/>]



# Einthoven-Galvanometer

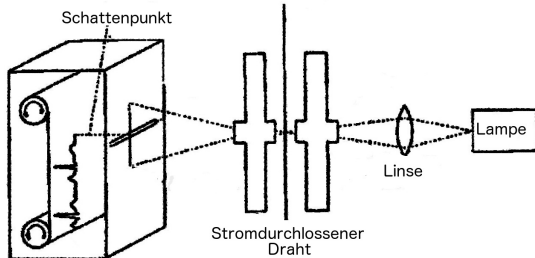


[<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2435435/>]

- Stromfluss → Bewegung des Drahtes im Magnetfeld



# Einthoven-Galvanometer

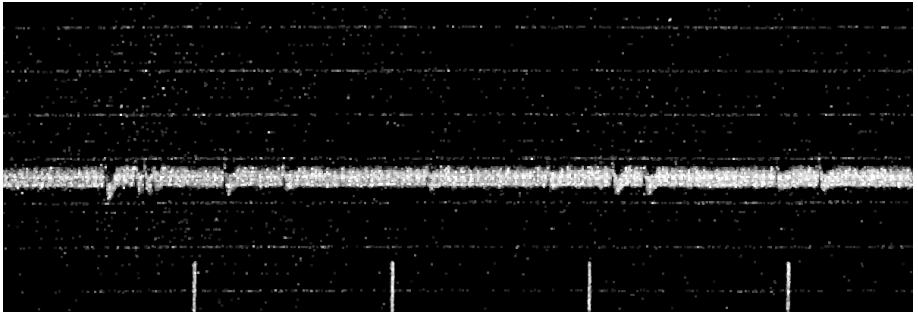


[<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2435435/>]

- Stromfluss → Bewegung des Drahtes im Magnetfeld
- Schattenwurf des Drahtes wird auf Photofilm abgelichtet.



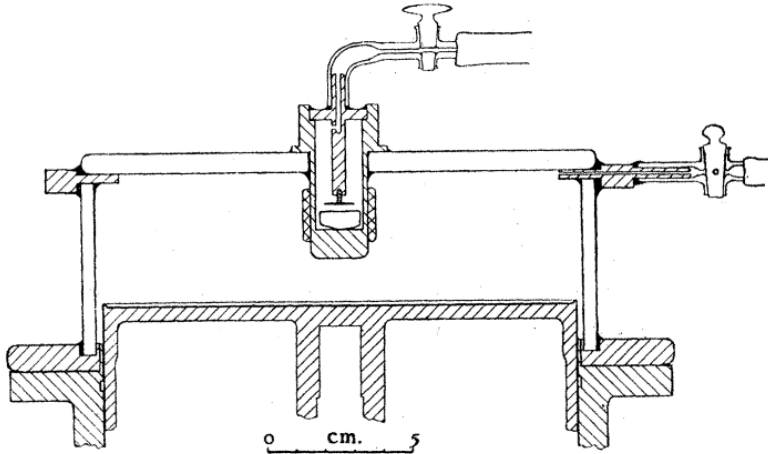
# Beispielphotoplatte



[Chadwick, Nature vol. 130, p. 312, 1931]



# Expansions- oder Nebelkammer

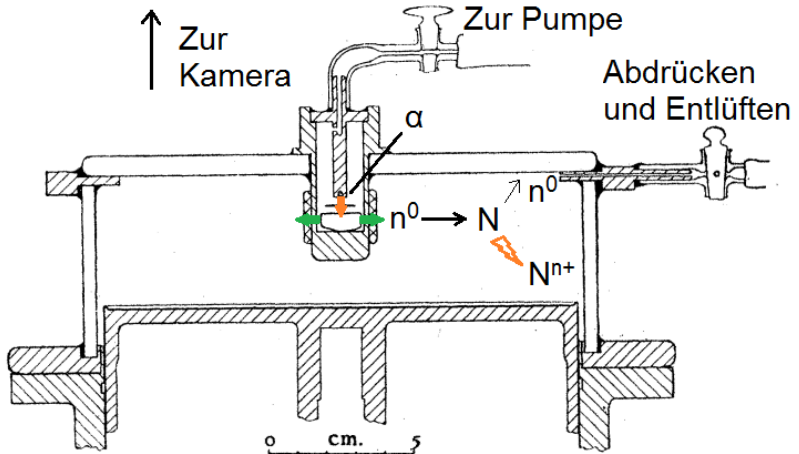


[Feather, Proc. Roy. Soc., p. 709, 1932]





# Expansions- oder Nebelkammer



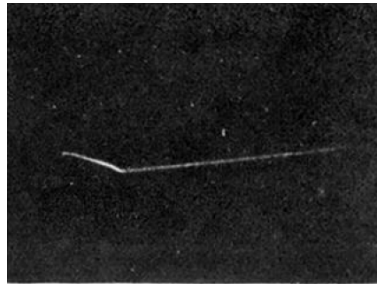
[Feather, Proc. Roy. Soc., p. 709, 1932]



# Beispielphotos



Elastischer Stoß  
zwischen  ${}^{14}_7\text{N}$  und  ${}^1_0\text{n}$

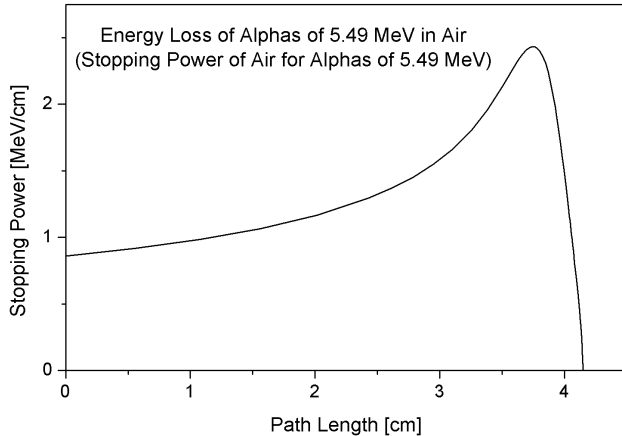


[Feather, Proc. Roy. Soc., p. 709, 1932]

Inelastischer Stoß:  
 ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{11}_5\text{B} + \alpha$



# Einschub: Reichweite ionisierender Strahlung



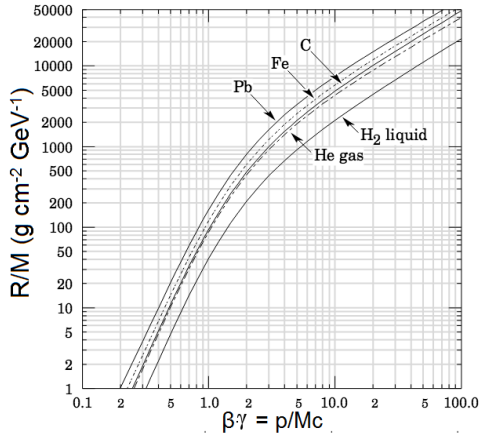
[[https://en.wikipedia.org/wiki/Stopping\\_power\\_\(particle\\_radiation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Stopping_power_(particle_radiation))]



# Einschub: Reichweite ionisierender Strahlung

Abbildung: Reichweitendiagramm

- Reichweite  $d$  entspricht einem Energieäquivalent



[<http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/passagerpp.pdf>]



# Einschub: Reichweite ionisierender Strahlung

Abbildung: Reichweitendiagramm

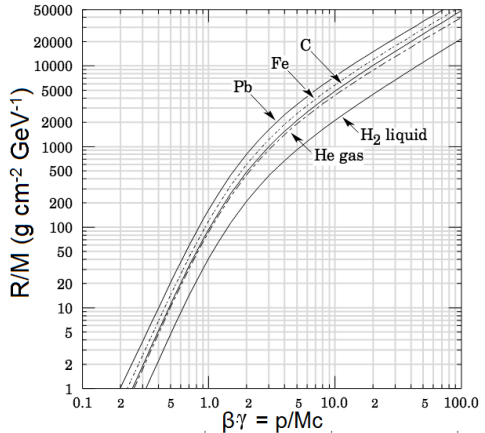
- Reichweite  $d$  entspricht einem Energieäquivalent

- Flächendichte

$R = d \cdot \rho_{\text{Absorber}}$  lässt sich in Äquivalenten ausdrücken

(z.B.:

$$1.64 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2} \text{ Al} \cong 1 \text{ cm Luft})$$



[<http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/passagerpp.pdf>]



# Einschub: Reichweite ionisierender Strahlung

Abbildung: Reichweitendiagramm

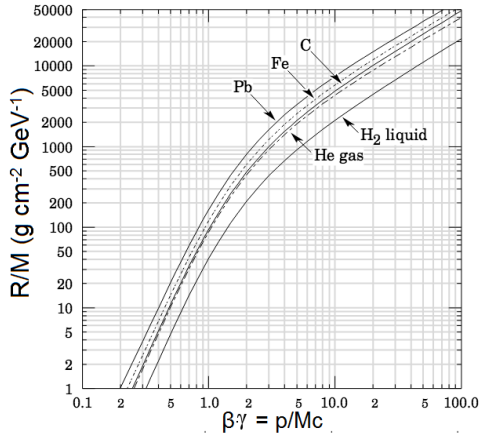
Angenommen:

Reichweite von Stickstoff in  
Blei sei  $d = 232\text{cm}$ .

$$\rho_{\text{Pb}} = 11.3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_N = 13.1\text{GeV}$$

$$\bullet \Rightarrow \frac{R}{M} = \frac{d \cdot \rho}{m_n}$$



[<http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/passagerpp.pdf>]



# Einschub: Reichweite ionisierender Strahlung

Abbildung: Reichweitendiagramm

Angenommen:

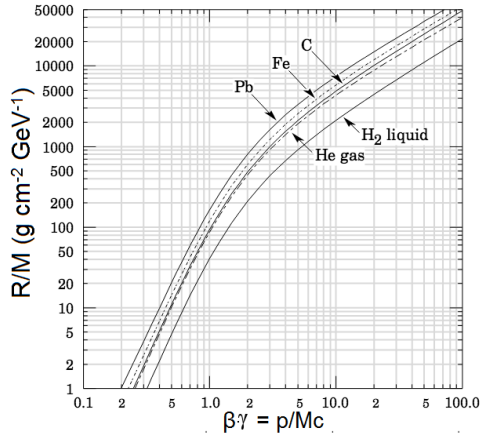
Reichweite von Stickstoff in  
Blei sei  $d = 232 \text{ cm}$ .

$$\rho_{\text{Pb}} = 11.3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_N = 13.1 \text{ GeV}$$

$$\bullet \Rightarrow \frac{R}{M} = \frac{d \cdot \rho}{m_n}$$

$$\bullet \Rightarrow \frac{R}{M} = 200 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{GeV}}$$



[<http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/passagerpp.pdf>]



# Einschub: Reichweite ionisierender Strahlung

Abbildung: Reichweitendiagramm

Angenommen:

Reichweite von Stickstoff in Blei sei  $d = 232\text{cm}$ .

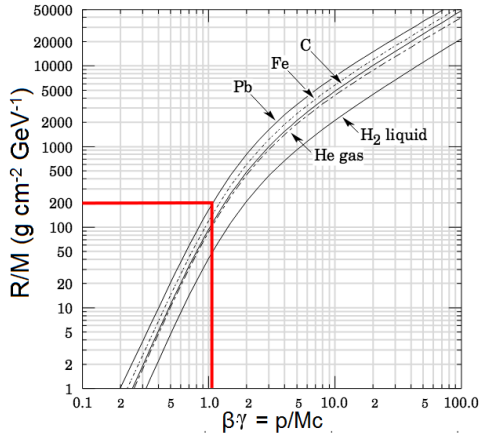
$$\rho_{\text{Pb}} = 11.3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_N = 13.1 \text{GeV}$$

$$\bullet \Rightarrow \frac{R}{M} = \frac{d \cdot \rho}{m_n}$$

$$\bullet \Rightarrow \frac{R}{M} = 200 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{GeV}}$$

$$\bullet \Rightarrow \beta = 1.0$$



[<http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/passagerpp.pdf>]



# Einschub: Reichweite ionisierender Strahlung

Abbildung: Reichweitendiagramm

Angenommen:

Reichweite von Stickstoff in Blei sei  $d = 232\text{cm}$ .

$$\rho_{\text{Pb}} = 11.3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

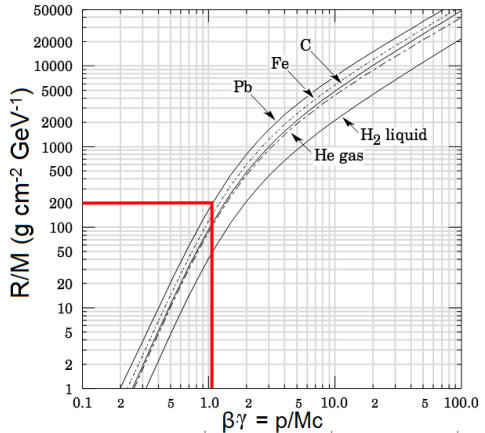
$$m_N = 13.1 \text{GeV}$$

$$\bullet \Rightarrow \frac{R}{M} = \frac{d \cdot \rho}{m_n}$$

$$\bullet \Rightarrow \frac{R}{M} = 200 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{GeV}}$$

$$\bullet \Rightarrow \beta = 1.0$$

$$\bullet \Rightarrow p = 13 \frac{\text{GeV}}{c}$$



[<http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/passagerpp.pdf>]

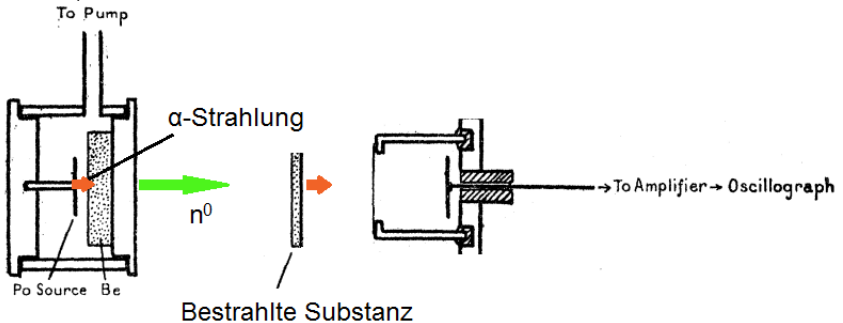


# Inhaltsverzeichnis

- 1 Wissenschaftlicher Stand zur Zeit Chadwicks
  - Das Postulat des Neutrons
  - Neutronenquelle: Die Berylliumstrahlung
- 2 Experimente
  - Verwendete Geräte
  - Verhält sich die Strahlung wie ein Partikelstrom?
  - Welche Masse haben diese Partikel?
  - Wie reagiert das Neutron mit Materie?
- 3 Chadwicks Sicht aufs Neutron



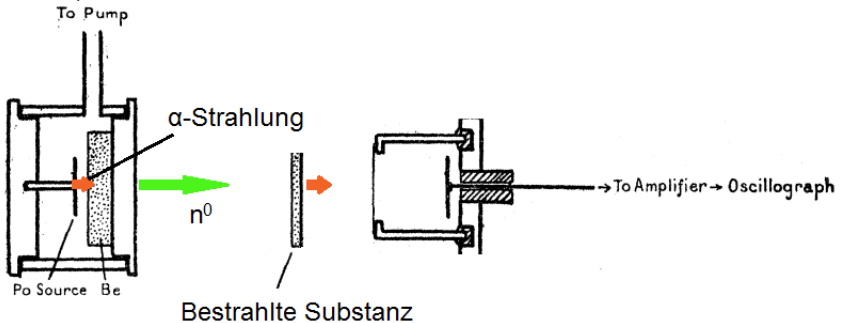
# Beschuss von verschiedenen Materialien



- Target Material: Wachs, Li, Be, B, C, N als Paracyanogen ( $C_2N_2$ )<sub>N</sub>



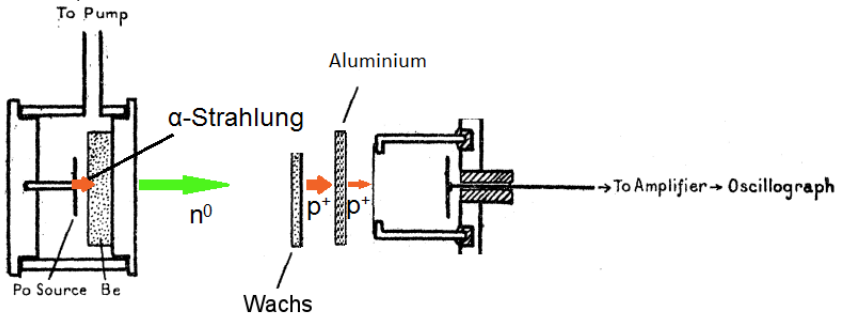
# Beschuss von verschiedenen Materialien



- Target Material: Wachs, Li, Be, B, C, N als Paracyanogen ( $(C_2N_2)_N$ )
- Gase ohne Target:  $H_2$ ,  $He$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $Ar$

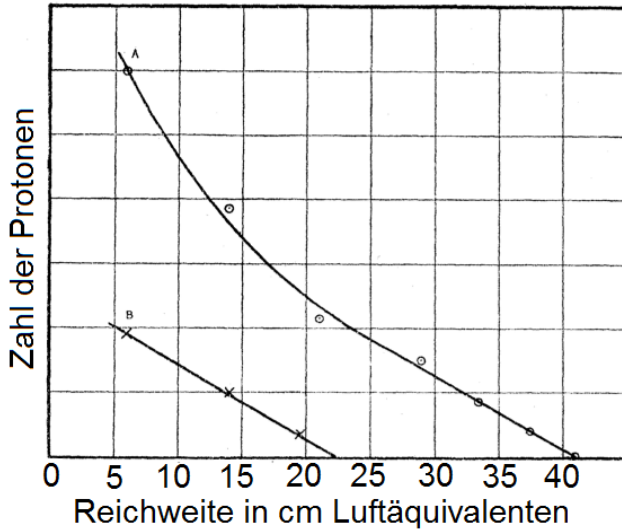


# Beschuss von verschiedenen Materialien





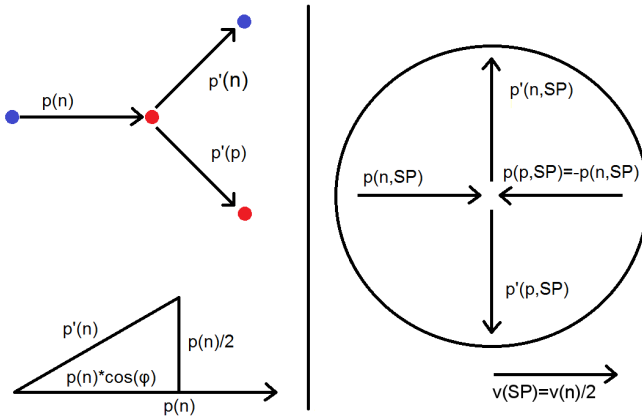
# Ergebnis





# Ergebnis

| Streuwinkel<br>in ° | Reichweite<br>in cm | Geschwindigkeit<br>in $10^9 \frac{cm}{s}$ |
|---------------------|---------------------|-------------------------------------------|
| 0                   | 40                  | 3.3                                       |
| 47.6                | 22                  | 2.7                                       |





# Ergebnis

- $p'_n = \sqrt{\cos^2 \phi + \left(\frac{1}{2}\right)^2} \cdot \frac{p_n}{2}$



# Ergebnis

- $p'_n = \sqrt{\cos^2 \phi + \left(\frac{1}{2}\right)^2} \cdot \frac{p_n}{2}$
- $p'_n = 2.7 \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$



# Ergebnis

- $p'_n = \sqrt{\cos^2 \phi + \left(\frac{1}{2}\right)^2} \cdot \frac{p_n}{2}$
- $p'_n = 2.7 \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$
- Es handelt sich um einen Partikelstrom, welcher Energie über elastische Stöße übertragen kann.



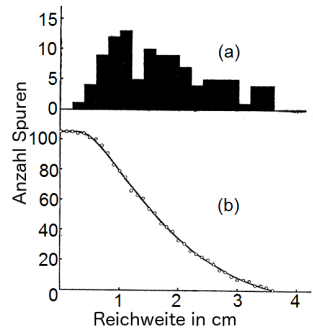
# Inhaltsverzeichnis

- 1 Wissenschaftlicher Stand zur Zeit Chadwicks
  - Das Postulat des Neutrons
  - Neutronenquelle: Die Berylliumstrahlung
- 2 Experimente
  - Verwendete Geräte
  - Verhält sich die Strahlung wie ein Partikelstrom?
  - Welche Masse haben diese Partikel?
  - Wie reagiert das Neutron mit Materie?
- 3 Chadwicks Sicht aufs Neutron



# Massenabschätzung über Impulserhaltung

Abbildung: Reichweiten der Stickstoffkern



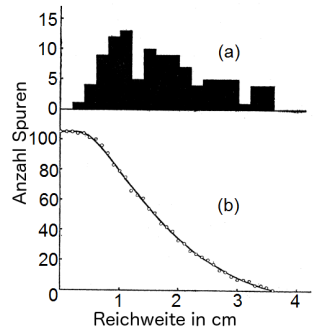
[Feather, Proc. Roy. Soc., p. 709, 1932]



# Massenabschätzung über Impulserhaltung

- Masse lässt sich über Impulserhaltung abschätzen

Abbildung: Reichweiten der Stickstoffkern



[Feather, Proc. Roy. Soc., p. 709, 1932]

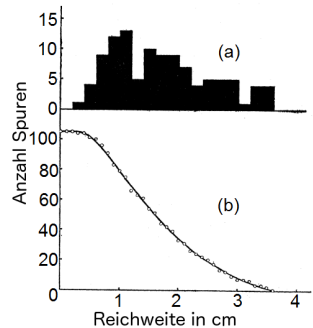


# Massenabschätzung über Impulserhaltung

- Masse lässt sich über Impulserhaltung abschätzen
- Maximale Geschwindigkeit des Rückstoßteilchens ist:

$$v = \frac{2m_n \cdot v_n}{m_n + m}$$

Abbildung: Reichweiten der Stickstoffkernen



[Feather, Proc. Roy. Soc., p. 709, 1932]

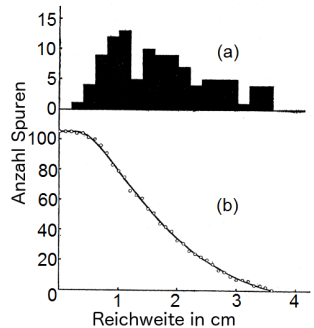


# Massenabschätzung über Impulserhaltung

- Masse lässt sich über Impulserhaltung abschätzen
- Maximale Geschwindigkeit des Rückstoßteilchens ist:  

$$v = \frac{2m_n \cdot v_n}{m_n + m}$$
- $\Rightarrow \frac{m_n + 14}{m_n + 1} = \frac{v_p}{v_N} = \frac{3.3 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{4.7 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$

Abbildung: Reichweiten der Stickstoffkernen



[Feather, Proc. Roy. Soc., p. 709, 1932]

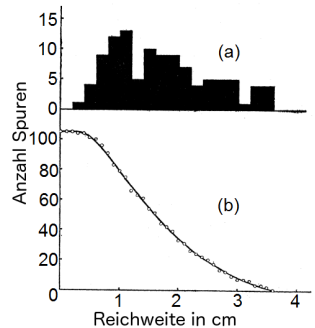


# Massenabschätzung über Impulserhaltung

- Masse lässt sich über Impulserhaltung abschätzen
- Maximale Geschwindigkeit des Rückstoßteilchens ist:  

$$v = \frac{2m_n \cdot v_n}{m_n + m}$$
- $\Rightarrow \frac{m_n + 14}{m_n + 1} = \frac{v_p}{v_N} = \frac{3.3 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{4.7 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$
- $\Rightarrow (1.15 \pm 0.12)u$

Abbildung: Reichweiten der Stickstoffkernen

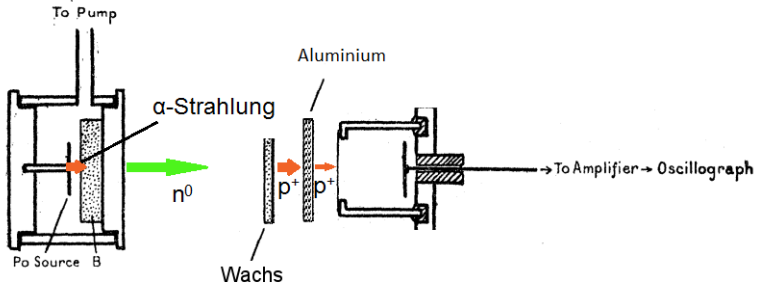


[Feather, Proc. Roy. Soc., p. 709, 1932]



# Massenbestimmung über Energieerhaltung

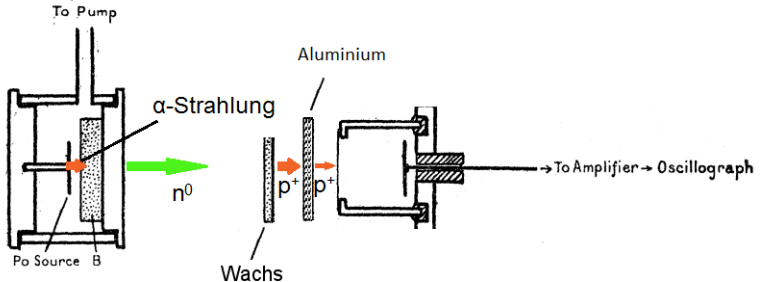
- Wiederholung des ersten Streuversuchs mit Wachs und Bor





# Massenbestimmung über Energieerhaltung

- Wiederholung des ersten Streuversuchs mit Wachs und Bor
- Massenbestimmung über Energiebilanz möglich





# Massenabestimmung über Energieerhaltung

- $m_B + m_\alpha + E_{kin,\alpha}/c^2 = m_N + m_n + E_{kin,N}/c^2 + E_{kin,n}/c^2$



# Massenabestimmung über Energieerhaltung

- $m_B + m_\alpha + E_{kin,\alpha}/c^2 = m_N + m_n + E_{kin,N}/c^2 + E_{kin,n}/c^2$
- $\Rightarrow m_n = m_B + m_\alpha + E_{kin,\alpha}/c^2 - m_N - E_{kin,N}/c^2 - E_{kin,n}/c^2$



# Massenbestimmung über Energieerhaltung

- $m_B + m_\alpha + E_{kin,\alpha}/c^2 = m_N + m_n + E_{kin,N}/c^2 + E_{kin,n}/c^2$
- $\Rightarrow m_n = m_B + m_\alpha + E_{kin,\alpha}/c^2 - m_N - E_{kin,N}/c^2 - E_{kin,n}/c^2$
- $\Rightarrow m_n = (1.0067 \pm 0.0015)u$
- $m_n(Literatur) = 1.008664u$



# Inhaltsverzeichnis

- 1 Wissenschaftlicher Stand zur Zeit Chadwicks
  - Das Postulat des Neutrons
  - Neutronenquelle: Die Berylliumstrahlung
- 2 Experimente
  - Verwendete Geräte
  - Verhält sich die Strahlung wie ein Partikelstrom?
  - Welche Masse haben diese Partikel?
  - Wie reagiert das Neutron mit Materie?
- 3 Chadwicks Sicht aufs Neutron



# Wirkungsquerschnitt

- Entspricht einer Wahrscheinlichkeit der Reaktion



# Wirkungsquerschnitt

- Entspricht einer Wahrscheinlichkeit der Reaktion
- Man definiert Unterklassen von Reaktion



# Wirkungsquerschnitt

- Entspricht einer Wahrscheinlichkeit der Reaktion
- Man definiert Unterklassen von Reaktion
- Wirkungsquerschnitt ist additiv



# Wirkungsquerschnitt

- Entspricht einer Wahrscheinlichkeit der Reaktion
- Man definiert Unterklassen von Reaktion
- Wirkungsquerschnitt ist additiv
- $N_{Streu} = N_{beam} \cdot n_{target} \cdot d \cdot \sigma$



# Wirkungsquerschnitt

- Entspricht einer Wahrscheinlichkeit der Reaktion
- Man definiert Unterklassen von Reaktion
- Wirkungsquerschnitt ist additiv
- $N_{Streu} = N_{beam} \cdot n_{target} \cdot d \cdot \sigma$
- $\sigma = \frac{N_{Streu}}{N_{beam} \cdot n_{target} \cdot d}$



# Wirkungsquerschnitt

- Geometrischer Wirkungsquerschnitt  $\approx \text{DeBroglie-Wellenlänge}^2 \pi$

| n-Quelle | mittlere Geschwindigkeit<br>in $10^9 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ | Gem. Querschnitt<br>in barn | Theo. Querschnitt<br>in barn |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Be       | 2.7                                                                  | 0.8                         |                              |
| B        | 2.0                                                                  | 1.1                         |                              |



# Wirkungsquerschnitt

- Geometrischer Wirkungsquerschnitt  $\approx$  DeBroglie-Wellenlänge<sup>2</sup> $\pi$
- $\lambda_{DeBroglie} \simeq \frac{h}{2\pi \cdot m_n \cdot v}$

| n-Quelle | mittlere Geschwindigkeit<br>in $10^9 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ | Gem. Querschnitt<br>in barn | Theo. Querschnitt<br>in barn |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Be       | 2.7                                                                  | 0.8                         |                              |
| B        | 2.0                                                                  | 1.1                         |                              |



# Wirkungsquerschnitt

- Geometrischer Wirkungsquerschnitt  $\approx$  DeBroglie-Wellenlänge<sup>2</sup> $\pi$
- $\lambda_{DeBroglie} \simeq \frac{h}{2\pi \cdot m_n \cdot v}$
- $\Rightarrow \sigma \simeq \frac{h^2}{4\pi \cdot m_n^2 \cdot v^2}$

| n-Quelle | mittlere Geschwindigkeit<br>in $10^9 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ | Gem. Querschnitt<br>in barn | Theo. Querschnitt<br>in barn |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Be       | 2.7                                                                  | 0.8                         |                              |
| B        | 2.0                                                                  | 1.1                         |                              |



# Wirkungsquerschnitt

- Geometrischer Wirkungsquerschnitt  $\approx$  DeBroglie-Wellenlänge $^2\pi$
- $\lambda_{DeBroglie} \simeq \frac{h}{2\pi \cdot m_n \cdot v}$
- $\Rightarrow \sigma \simeq \frac{h^2}{4\pi \cdot m_n^2 \cdot v^2}$

| n-Quelle | mittlere Geschwindigkeit<br>in $10^9 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ | Gem. Querschnitt<br>in barn | Theo. Querschnitt<br>in barn |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Be       | 2.7                                                                  | 0.8                         | 0.7                          |
| B        | 2.0                                                                  | 1.1                         | 1.3                          |



# Inhaltsverzeichnis

- 1 Wissenschaftlicher Stand zur Zeit Chadwicks
  - Das Postulat des Neutrons
  - Neutronenquelle: Die Berylliumstrahlung
- 2 Experimente
  - Verwendete Geräte
  - Verhält sich die Strahlung wie ein Partikelstrom?
  - Welche Masse haben diese Partikel?
  - Wie reagiert das Neutron mit Materie?
- 3 Chadwicks Sicht aufs Neutron



# Chadwicks Sicht aufs Neutron

- QM sagt Wasserstoff als einzige Form voraus



# Chadwicks Sicht aufs Neutron

- QM sagt Wasserstoff als einzige Form voraus
- Proton und Elektron je Spin  $1/2 \Rightarrow$  Neutron Spin 0



# Chadwicks Sicht aufs Neutron

- QM sagt Wasserstoff als einzige Form voraus
- Proton und Elektron je Spin  $1/2 \Rightarrow$  Neutron Spin 0
- Kernstruktur  $\Rightarrow$  Neutron Spin  $1/2$



# Chadwicks Sicht aufs Neutron

- QM sagt Wasserstoff als einzige Form voraus
- Proton und Elektron je Spin  $1/2 \Rightarrow$  Neutron Spin 0
- Kernstruktur  $\Rightarrow$  Neutron Spin  $1/2$
- $\Rightarrow$  Für Chadwick war das Neutron elementar.



# For Further Reading I

 **Bothe und Becker**  
*Künstliche Erregung von Kern- $\gamma$ -Strahlen.*  
Z. Physik, 1930.

 **Rutherford**  
*Nuclear Constitution of Atoms*  
Proc. of Roy. Soc., 1920.

 **Chadwick**  
*Artificial Disintegration by  $\alpha$ -Particles.*  
Proc. of Roy. Soc., 1930.  
*The Existence of a Neutron.*  
Proc. of Roy. Soc., 1932.  
*The Neutron.*  
Proc. of Roy. Soc., 1933.



# For Further Reading II



## Feather

*The Collision of Neutrons with Nitrogen Nuclei.*  
Proc. of Roy. Soc., 1930.



## Bichsel, Groom und Klein

*Passage of Particles Through Matter.*  
<http://pdg.lbl.gov/2006/reviews/passagerpp.pdf>



## University of Toronto

<https://utsic.escalator.utoronto.ca/home/blog/instrument/eindhoven-string-galvanometer/>