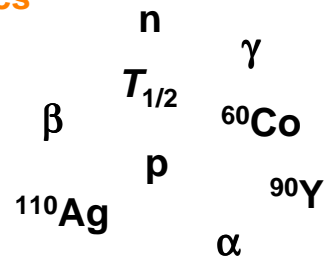


### Saturday Morning Physics

27. November 2010

Anna Maria Heilmann  
und Hannah Yasin

Institut für Kernphysik  
Technische Universität Darmstadt



Basierend auf den physikalischen Grundlagen, die in der Vorlesung „Quanten bei höchsten Energien“ von Professor Enders erarbeitet wurden, werden ausgewählte Experimente um radioaktive Strahlung durchgeführt.

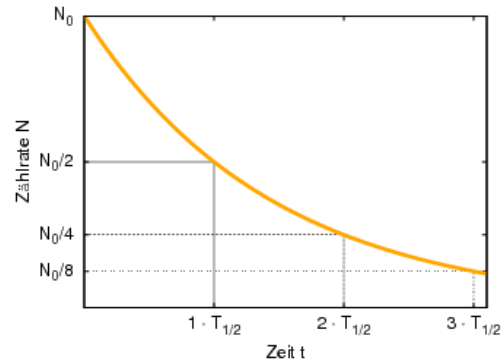
### Ablauf

1. Bestimmung der Halbwertszeit von  $^{110}\text{Ag}$
2. Reichweite von  $\alpha$ -Teilchen
3. Kann  $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden?
4. Wie schnell sind  $\beta$ -Teilchen?

In dem ersten Abschnitt wird das Prinzip der Bestimmung der Halbwertszeit anhand des Isotops Ag-110 gezeigt.

## Was ist eine Halbwertszeit?

Zeitspanne in der die Anzahl der Zerfälle auf die Hälfte abfällt



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 3

Atomkerne zerfallen, falls beim Übergang vom Mutterkern in den Tochterkern Energie freigesetzt wird. Dies ist ein statistischer Prozess. Das heißt, es lässt sich keine Vorhersage treffen zu welchem Zeitpunkt ein einzelner Atomkern zerfällt. Betrachtet man jedoch eine große Anzahl von Atomkernen, so lässt sich sagen wieviele Teilchen im Mittel nach einer gewissen Zeit zerfallen sind. Die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  bezeichnet die Zeitspanne, nach der nur noch die Hälfte der Kerne vorhanden ist.

## Halbwertszeiten einiger Nuklide

Uran-238	$4,4 \cdot 10^9$ Jahre	$\alpha$	Milliarden Jahre
Cäsium-137	30,2 Jahre	$\beta^-$	Jahre
Iod-131	8,0 Tage	$\beta^-$	Tage
Thorium-231	25,5 Stunden	$\beta^-$	Stunde
Radon-220	55,6 Sekunden	$\alpha$	Sekunden
Polonium-214	$1,6 \cdot 10^{-4}$ Sekunden	$\alpha$	Milli-Sekunden

Lebensalter der Erde:  $4,7 \cdot 10^9$  Jahre

27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 4

Halbwertszeiten überdecken einen weiten Bereich von Millisekunden bis hin zum Lebensalter der Erde. Dabei hängt die Halbwertszeit unter anderem davon ab, wie viel Energie beim Übergang vom Mutter- in den Tochterkern freigesetzt wird. Da die Halbwertszeit von Uran-238 ungefähr so groß wie das Lebensalter der Erde ist noch ungefähr die Hälfte des anfänglich vorhandenen Uran-238 auf der Erde vorhanden.

## Experiment zur Bestimmung der Untergrundstrahlung

Film zur Untergrundstrahlung

- 211 Ereignisse in 300 s
- 7 Ereignisse in 10 s



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 5

Wir sind umgeben von natürlicher radioaktiver Strahlung: So zerfallen im lebenden Menschen 9000 Atomkerne pro s (9000 Bq). Die radioaktiven Isotope nimmt der Mensch mit der Nahrung und Wasser zu sich. Der Hauptanteil der Aktivität stammt von Kohlenstoff-14 und Kalium-40. Eine weitere Strahlungsquelle ist Radon-222, welches ein Zerfallsprodukt der Uran-238 Reihe ist. Da es sich bei Radon um ein Edelgas handelt, kann es aus dem Boden entweichen und wird mit der normalen Luft eingeatmet. Eine weitere Ursache ist die kosmische Strahlung, die auch auf dem Boden detektiert wird.

Um bei dem späteren Experiment zu wissen wieviele Ereignisse dem Untergrund zuzuordnen sind, wird zunächst nur der Untergrund gemessen. Unser Detektor, ein Geiger-Müller-Zählrohr, befindet sich innerhalb eines Bleiklotzes um die Umgebungsstrahlung bestmöglich abzuschirmen.

## Geeignetes Isotop für die Bestimmung der Halbwertszeit bei SatMorPhy ?

Halbwertszeiten einiger Isotope

Uran-238	Milliarden Jahre
Cäsium-137	Jahre
Iod-131	Tage
Thorium-231	Stunde
Radon-220	Sekunden
Polonium-214	Milli-Sekunden

27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 6

Um während des SatMorPhy Vortrags eine Halbwertszeit eines radioaktiven Isotops zu bestimmen, sollte es eine Halbwertszeit zwischen 10 Sekunden und 5 Minuten besitzen. So können mehrere Halbwertszeiten abgewartet werden.

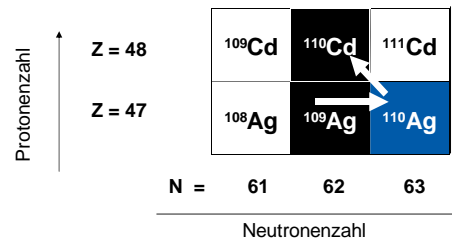
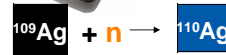
## Erzeugen eines radioaktiven Isotops

Prinzip:

Stabiles Isotop z.B. Silberblech



Wie? **Neutronenbeschuss**



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 7

Radioaktive Isotope können auch künstlich erzeugt werden. Wenn das stabile Silberisotop mit der Massenzahl 109 ein Neutron einfängt, entsteht das instabile Silberisotop mit der Massenzahl 110. Die Nuklidkarte ist eine graphische Anordnung aller Atomkerne. Bei der Auftragung nimmt die Anzahl der Protonen nach oben zu und die Anzahl der Neutronen nach rechts zu. Nimmt  $^{109}\text{Ag}$  ein Neutron auf, so wandert es eine Stelle nach rechts ( $^{110}\text{Ag}$ ). Dieses zerfällt über den  $\beta$ -Zerfall und wandelt dabei im Kern ein Neutron in ein Proton um. Die Protonenzahl nimmt also um 1 zu, während sich die Neutronenzahl um 1 verringert.

## Neutronenquelle

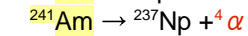
Kommen Neutronen natürlich vor?

Nein, sie zerfallen  
( $\beta$ -Zerfall,  $T_{1/2}=15$  Minuten)

Künstlich erzeugen

Wie ? Americium – Beryllium Gemisch

Was ist das?  $^{241}\text{Am}$  Isotop Alphazerfall



Und Neutronen? Alpha-Teilchen macht Kernreaktion mit Be Kern:

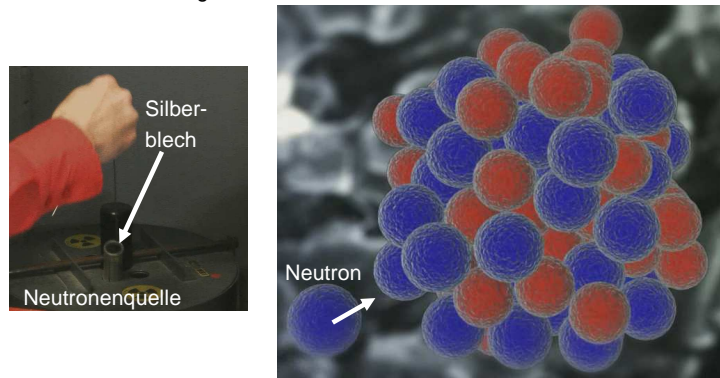


27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 8

Ein Neutron, das nicht in einem Atomkern gebunden ist, zerfällt mit einer Halbwertszeit von 14,75 Minuten. Eine Möglichkeit Neutronen künstlich zu erzeugen ist ein Americium-Beryllium Gemisch. Dabei zerfällt  $^{241}\text{Am}$  über einen  $\alpha$ -Zerfall. Nach einer Kernreaktion des  $\alpha$ -Teilchens mit  $^9\text{Be}$  entsteht ein freies, ungebundenes Neutron.

## Aktivierung von $^{109}\text{Ag}$

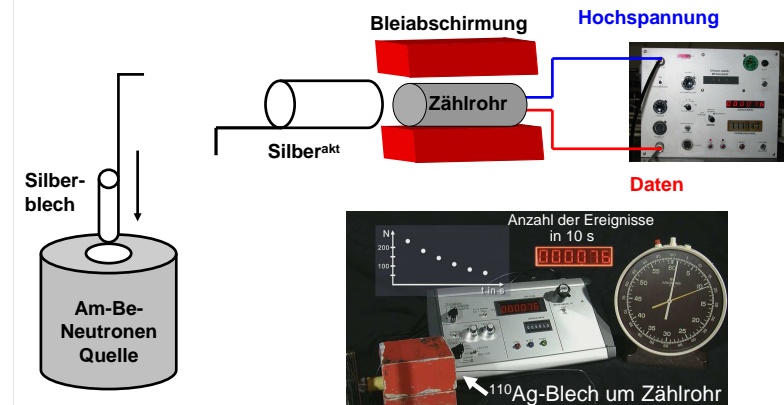
- Film zur Aktivierung



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 9

Fängt  $^{109}\text{Ag}$  ein Neutron ein, so entsteht  $^{110}\text{Ag}$ . Dazu wird das Silberblech in die Neutronenquelle eingeführt.

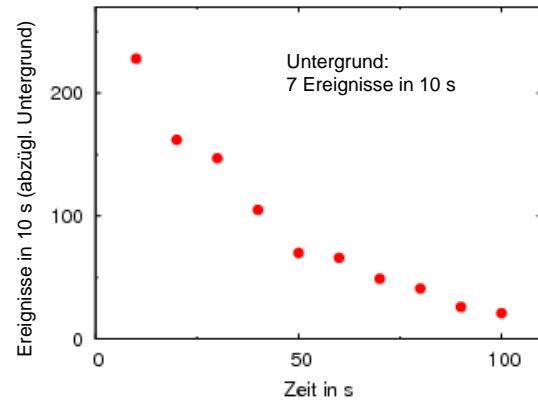
## Versuchsaufbau zur Bestimmung der Halbwertszeit von $^{110}\text{Ag}$



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 10

Das Silberblech ( $^{109}\text{Ag}$ ) wird in die Neutronenquelle eingeführt und ca. 1 Minute den Neutronen ausgesetzt. Durch Neutroneneinfang entsteht das instabile  $^{110}\text{Ag}$ . Das aktivierte Silberblech ( $^{110}\text{Ag}$ ) wird um das Geiger-Müller-Zählrohr geschoben, und die Anzahl der Zerfälle innerhalb von 10 s werden gemessen.

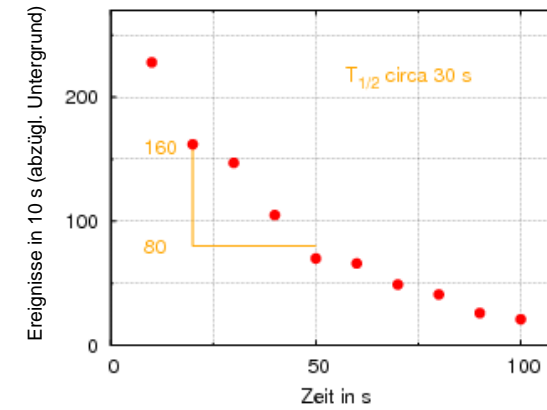
## Abziehen der Untergrundzählrate



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 11

Da wir von natürlicher radioaktiver Strahlung umgeben sind, muss dieser Effekt (7 Ereignisse in 10 s) von allen Datenpunkten abgezogen werden.

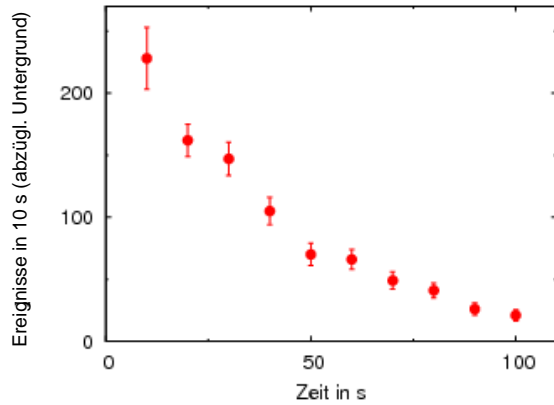
## Abschätzung der Halbwertszeit



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 12

Mit dieser Auftragung lässt sich bereits die Halbwertszeit auf ca. 30 s abschätzen.

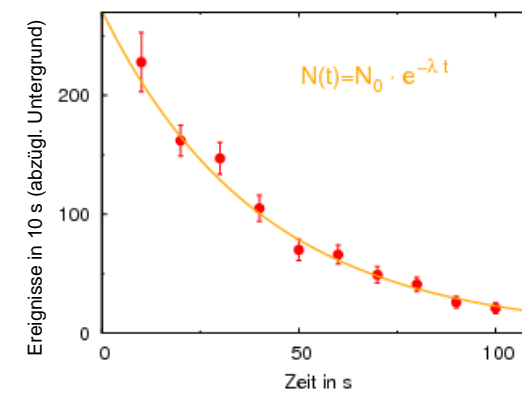
## Berücksichtigen des statistischen Fehlers



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 13

Kernzerfälle sind statistisch verteilte Prozesse, daher ist jeder Messwert mit einem statistischen Fehler behaftet. In kernphysikalischen Experimenten beträgt der statistische Fehler genau die Wurzel aus dem Messwert. So hat der Messwert 169 die Ungenauigkeit  $\pm 13$ . Bei 100 beträgt die Ungenauigkeit 10, bei 36  $\rightarrow 6$  und bei 20  $\rightarrow 4.47$ .

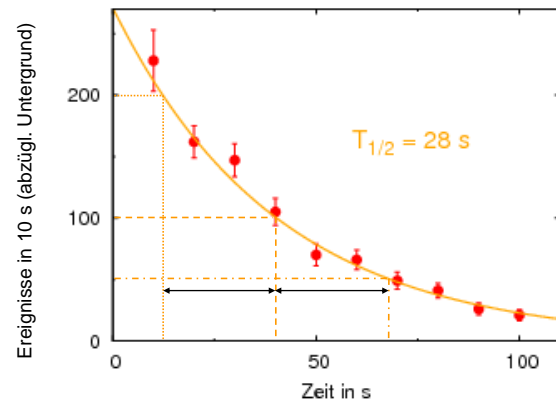
## Fit mit Exponentialfunktion



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 14

Die orange Linie ist eine Exponentialfunktion, die an die Daten gefittet wurde. Sie beschreibt die Datenpunkte gut. Dabei steht  $N_0$  für die am Zeitpunkt  $t=0$  die Anzahl der Ereignisse. Je größer die Zerfallskonstante  $\lambda$  ist, desto steiler ist die Kurve, und umso kürzer ist die Halbwertszeit  $T_{1/2}$ .

## Radioaktiver Zerfall verläuft exponentiell



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 15

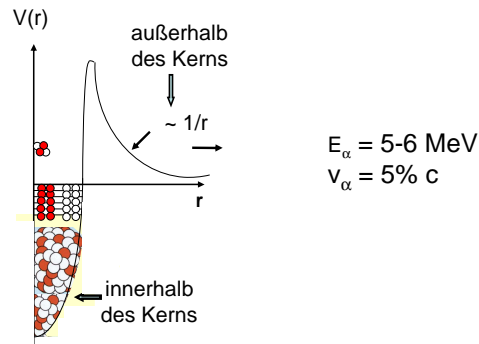
Die Halbwertszeit lässt sich so direkt aus dem Graphen ablesen. Das Ergebnis der Halbwertszeit ist unabhängig davon, an welcher Stelle sie abgelesen wird.

## Experimente zur Radioaktivität

### Ablauf

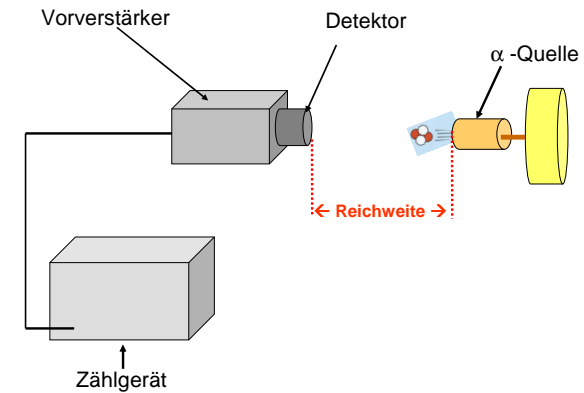
1. Bestimmung der Halbwertszeit von  $^{110}\text{Ag}$
2. Reichweite von  $\alpha$ -Teilchen
3. Kann  $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden?
4. Wie schnell sind  $\beta$ -Teilchen?





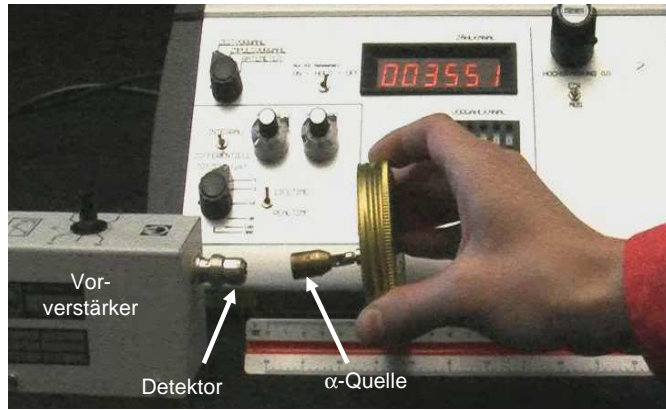
27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 17

Beim Alpha-Zerfall verbinden sich innerhalb des Kerns 2 Protonen und 2 Neutronen und bilden gemeinsam ein  $\alpha$ -Teilchen. Durch die Bindung zu einem Atomkern wird eine gewisse Energie frei. In dem Falle von einem alpha-Teilchen sind das 7 MeV pro Kernbaustein, also insgesamt 28 MeV. Dennoch befindet sich das  $\alpha$ -Teilchen innerhalb des Kerns und stößt gegen die „Potentialwand“. Aufgrund der endlichen Dicke und Höhe der Potentialbarriere können alpha-Teilchen durch die Wand hindurch tunneln. Die Tunnelwahrscheinlichkeit ist dabei umgekehrt proportional zur Halbwertszeit des Kerns. Der Prozess des  $\alpha$ -Zerfalls tritt nur bei schweren Kernen auf.



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 18

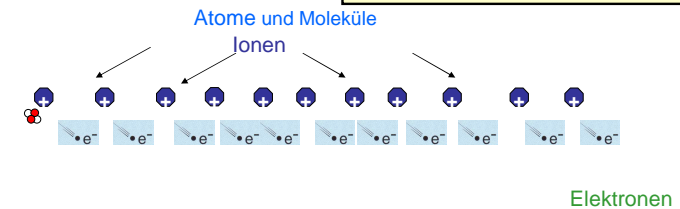
Um die Reichweite von  $\alpha$ -Teilchen zu bestimmen, benötigt man einen Detektor (z.B. Halbleiterdetektor), einen Vorverstärker um das Messsignal zu verstärken sowie ein Zählgerät. Durch Variation des Abstands zwischen Quelle und Detektor kann die Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen gemessen werden.



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 19

Die Reichweite von  $\alpha$ -Teilchen in Luft beträgt typischerweise 3-5 cm. Die Werte unterscheiden sich hinsichtlich des Radionuklids, aber auch in der Beschaffenheit der Quelle. So wird meist aus strahlenschutztechnischen Gründen mit geschlossenen Quellen gearbeitet. Eine dünne Metallfolie, die um die Quelle angebracht ist, bremst die  $\alpha$ -Teilchen bereits teilweise ab, bevor sie in die Luft gelangen. Bringt man ein Blatt Papier zwischen Quelle und Detektor, so werden die  $\alpha$ -Teilchen bereits im Papier gestoppt. Die  $\alpha$ -Teilchen lassen sich also leicht abschirmen, können aber wenn sie sich im Körper befinden einen hohen Schaden anrichten.

N - Zahl der Elektronen-Ionen-Paare  
 $N = \text{Energie} (\alpha, \beta) / E_{\text{Ion}}$   
 $N = 6 \text{ MeV} / 30 \text{ eV} = 2 \cdot 10^5$   
 → Endliche Reichweite geladener Teilchen



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 20

Alphateilchen werden in Materie abgebremst. Aufgrund der hohen Masse und der niedrigen Geschwindigkeit ist ihre Reichweite vergleichsweise kurz. Durch die zweifach positive Ladung von  $\alpha$ -Teilchen, umgibt sie ein elektrisches Feld. Dieses wiederum zieht Elektronen aus ungeladenen Atomen und Molekülen an, und ionisiert sie somit. Die Elektronen werden aus dem Atomkern herausgeschlagen, und es bleiben geladenen Atome zurück, die als Ionen bezeichnet werden. Jedes Mal, wenn das  $\alpha$ -Teilchen ein Elektron heraus schlägt gibt es Energie ab. Insgesamt kann es 200.000 Mal den Prozess der Ionisation durchführen. Danach ist die kinetische Energie verbraucht, und das  $\alpha$ -Teilchen ist gestoppt.

## Experimente zur Radioaktivität



### Ablauf

1. Bestimmung der Halbwertszeit von  $^{110}\text{Ag}$
2. Reichweite von  $\alpha$ -Teilchen
3. Kann  $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden?
4. Wie schnell sind  $\beta$ -Teilchen?

## Kann $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden?



$\alpha$ -Teilchen	$\gamma$ -Strahlung
massives $^4\text{He}$ -Teilchen	Licht mit extrem kurzer Wellenlänge
$r_\alpha$ in Luft: 3 bis 5 cm $r_\alpha$ in Materie: 1/10 mm	Endliche Reichweite ?
Energieverlust durch Ionisation	Wechselwirkung mit Materie über Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung

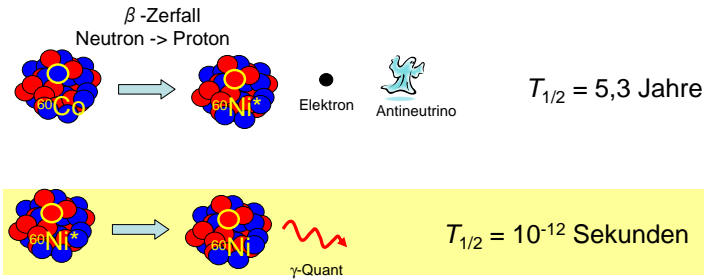
27. November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 22

Die Eigenschaften von  $\alpha$ -Teilchen und  $\gamma$ -Strahlung sind sehr unterschiedlich. Die  $\alpha$ -Teilchen sind massiv, verlieren ihre kinetische Energie durch Ionisation und haben daher nur eine geringe Reichweite  $r_\alpha$ . In Luft beträgt sie 3-5 cm und in Materie nur 1/10 mm. Daher lassen sich  $\alpha$ -Teilchen schon durch ein einfaches Blatt Papier abschirmen.

Hingegen versteht man unter  $\gamma$ -Strahlung elektromagnetische Strahlung mit einer extrem kurzen Wellenlänge, und damit einer hohen Energie. Während sichtbares Licht eine Wellenlänge von 400-800 nm ( $n = \text{nano} = 10^{-9}$ ) besitzt liegt die Wellenlänge von  $\gamma$ -Strahlung im Bereich von 1 pm ( $p = \text{pico} = 10^{-12}$ ). Auch mit mehreren cm dicke Bleischichten lässt sich  $\gamma$ -Strahlung nicht vollständig abschirmen. Über den Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung wechselwirkt  $\gamma$ -Strahlung mit der Umgebung.

## Kann $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden?

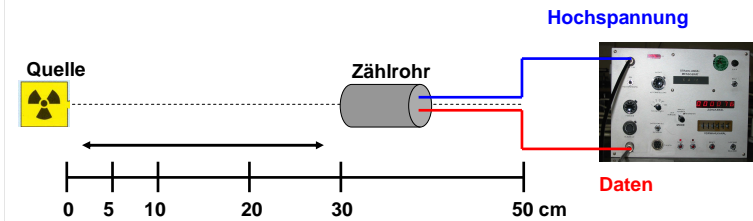
### ▪ Woher kommen die $\gamma$ -Quanten?



Atomkerne können angeregt werden. Dabei speichern sie ihre Energie beispielsweise in der Form von Vibrationsbewegungen oder Rotationsbewegungen. Es können sich auch einzelne Protonen oder Neutronen

in energetisch höheren Bahnen befinden. Wenn ein Atomkern von einem angeregten Zustand wieder zurück in den Grundzustand geht, sendet er seine Energie in Form von Gamma-Strahlung aus.

## Versuchsaufbau zur Abschirmung von $\gamma$ -Strahlung

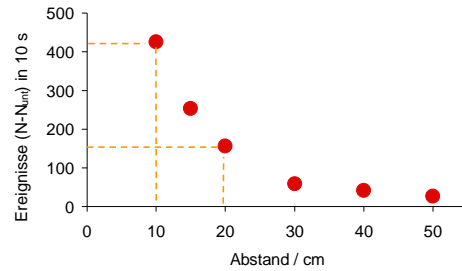


Abstand halten ist einer der wichtigsten Regeln im Umgang mit radioaktiven Materialien. Der Versuch zeigt wie die Zählrate mit wachsendem Abstand abnimmt. Dazu wird der Abstand zwischen dem Geiger-Müller-Zählrohr und der Quelle variiert.

## Zusammenhang Intensität- Abstand

$N_{\text{unt}} = 10$  Ereignisse in 10 s

d in cm	N in 10 s	$N - N_{\text{unt}}$ in 10s
10	435	425
15	264	254
20	166	156
30	69	59
40	51	41
50	37	27

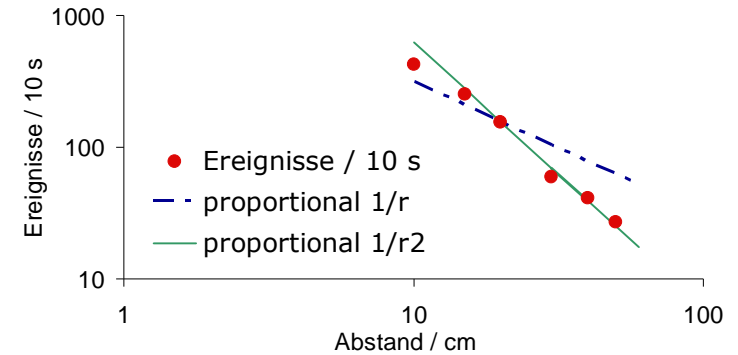


Doppelter Abstand  $\rightarrow$   $\frac{1}{4}$  Ereignisse

27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 25

Die Messwerte sind links in der Tabelle aufgetragen. Dabei ist d der Abstand zwischen Quelle und Detektor. Die Anzahl der Ereignisse innerhalb von 10 s werden mit N bezeichnet. Die Untergrundzählrate  $N_{\text{unt}}$  beträgt bei diesem Aufbau 10 Ereignisse in 10 s.

## Zusammenhang Intensität- Abstand



27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 26

Hier sind die gleichen Datenpunkte in einer doppelt-logarithmischen Auftragung gezeigt. Hyperbeln ( $f(x) \sim 1/x$ ) werden in dieser Auftragung zu einer Geraden mit der Steigung -1,  $f(x) \sim 1/x^2$  zu einer Geraden mit der Steigung -2. Eine quadratische Parabel ( $f(x) \sim x^2$ ) wird zu einer Geraden mit der Steigung +2.

Die gemessenen Daten verlaufen in dieser Darstellung nahezu linear. Die Anpassung mit einer Funktion  $\sim 1/x^2$  beschreibt die Daten deutlich besser als eine  $\sim 1/x$ .

## Kann $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden?

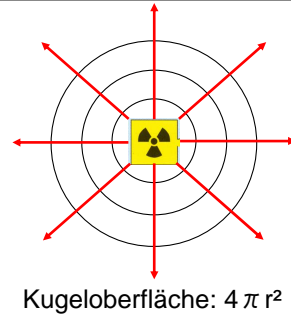
- Ergebnis der Abstandsmessung:

$$I(r) \sim 1/r^2$$

r: Abstand Quelle - Detektor

- Erklärung:

isotrope Abstrahlung der Quelle  
in alle Raumrichtungen



Kugeloberfläche:  $4 \pi r^2$

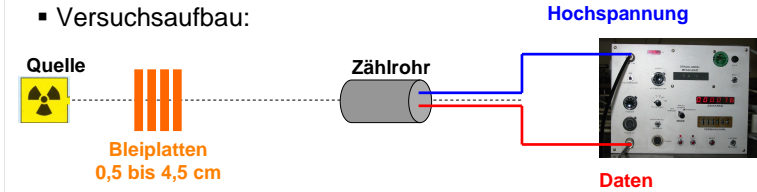
Doppelter Abstand  
 $\rightarrow \frac{1}{4}$  der Intensität

Die Ursache, dass der Abstand  $\sim 1/r^2$  verläuft liegt an der isotropen Abstrahlung der Quelle in alle Raumrichtungen. Der Detektor hat nur eine bestimmte empfindliche Oberfläche. Umso weiter man von der Quelle entfernt ist, desto geringer ist das Verhältnis von sensitiver Fläche/ Kugeloberfläche. So kann man bei durch Verdopplung des Abstands, die Anzahl der Ereignisse auf ein Viertel verringern.

## Kann $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden?

- Weitere Idee:  
 $\gamma$ -Quanten in Materie abstoppen

- Versuchsaufbau:



Die Abschwächung von  $\gamma$ -Strahlung wird überprüft, indem mehrere Bleiplatten zwischen Zählrohr und Detektor gebracht werden. Auch wenn eine Abschwächung stattfindet, können  $\gamma$ 's nie vollständig abgeschirmt werden.

## Ergebnis der Abschirmung mit Blei

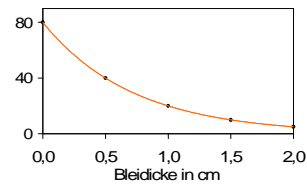
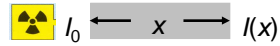
- statistisch verteilte Prozesse  
d.h. auf einer gewissen Strecke  $dx$  wechselwirkt das  $\gamma$ -Quant oder nicht  
d.h. die Anzahl der  $\gamma$ -Quanten im Strahl (Intensität  $I$ ) ändert sich

- mathematische Beschreibung:

$$dI \propto I \cdot dx$$

$$dI = -\mu \cdot I \cdot dx \text{ mit } \mu: \text{ materialabhängiger Absorptionskoeffizient}$$

$$I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot x)$$



- $\gamma$ -Quanten haben keine endliche Reichweite

27. November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 29

Nach Trennung der Variablen:  $1/I \, dI = -\mu \cdot dx$  und Integration ergibt sich  $\ln(I) - \ln(I_0) = -\mu \cdot x$ . Nach Anwenden des Logarithmusgesetzes  $\ln(a) + \ln(b) = \ln(a \cdot b)$  folgt:  $\ln(I/I_0) = -\mu \cdot x$ .

Wird nun die Exponentialfunktion auf beiden Seiten angewandt ergibt sich  $\exp(\ln(I/I_0)) = \exp(-\mu \cdot x)$ . Die Exponentialfunktion und die Logarithmusfunktion sind Umkehrfunktionen und heben sich daher gegenseitig auf:  $I/I_0 = \exp(-\mu \cdot x)$ . Damit folgt:  $I(x) = I_0 \exp(-\mu \cdot x)$ . Auch bei mehreren cm dicken Bleischichten werden noch Ereignisse registriert. Daher macht die Beschreibung mit der Exponentialfunktion Sinn: Auch die Exponentialfunktion nähert sich Null asymptotisch an, erreicht sie jedoch nie.

## Experimente zur Radioaktivität

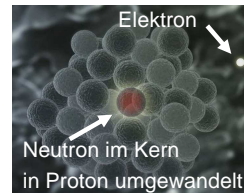
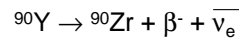
### Ablauf

- Bestimmung der Halbwertszeit von  $^{110}\text{Ag}$
- Reichweite von  $\alpha$ -Teilchen
- Kann  $\gamma$ -Strahlung abgeschirmt werden?
- Wie schnell sind  $\beta$ -Teilchen?

## Wie schnell sind $\beta$ -Teilchen?

- Zur Erinnerung  $\alpha$ 's:  $E_\alpha = 5-6 \text{ MeV}$   
 $v_\alpha = 5\% c$

- Woher kommen die  $\beta$ -Teilchen?



- Messprinzip:  
Ablenkung geladener Teilchen im Magnetfeld (Lorentzkraft)  
hängt von Geschwindigkeit ab

Die Geschwindigkeit von  $\beta$ -Teilchen, die bei dem  $\beta$ -Zerfall aus dem Kern geschossen werden, kann mit Hilfe eines Magnetfeldes und eines Detektors gemessen werden.

## Wie schnell sind $\beta$ -Teilchen? - Kräftebetrachtung

Lorentzkraft

$$F_L = q \cdot v \cdot B$$

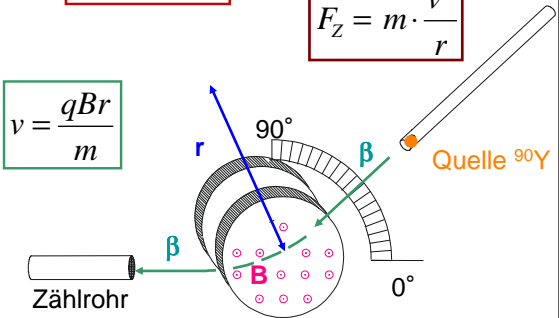
$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

Zentripetalkraft

$$F_Z = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

Geschwindigkeit

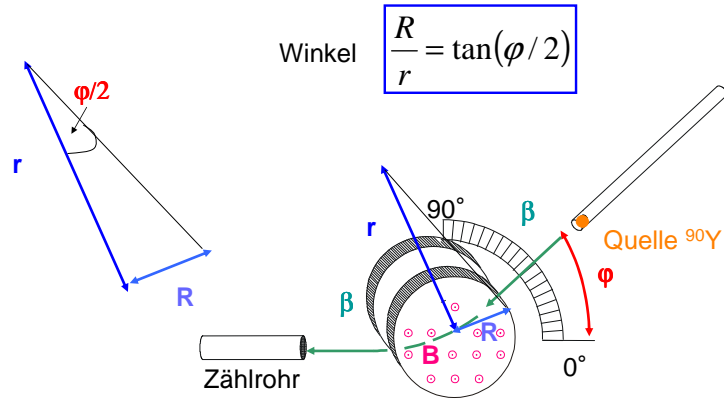
$$v = \frac{qBr}{m}$$



Die Kraft, welche geladene Teilchen auf einer Kurve ablenkt, wird Lorentzkraft gena.nnt. Sie ist umso größer, je höher die Ladung  $q$  des Teilchens ist, je größer die Geschwindigkeit  $v$  des Teilchens ist und umso stärker das Magnetfeld  $B$  ist. Da die Teilchen auf einer Kurve mit dem Radius  $r$  abgelenkt werden, wird die Lorentzkraft mit der Zentripetalkraft gleichgesetzt. Dabei ist  $m$  die Masse des Teilchens. Bis auf die Geschwindigkeit  $v$  sind alle anderen Größen bekannt oder können experimentell bestimmt werden.

Der Versuchsaufbau ist wie folgt: Die Elektronen schießen aus der Quelle, gelangen in das Magnetfeld, und werden auf einer Kreisbahn abgelenkt und im Zählrohr detektiert. Aus praktischen Gründen wird die Position der Quelle geändert.





Der Radius kann mithilfe von geometrischen Überlegungen bestimmt werden. Der Radius  $r$  der Ablenkung ist gleich dem Radius  $R$  der Spule multipliziert mit dem Tangens von dem halben Ablenkungswinkel.

Geschwindigkeit  $v = \frac{qBr}{m}$  Winkel  $\frac{R}{r} = \tan(\varphi/2)$

Zusammenhang Geschwindigkeit und Winkel:

$$v = \frac{q}{m} \cdot \frac{BR}{\tan(\varphi/2)}$$

Ergebnis (nichtrelativistisch)

~~$$v = 9 \cdot 10^8 \text{ m/s} \approx 3 \cdot c$$~~

Daraus lässt sich der Zusammenhang von Geschwindigkeit und Winkel bestimmen. Bei nichtrelativistischer Rechnung ist jedoch das Ergebnis für die Geschwindigkeit, einem vielfachen der Lichtgeschwindigkeit, unphysikalisch.

relativistische Masse  $m = m_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

Zusammenhang Geschwindigkeit und Winkel:

$$v = \frac{q}{m_0} \cdot \frac{BR}{\tan(\varphi/2)} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Ergebnis (relativistisch):  $v = 95\% \cdot c$

Unter Berücksichtigung der relativistischen Masse ergibt sich als Geschwindigkeit der  $\beta^-$  Teilchen 95% der Lichtgeschwindigkeit.

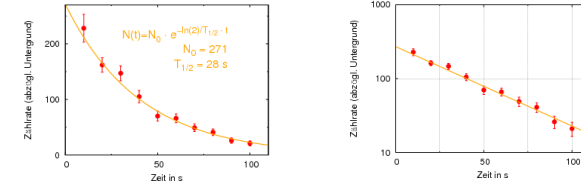
- 95 % der Lichtgeschwindigkeit
- 15 Mal Darmstadt – Rio de Janeiro und zurück : in 1 s
- 1 Mal Darmstadt – Mond: in 1,2 s

## Zusammenfassung

- Halbwertszeit von  $^{110}\text{Ag}$ :  $T_{1/2} \approx 28$  Sekunden
- Reichweite von Alpha-Strahlen in Luft wenige cm  
Abschirmung durch Blatt Papier
- $\gamma$ -Strahlung hat keine endliche Reichweite  
→ Intensität  $\sim 1/r^2$   
→ Abschwächung der Intensität in Materie: exponentiellem Abfall
- $\beta$ - Teilchen sind etwa 95%·c schnell

Selbst mit relativ einfachen Experimenten lassen sich wesentliche Eigenschaften von  $\alpha$  -,  $\beta$  - und  $\gamma$  - Strahlung bestimmen.

## Logarithmische Darstellung



$N(t) = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right)$  | natürlichen Logarithmus auf beide Seiten anwenden

$\ln(N(t)) = \ln\left(N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right)\right)$  | Logarithmus-Gesetz anwenden:  $\ln(a \cdot b) = \ln a + \ln b$

$\ln(N(t)) = \ln(N_0) + \ln\left(\exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right)\right)$  | exp und ln heben sich auf

$\ln(N(t)) = \ln(N_0) - \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t$  | umstellen

$\ln(N(t)) = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t + \ln(N_0)$  | Variablen umbenennen

$y(x) = -m \cdot x + \text{Konstante}$  → Geradengleichung

Übergang von linearer zur logarithmischen Skalierung: Eine Exponentialfunktion wird in logarithmischer Darstellung zu einer Geraden, wobei die Geradensteigung dem Exponent entspricht.

Im Zeitintervall  $dt$  zerfallen  $dN$  von  $N$  Kernen:

$$dN \sim -N dt$$

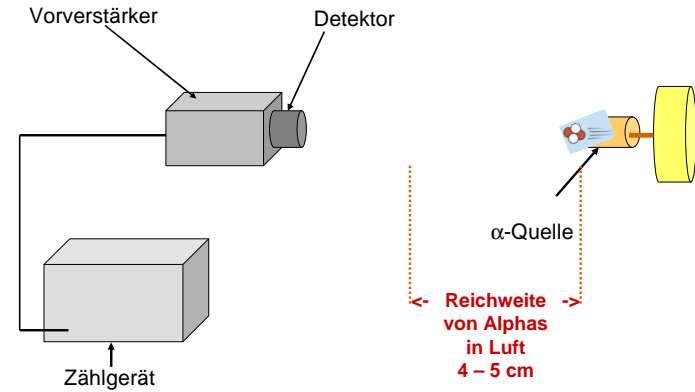
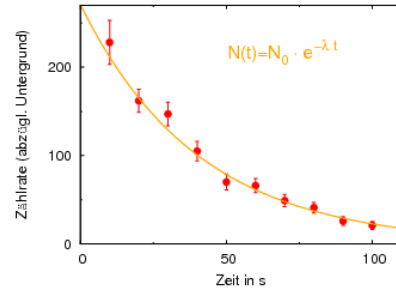
$$dN = -\lambda N dt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{1}{N} dN = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\ln(N) - \ln(N_0) = -\lambda t$$

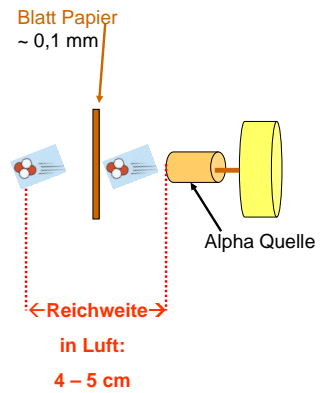
$$\ln(N/N_0) = -\lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$



Der Versuchsaufbau besteht aus einem Halbleiterzähler, dessen Signal mit einem Vorverstärker verstärkt wird und zum Zählgerät gebracht wird. Gelangen  $\alpha$ -Strahlen zum Detektor, so wird dieses registriert. Durch die geringe Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Luft (ca. 4-5 cm) ist die Abschirmung durch Luft selbst ausreichend.

## Kann $\alpha$ -Strahlung abgeschirmt werden?

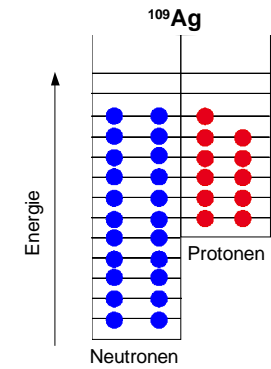


27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 41

Die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Luft beträgt wenige  $\mu\text{m}$ . Ein Blatt Papier kann bereits  $\alpha$ -Strahlung absorbieren.

## Kann man das noch besser verstehen? Prozess der Aktivierung im Potentialtopf

$^{109}\text{Ag}$  52 Neutronen (gerade)  
47 Protonen (ungerade)



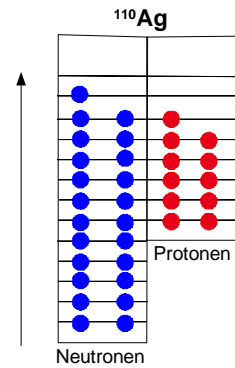
27.November 2010 | Saturday Morning Physics | Anna Maria Heilmann und Hannah Yasin | Institut für Kernphysik | Fachbereich Physik | 42

## Prozess der Aktivierung im Potentialtopf

$^{109}\text{Ag}$  52 Neutronen (gerade)  
47 Protonen (ungerade)

Neutroneneinfang

$^{110}\text{Ag}$  53 Neutronen (ungerade)  
47 Protonen (ungerade)



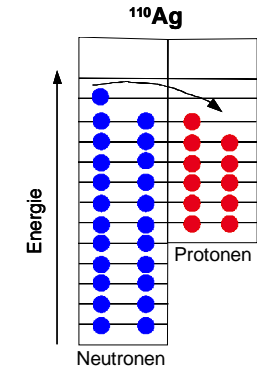
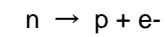
## Prozess der Aktivierung im Potentialtopf

$^{109}\text{Ag}$  52 Neutronen (gerade)  
47 Protonen (ungerade)

Neutroneneinfang

$^{110}\text{Ag}$  53 Neutronen (ungerade)  
47 Protonen (ungerade)

Radioaktiver Zerfall



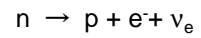
## Prozess der Aktivierung im Potentialtopf

$^{109}\text{Ag}$  52 Neutronen (gerade)  
47 Protonen (ungerade)

Neutroneneinfang

$^{110}\text{Ag}$  53 Neutronen (ungerade)  
47 Protonen (ungerade)

Radioaktiver Zerfall



Endprodukt

$^{110}\text{Cd}$  52 Neutronen (gerade)  
48 Protonen (gerade)

