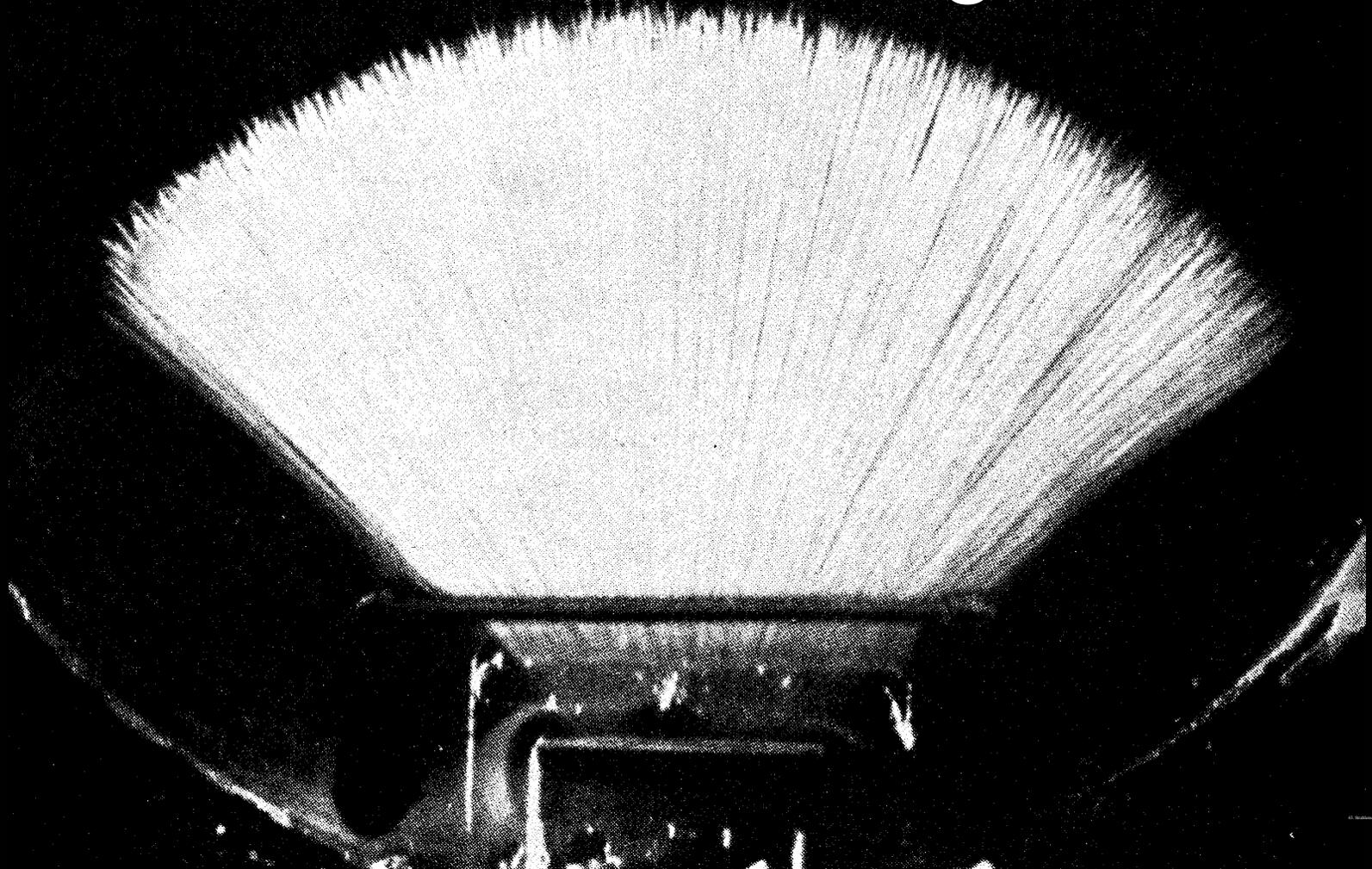


36. Lektion

Wechselwirkung und Reichweite von Strahlung



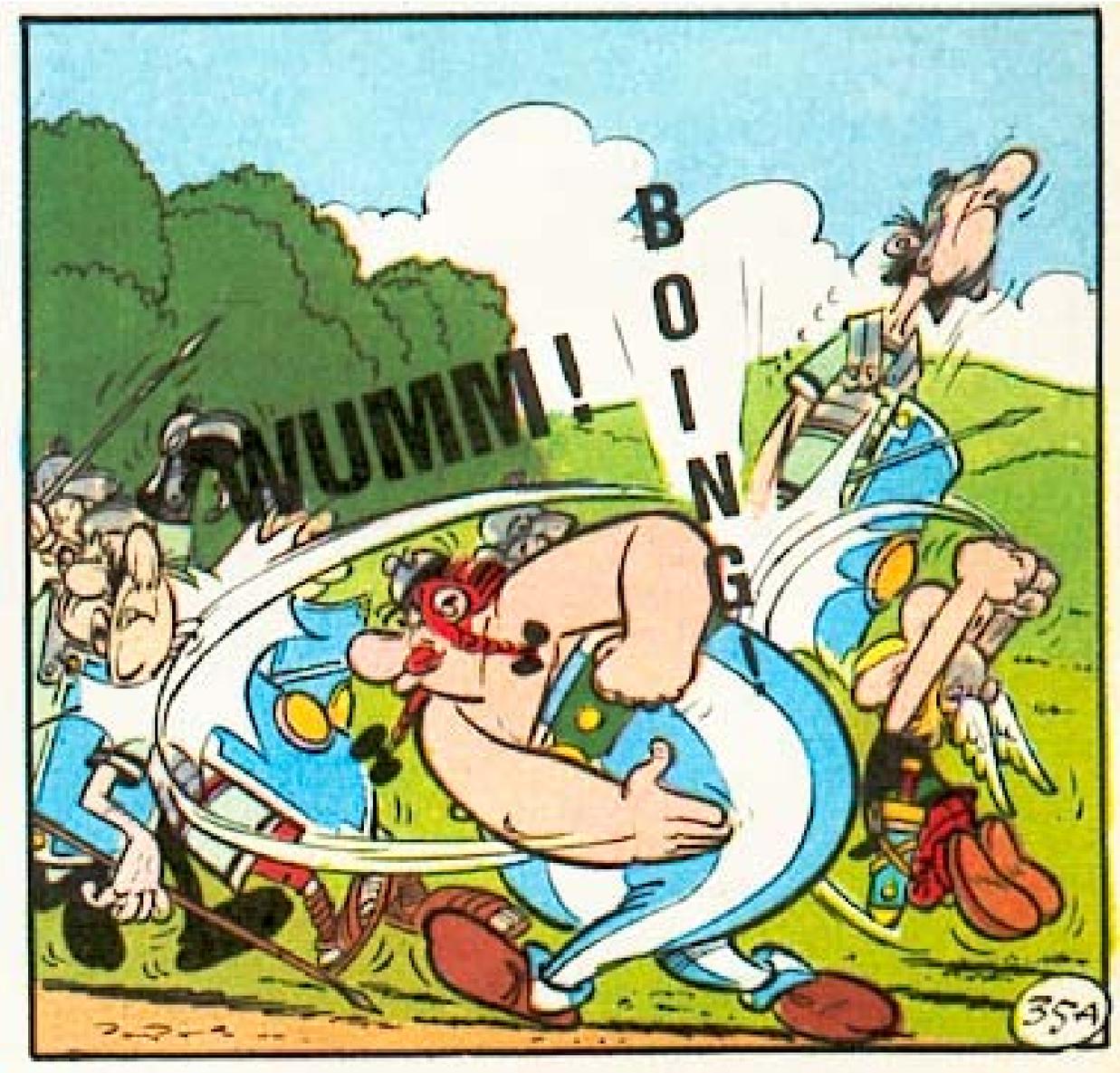
Lernziel:

Die Wechselwirkung von radioaktiver Strahlung (α, β, γ) ist unterschiedlich. Nur im Fall von α -Strahlung gibt es eine wohldefinierte Reichweite.

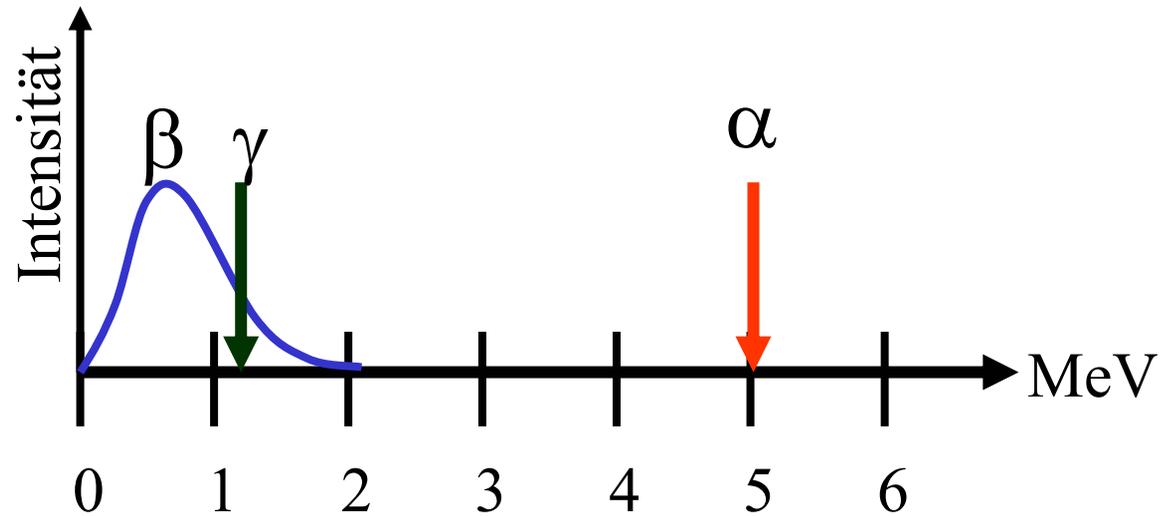
Begriffe

- Wechselwirkung von Strahlung mit Materie
- Photoeffekt
- Comptoneffekt
- Paarbildung
- Massenabsorptionsgesetz
- Reichweite von Strahlung

**W
E
S
S
E
N
S
I
E
R
W
I
R
T
S
C
H
A
F
T**



Typische Energiewerte und Energie- Verteilungen der verschiedenen Strahlungsarten

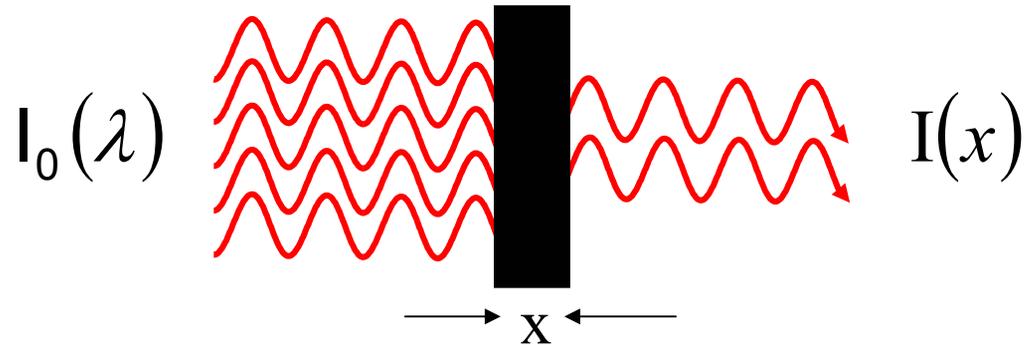


- α und γ – Strahler haben scharf definierte Energien
- β – Strahler zeigen eine breite Energieverteilung

I. Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie

Absorption von γ - Strahlung

Intensität von Röntgen- und γ -Strahlung wird beim Durchgang durch Materie abgeschwächt:



$$I(x) = I_0(\lambda) \exp\left(-\frac{\mu(\lambda, Z)}{\rho} \rho x\right)$$

Linearer Absorptionskoeffizient:

$$\mu \quad [\mu] = 1/\text{cm}$$

Massenabsorptionskoeffizient:

$$\mu/\rho \quad [\mu/\rho] = \text{cm}^2/\text{g}$$

Drei Effekte, die zum
Massenabsorptionskoeffizienten

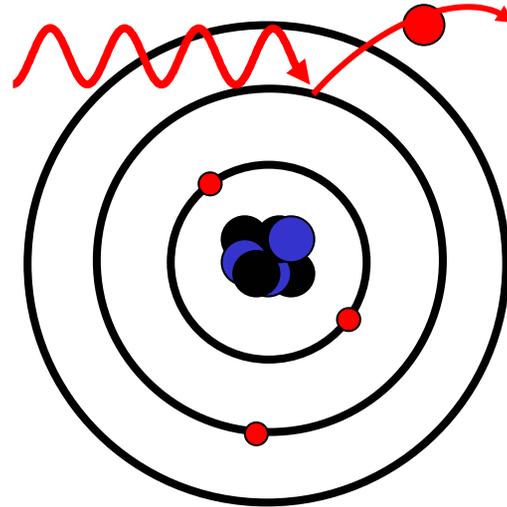
$$\mu(\rho, z)/\rho$$

für γ - und Röntgenstrahlen beitragen:

1. Photo-Effekt
2. Compton-Effekt
3. Paar-Bildung

1.

Photoeffekt



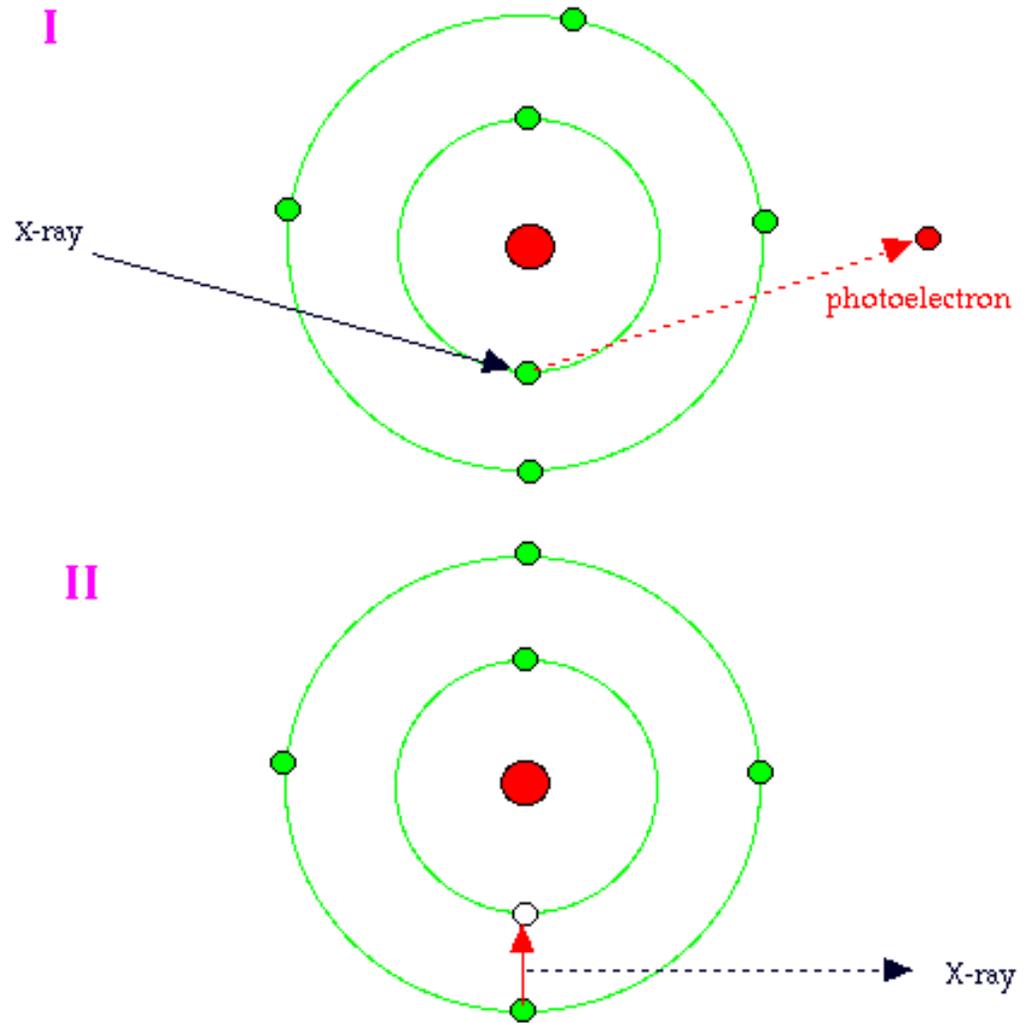
Absorption eines Photons durch ein gebundenes Elektron und Konvertierung der γ -Energie in potentielle und kinetische Energie des Elektrons. Für hochenergetische γ -Quanten gilt:

$$E_{\text{Elektron,kin}} = hf - E_{\text{Bindung}} \approx hf$$

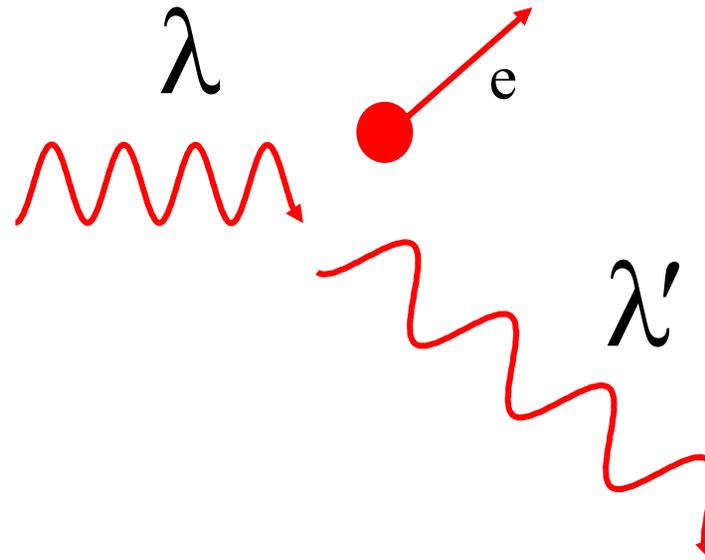
Photoeffekt



Innerer Photoeffekt bei der Röntgen- absorption



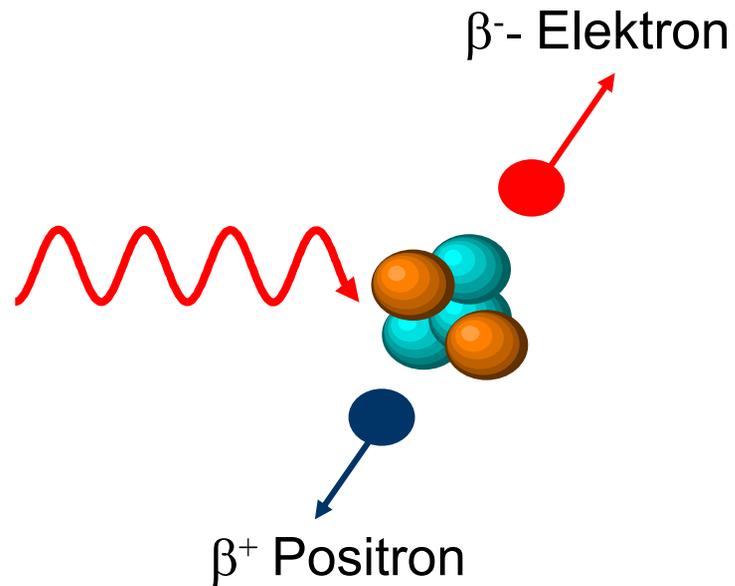
2. Compton- effekt



Streuung eines γ 's an einem ungebundenen Elektron, wobei das γ -Quant nicht vernichtet, sondern lediglich seine Energie geringer bzw. seine Wellenlänge größer wird: $\lambda' > \lambda$.

3.

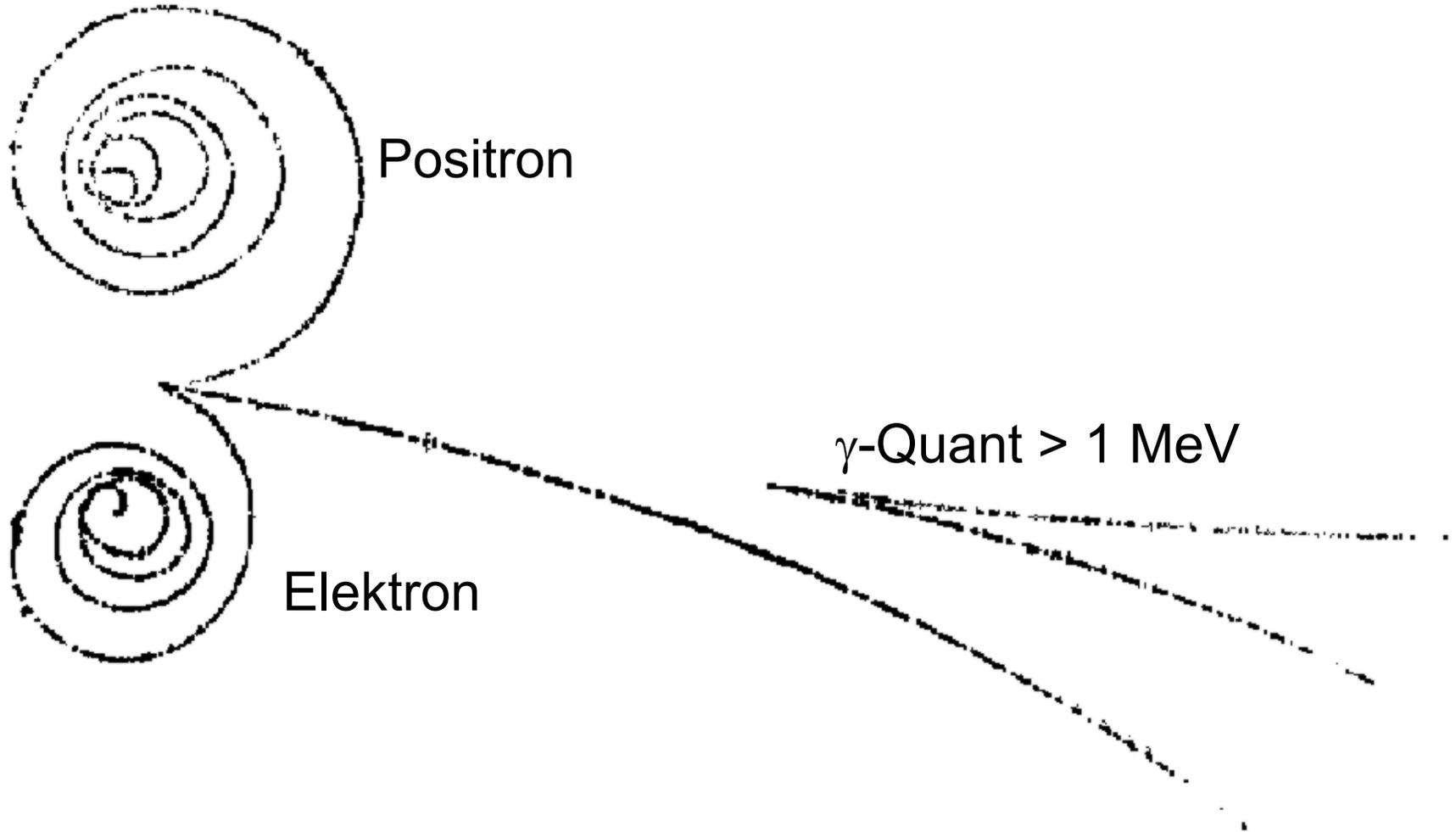
Paar-Bildung (relativistischer Effekt):



Falls E_γ doppelt so groß ist wie die Ruhemasse eines Elektrons, dann kann im Feld eines Atomkerns ein Elektron zusammen mit seinem Anti-teilchen (Positron) gebildet werden.

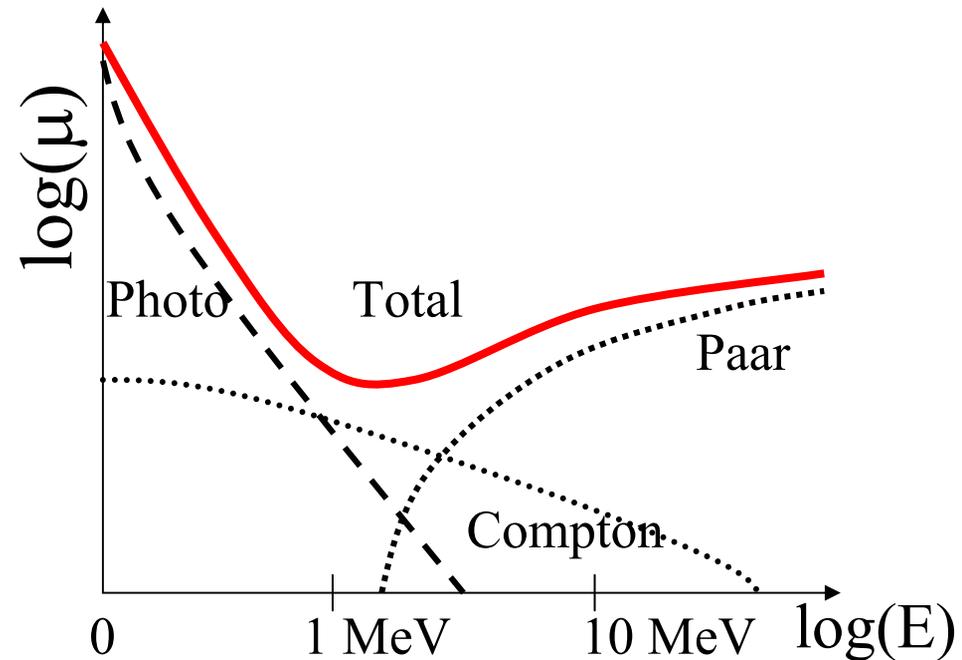
Paarbildung für $E_\gamma > 2m_e c^2 = 1.022 \text{ MeV}$

Paarbildung



Energie- abhängigkeit der Abschwä- chung

Alle drei Effekte (Photo-, Compton-, und Paarbildung) führen zur Abschwächung eines γ - bzw. Röntgenstrahls beim Durchgang durch Materie. Der jeweilige Beitrag hängt von der Photonenenergie ab:



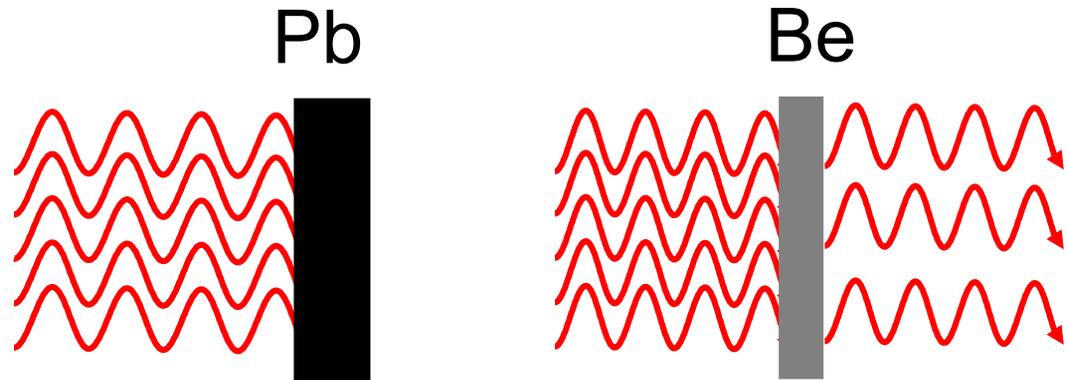
Durch Absorption wird die Intensität geschwächt, die Energie und Frequenz der γ - bzw. Röntgenstrahlen bleibt erhalten!

Massen- absorptions- gesetz für Röntgen- strahlen

Für den Röntgenbereich ist der Photoeffekt am wichtigsten.

$$(\mu/\rho)_{Photo} \propto \lambda^3 Z^5$$

Blei absorbiert mehr als Beryllium!

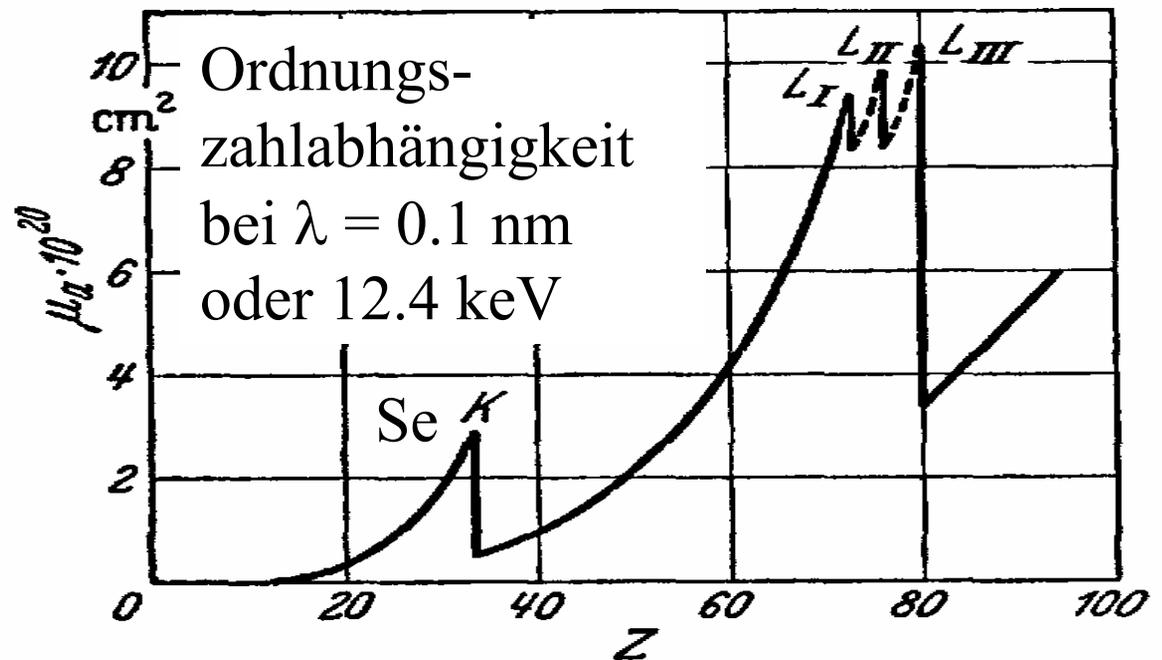
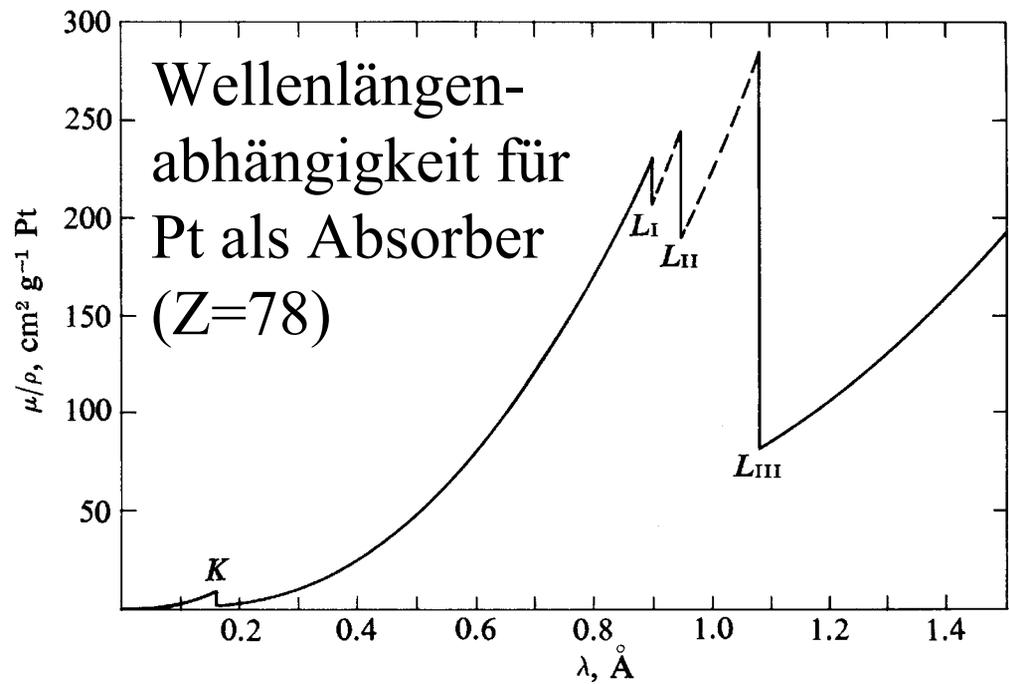


^{82}Pb dient zur Abschirmung von Röntgen und γ -Strahlung; Bleiwesten wird vom Personal, das Umgang mit Röntgenstrahlen hat, getragen. Co-Quellen werden in dicken Blei-Kanistern transportiert

Im Gegensatz dazu:

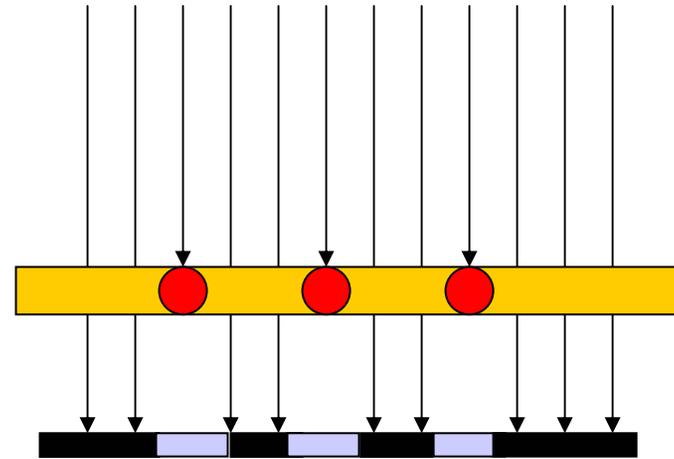
^4Be wird häufig als Fenster in Röntgenröhren für den Durchgang von Röntgenstrahlen benutzt

Massenabsorptionskoeffizient μ/ρ für Röntgenstrahlen



Röntgen- aufnahme durch Schatten- bildung bzw. Absorption

Knochen absorbieren mehr Strahlung als
Gewebe wegen ihres hohen ^{20}Ca -
Gehaltes



Quiz:

Eine monoenergetische γ -Strahlung werde in einer Bleischicht von 8 mm Dicke zur Hälfte absorbiert, zur Hälfte durchgelassen. Welcher Anteil der Strahlung wird dann von einer Bleischicht von 24 mm Dicke durchgelassen?

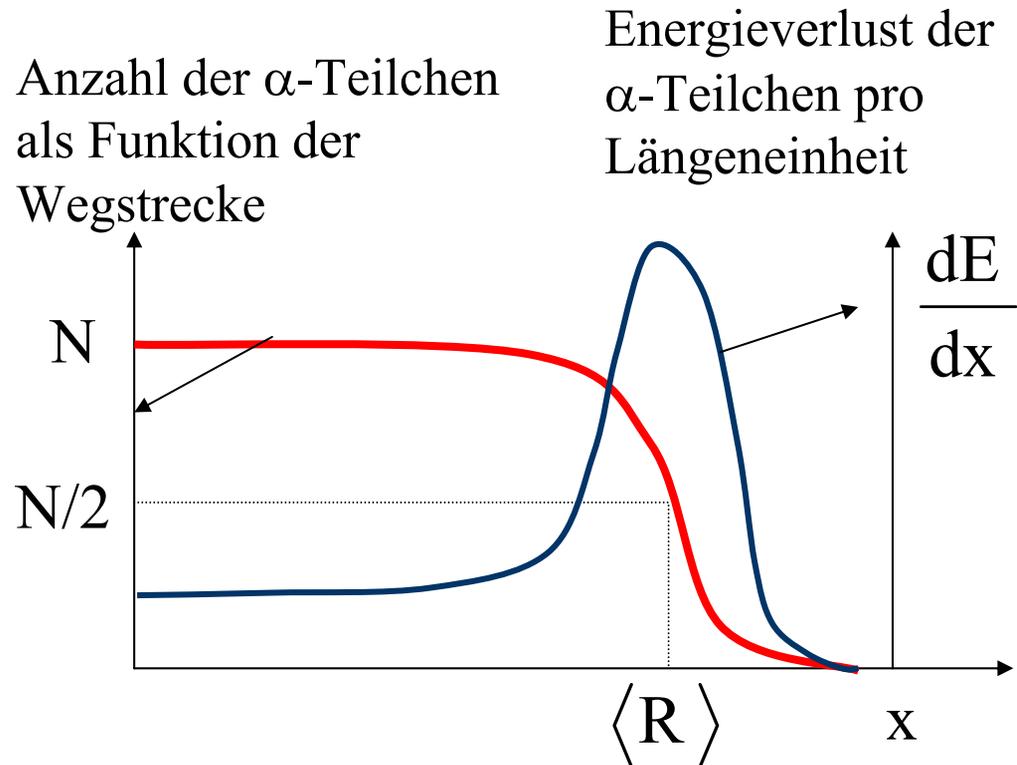
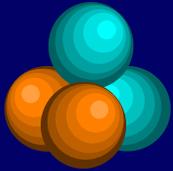
- A $1/3$
- B $1/6$
- C $1/8$
- D $1/16$
- E $1/27$

Antwort C ist richtig!

II. Wechselwirkung von α -Strahlung mit Materie

Bragg-Kurve

α – Strahlen sind hochionisierend und verlieren sehr schnell ihre Energie beim Durchgang durch Materie durch Ionisation und Anregungen



Mittlere Reichweite $\langle R \rangle$ von α -Teilchen mit 5 MeV:
3.5 cm in Luft, 23 mm in Al, 43 mm in Gewebe

Quiz:



- Welche Aussagen gelten hinsichtlich der Wechselwirkung von α -Strahlung mit Materie?
- 1 Die Reichweite von α -Strahlen hängt von ihrer Energie ab.
 - 2 Die Absorption der Energie der α -Strahlen erfolgt durch zahlreiche Ionisationsprozesse und Anregungen.
 - 3 Bei jedem Ionisationsprozeß wird ein α -Teilchen vollständig abgebremst.

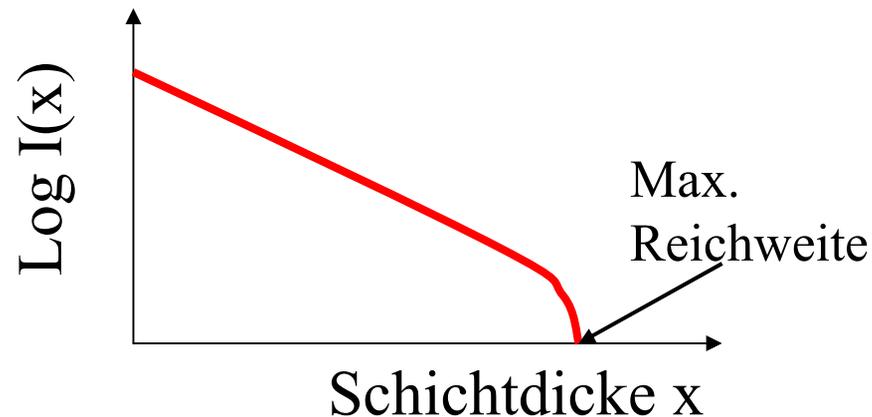
Aussagen 1 und 2 sind richtig, 3 ist falsch.

III. Wechselwirkung von β -Strahlung mit Materie

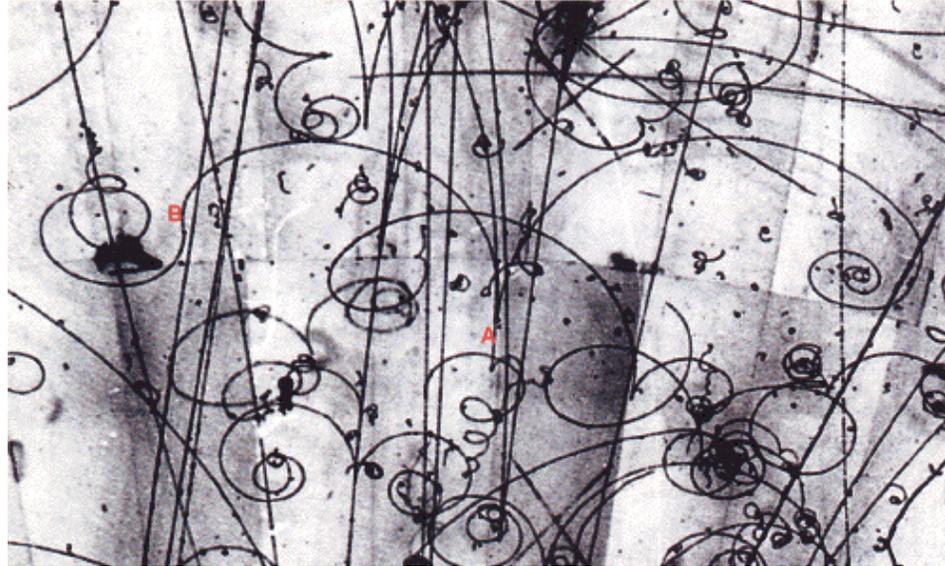
Wechselwirkung von β -Strahlen mit Materie

β -Teilchen wirken ebenfalls ionisierend, ähnlich wie α – Strahlen. Da die Masse der Elektronen und Positronen aber sehr klein ist, ist die Energieübertragung pro Stoß gering und die Reichweite entsprechend groß. Ähnlich wie bei Röntgenstrahlen gibt es zunächst nur eine Abschwächung, die bei größeren Schichtdicken in eine maximale Reichweite mündet.

$$N(x) = N_0 \exp\left(-\frac{\mu}{\rho} \rho x\right) \quad \mu / \rho \propto E_{\beta}^{-1.3}$$



Wechsel- wirkung von β^+ -Strahlen mit Materie

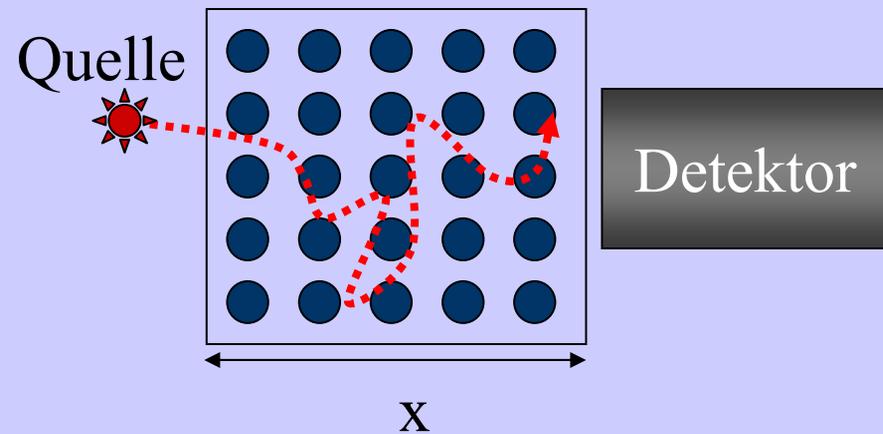


Ähnlich wie β^- -Strahlen werden auch β^+ -Strahlen auf ihrem Weg durch Materie abgeschwächt und wirken dabei ionisierend.

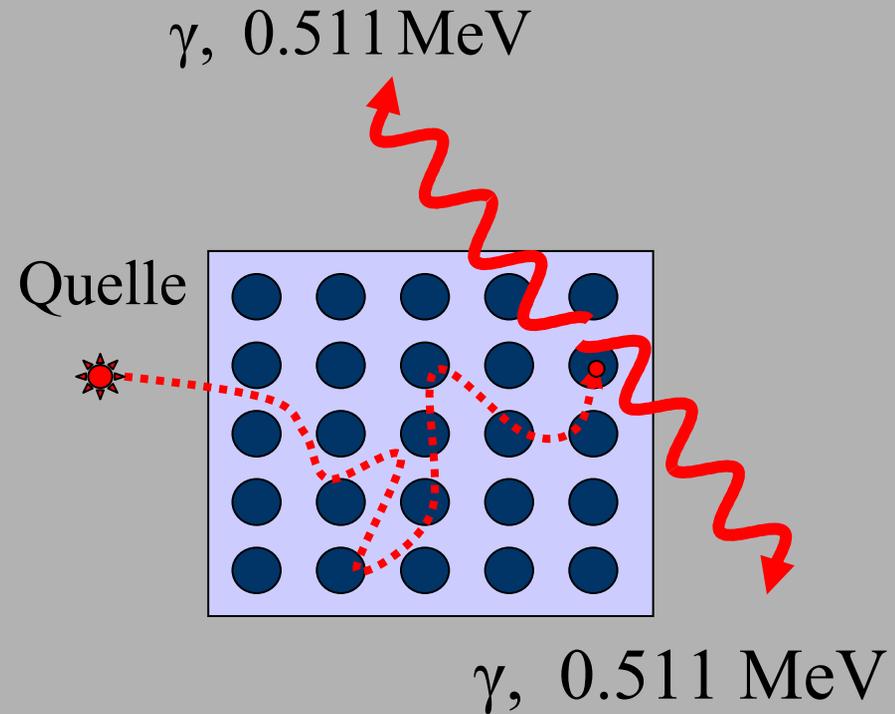
Am Ende der Abschwächung steht allerdings die Paarvernichtung zusammen mit einem Elektron, die sehr energetische γ -Emission zur Folge hat. Positronen sind daher gefährlicher als Elektronen.

Vergleich von Elektron (β^-) und Positron (β^+) auf ihrem Weg durch Materie

Elektron

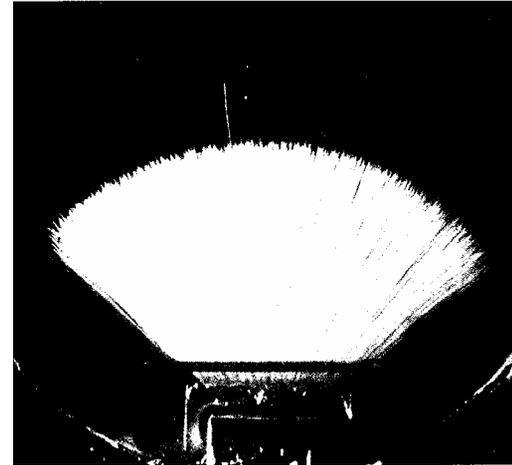


Positron

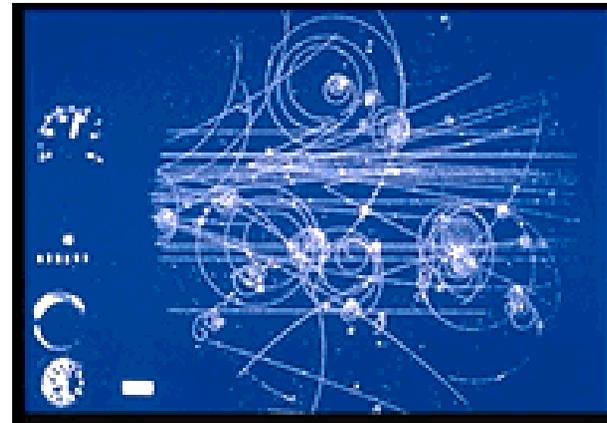


Typische Reichweiten von radioaktiver Strahlung in Luft

Reichweite von 4 MeV α -Teilchen ca. 5 cm



Reichweite von 1 MeV β -Teilchen ca. 4 m



Reichweite von Röntgen-, γ -Strahlen und Neutronen ist sehr groß. Hier hilft nur Abschirmung oder das $1/R^2$ - Gesetz

Zusammenfassung:

- Schwächung von Röntgen- und Gammastrahlung erfolgt durch Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung
- Der Massenabsorptionskoeffizient für Röntgenstrahlen steigt mit Z^5 und mit λ^3
- Die Reichweite von α -Strahlung beträgt typischerweise 5 cm in Luft
- Die Reichweite von β -Strahlung ist nicht gut definiert, ca. 4 m in Luft
- Reichweite von γ - und Neutronenstrahlen in Luft ist sehr groß