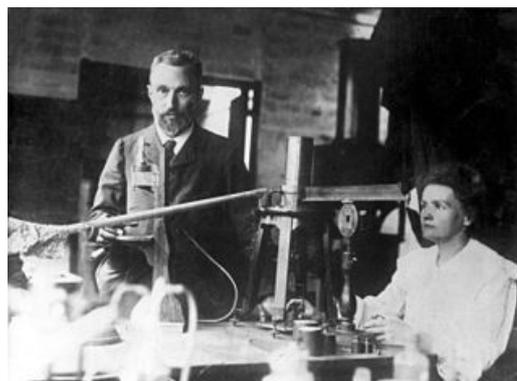


Radioaktivität, die natürlichste Sache der Welt

10. Januar 2020



Henri Becquerel



Pierre und Marie Curie

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	2
1.1	Physik macht Spaß! Oder?	2
1.2	Grundsätze des Strahlenschutzes	2
2	Grundwissen für dieses Experiment	3
2.1	Historisches zur radioaktiven Strahlung	3
2.2	Das Geiger-Müller-Zählrohr	4
2.3	Ablenkung geladener Teilchen im Magnetfeld	4
2.4	Mathematische Methoden der Physik: Logarithmieren	5
3	Die Experimente	6
3.1	Bestimmung der Nullrate	6
3.2	Untersuchung der Radioaktivität verschiedener Stoffe	7
3.3	Abschirmung von Kernstrahlung	8
3.4	Ablenkung der Strahlung im Magnetfeld	9
3.5	Abstandsgesetz	10
3.6	Bestimmung der Halbwertsdicke von Blei	11
4	Radioaktivität, die natürlichste Sache der Welt?	12
5	Quellen	12

1 Vorwort

1.1 Physik macht Spaß! Oder?

Die meisten Physik-Bücher beginnen damit, das vorhandene physikalische Wissen zum jeweiligen Thema aufzulisten. *Dieses Skript nicht.* Warum?

Neue Erkenntnisse in den Naturwissenschaften entstehen dadurch, dass man die Natur beobachtet, sie auf Basis des bereits vorhandenen Wissens mathematisch modelliert und gezielt Experimente zur Beantwortung ungeklärter Fragen durchführt.

In der Schule läuft dies jedoch häufig anders herum: Man weiß bereits, was herauskommt, und die Leistung des lernenden Schülers oder der Schülerin besteht in vielen Fällen daraus, dass er oder sie die mathematischen Rechnungen oder die physikalischen Experimente einfach nur nachvollzieht. So wird der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung kaum greifbar. Die Naturwissenschaften erscheinen „statisch“, der ihnen innewohnenden kreative Prozess ist nicht erkennbar. Vielleicht ist dies ein Grund (neben anderen), warum das Fach Physik in der Schule eher unbeliebt ist.

Hier im PhysLab (<https://www.physik.fu-berlin.de/physlab>) wollen wir Sie dazu anhalten, sich auf diesen kreativen Prozess einzulassen! Daher möchten wir die Lösungen nicht vorab verraten („Spoiler“), sondern Sie sollen selbst versuchen, durch Ihre Experimente, Diskussionen und Rechnungen möglichst viel über radioaktive Strahlung herauszufinden! Und selbst wenn Sie in der Schule schon einiges darüber gelernt haben („es gibt die ...-Strahlung, diese besteht aus ...“), so vergessen Sie diese Kenntnisse doch einmal für zwei oder drei Stunden und erarbeiteten Sie sie sich durch eigenes Experimentieren selbst! Ein selbst gebackener Kuchen schmeckt ja auch besser als ein gekaufter - zumindest meistens ☺.

Und keine Sorge, falls Sie irgendwelche Probleme nicht lösen können, helfen wir Ihnen!

In diesem Sinne: Viel Spaß beim Experimentieren und Knobeln!

1.2 Grundsätze des Strahlenschutzes

Der für die Versuche vorgesehene [Radium-226-Strahler](#), liegt mit seiner Aktivität¹ von 3,3 kBq unterhalb der in der [Strahlenschutzverordnung \(StrSchV\)](#) definierten Freigrenze. Damit ist der Strahler für Schülerexperimente zugelassen, dennoch müssen die folgenden Strahlenschutzgrundsätze eingehalten werden, was nur durch einen umsichtigen Umgang mit dem Strahler erreicht werden kann.

Wegen der Gefahren muss mit strahlenerzeugenden Einrichtungen und radioaktiven Stoffen besonders sorgfältig umgegangen werden. Die wichtigsten Grundsätze des Strahlenschutzes sind (Paragraph 28 [StrSchV](#)):

- Jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt ist zu vermeiden.
- Jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt, unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles, auch unterhalb der in der Strahlenschutzverordnung festgesetzten Grenzwerte, ist so gering wie möglich zu halten.

¹Die Einheit der Aktivität ist Becquerel (Bq); dies sind Zerfälle pro Sekunde.

Die **wichtigsten Schutzmaßnahmen** gegen eine äußere Bestrahlung sind:

- eine möglichst gute Abschirmung,
- ein möglichst großer Abstand von der Strahlenquelle,
- eine möglichst kurze Aufenthaltsdauer im Bereich der Strahlung.
- **In der Nähe der Strahlenquelle wird nicht gegessen, getrunken und geraucht! Nach Beendigung des Experimentierens sind die Hände zu waschen!**

Es sei allerdings angemerkt, dass der von uns verwendete Strahler nur eine sehr geringe Intensität hat und außerdem „geschlossen“ ist, d.h. die radioaktive Substanz ist fest in eine Schutzhülle eingepackt. Eine Gefährdung von Personen ist daher praktisch ausgeschlossen.

Dennoch:

Es ist gut, sich *immer* an diese Grundsätze des Strahlenschutzes zu halten!

2 Grundwissen für dieses Experiment

Jedes Experiment basiert auf einem Vorwissen, das man haben muss, um das Experiment zu entwickeln oder zumindest seinen Zweck und Ablauf zu verstehen. In diesem Teil des Skripts verraten wir Ihnen, welches Wissen Sie brauchen, um das Experiment erfolgreich durchzuführen und auszuwerten.

2.1 Historisches zur radioaktiven Strahlung

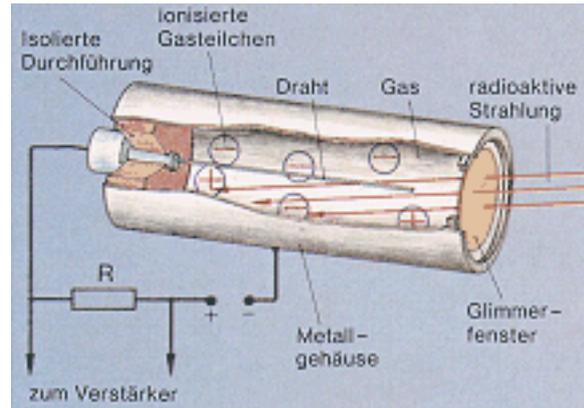
1886 wurde von dem französischen Physiker [Henri Becquerel](#) bei der Untersuchung von Uransalzen zufällig die Radioaktivität entdeckt. Er stellte fest, dass lichtempfindliche, fotografische Materialien, welche in schwarzem Papier verpackt waren, durch eine bis dahin unbekannte Strahlung, die von den Uransalzen ausging, belichtet wurden. Ausgehend von Becquerels Entdeckungen untersuchten das Ehepaar [Pierre](#) und [Marie Curie](#) in systematischer Kleinarbeit alle damals bekannten Elemente auf Radioaktivität. Es gelang ihnen, die damals noch unbekanntenen Elemente [Radium](#) und [Polonium](#) aus [Pechblende](#)² zu isolieren. Diese beiden Elemente fielen durch ihre hohe Strahlung auf. Man konnte mehrere Strahlungsarten unterscheiden und bis zum Jahr 1908 konnten die wichtigsten Eigenschaften dieser verschiedenen Strahlungsarten geklärt werden.

Das Ziel des heutigen Tages ist es, möglichst viel über „radioaktive Strahlung“ herauszufinden. Wir wollen die verschiedenen Strahlungsarten klassifizieren, d.h. beschreiben, welche Eigenschaften die jeweilige Strahlung hat.

²Pechblende oder Uraninit ist ein natürlich vorkommendes Mineral, das im Wesentlichen aus Uranoxiden besteht und in dem in geringerer Konzentration auch andere radioaktive Elemente enthalten sind.

2.2 Das Geiger-Müller-Zählrohr

Unser Detektor für radioaktive Strahlung ist ein so genanntes „Geiger-Müller-Zählrohr“. Es besteht aus einem dünnen Draht, der als Anode und einem Zylindermantel, der als Kathode dient (siehe Abbildung rechts, Quelle: siehe Anhang). Zwischen Zylindermantel und dem Draht liegt eine Spannung von einigen hundert Volt an. Der Zylinder ist gasdicht verschlossen und mit einem Edelgas gefüllt.



Die in das Rohr eindringende radioaktive Strahlung setzt in der Gasfüllung Ionen frei, die zum positiven Draht (Anode) wandern. Hierbei lösen sie durch Stoßionisation eine Ionenlawine aus. Durch das Zählrohr fließt ein Stromstoß, der am Widerstand einen kurzen Spannungsabfall bewirkt. Ist ein Lautsprecher am Zählrohr angeschlossen, hört man ein kurzes Knacken. Der elektronische Zähler zeigt an, wie viele Signale in der jeweiligen Messzeit registriert wurden.

Bei sehr intensiver Strahlung hört man kein einzelnes Knacken, sondern so viele Knackgeräusche gleichzeitig, dass es als Rauschen wahrgenommen wird. Das Zählrohr zählt nun immer ungenauer, da es sehr schnell hintereinander kommende Signale nicht mehr trennen kann. Man kann also keine beliebig hohen Strahlungsintensitäten mit dem Zählrohr exakt messen, was für uns allerdings unwichtig ist, da wir sowieso nicht mit so hohen Aktivitäten arbeiten.

Eine weitere Eigenschaft schränkt die Aussagekraft der angezeigten Zählrate ein: Das Zählrohr kann nur den Anteil der Strahlung registrieren, der tatsächlich innerhalb des Zählrohres Gasteilchen ionisiert. Strahlung, die im Zählrohr nichts bewirkt, wird auch nicht gezählt. Doch auch dies ist für unser Experiment kein Problem - die Empfindlichkeit des Zählrohres reicht für unsere Zwecke völlig aus.

2.3 Ablenkung geladener Teilchen im Magnetfeld

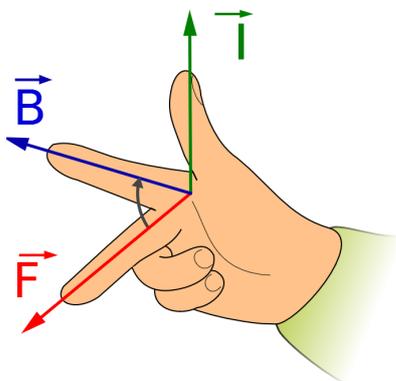


Abbildung 1: Rechte-Hand-Regel

Bewegen sich geladene Teilchen in einem Magnetfeld, so werden sie durch die Lorentz-Kraft seitlich abgelenkt (siehe Abb. 1). Dies ist die Grundlage jedes Elektromotors und jedes Dynamos.

Die Richtung der Lorentz-Kraft lässt sich gemäß der Rechten-Hand-Regel bestimmen: Zeigt der Daumen in die Bewegungsrichtung der positiven Ladungsträger und (senkrecht hierzu) der Zeigefinger in Richtung des Magnetfeldes, so zeigt der Mittelfinger (senkrecht zu den beiden anderen Fingern gehalten) in Richtung der Lorentzkraft. Sind die Ladungsträger nicht positiv, sondern negativ geladen, so dreht sich die Richtung der Lorentzkraft um.

Sind die Ladungsträger nicht positiv, sondern negativ geladen, so dreht sich die Richtung der Lorentzkraft um.

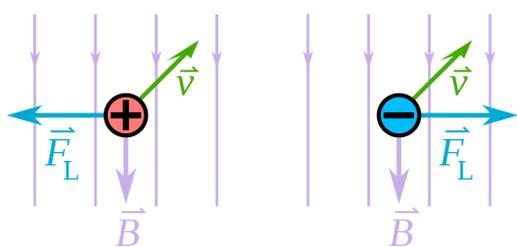


Abbildung 2: Ablenkung positiv und negativ geladener Teilchen im Magnetfeld

Bewegen sich unterschiedlich geladene Teilchen in einem Strahl durch ein Magnetfeld, so fächert dieser Strahl auf.

Werden beispielsweise die positiven Ladungsträger nach links abgelenkt, so werden die negativen nach rechts abgelenkt (s. Abb. 2). Die neutral geladenen Teilchen bewegen sich weiterhin geradeaus.

2.4 Mathematische Methoden der Physik: Logarithmieren³

Wachstums- und Zerfallsprozesse werden in der Physik in der Regel durch **Exponentialfunktionen** beschrieben. Als Basis nimmt man traditionell die Eulersche Zahl „ e “, da sich mit dieser **Exponentialfunktion** besonders einfach rechnen lässt⁴. Im Prinzip könnte man aber auch jede andere Basis nehmen, z.B. „2“ oder „10“.

e ist eine **irrationale Zahl**, d.h. sie lässt sich weder als Bruch noch als Dezimalzahl⁵ schreiben. Für die meisten Rechnungen reicht als Näherung jedoch $e \approx 2,718$

Die **Umkehrfunktion** der natürlichen Exponentialfunktion „ e^x “ ist der natürliche **Logarithmus** „ $\ln x$ “.

Es gilt:

$$\ln(e^x) = e^{\ln x} = x$$

Dies ist die zentrale Eigenschaft des natürlichen Logarithmus. Hieraus folgt beispielsweise: $\ln e = 1$ und $\ln 1 = 0$.

Aus den **Potenzgesetzen** folgen weitere Eigenschaften der Logarithmusfunktion, insbesondere die **Logarithmengesetze**:

$$\begin{aligned}\ln(a \cdot b) &= \ln a + \ln b \\ \ln(a^r) &= r \cdot \ln a\end{aligned}$$

Die Parameter a und b stehen für beliebige positive reelle Zahlen, r steht für eine beliebige reelle Zahl (kann also auch negativ oder null sein).

Kombiniert man diese beiden Regeln und verwendet, dass $a^{-1} = \frac{1}{a}$ gilt, so folgt hieraus:

$$\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln a - \ln b$$

³Die Technik des Logarithmierens richtet sich insbesondere an Schüler/innen der Sekundarstufe II.

⁴Die natürliche Exponentialfunktion ist die einzige Exponentialfunktion, die sich beim Ableiten selbst reproduziert: $(e^x)' = e^x$.

⁵Als Dezimalzahl wäre sie unendlich lang, ohne eine Periode zu besitzen.

3 Die Experimente

3.1 Bestimmung der Nullrate

Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung der Messungen

- Schließen Sie das Zählrohr an das Messgerät an, schalten Sie den Zähler und stellen Sie ihn mit der „0“-Taste zurück!
- Beginnen Sie die Messung (Messzeit: 60 Sekunden) durch drücken der „Start“-Taste, beenden Sie sie durch drücken der „Stopp“-Taste!
- Wiederholen Sie die Messung dreimal! Aus den drei Messungen wird der Mittelwert berechnet.

Messwerte und Auswertung

Nummer der Messung	1	2	3
Zählrate N_0			
Mittelwert N_0^{60s}			
Mittlere Nullrate für 20 s: N_0^{20s}			

Aufgabe:

Erläutern Sie, warum eine Mittlung der Messwerte sinnvoll ist!

3.2 Untersuchung der Radioaktivität verschiedener Stoffe

Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung der Messungen

- Untersuchen Sie die in der Tabelle genannten Gegenstände mit dem Zählrohr (Messzeit: 20 Sekunden)!

Messwerte und Auswertung

Gegenstand	Glühstrumpf	Keramiktopf	Stein	Uhr
Zählrate N				
$N - N_0^{20s}$				

Aufgabe:

Was fällt Ihnen auf? Notieren Sie es hier in Stichworten!

3.3 Abschirmung von Kernstrahlung

Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung der Messungen

- Stecken Sie den Strahler mit Hilfe der Halterung in die Experimentierplatte, Abstand zum Zählrohr etwas mehr als 1 cm!
- Bringen Sie verschiedene Absorbermaterialien in den Strahlengang (vgl. Tabelle) und bestimmen Sie die Zählrate für jeweils 20 Sekunden.
- Ziehen Sie von diesen Messwerten die Nullrate ab!

Messwerte und Auswertung

Anzahl Bögen	Papier		Dicke d in mm	Aluminium		Blei	
	N	$N - N_0^{20s}$		$N(d)$	$N(d) - N_0^{20s}$	$N(d)$	$N(d) - N_0^{20s}$
0			0 mm				
1			2 mm				
2			4 mm				
3			6 mm				
6			8 mm				
9			10 mm				

Aufgabe:

Fertigen Sie für die Messwerte von Aluminium und Blei ein Diagramm $N(d)$ an!

Treffen Sie eine Aussage über die Wirksamkeit der bei der Abschirmung verwendeten Materialien! Liefern die Messwerte bereits Hinweise auf verschiedene Strahlungsarten? (Falls Sie keine Idee hierzu haben, fragen Sie Ihre/n Betreuer/in!)

3.4 Ablenkung der Strahlung im Magnetfeld

Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung der Messungen

- Setzen Sie die Magnete ein. Hinweis: Lassen Sie sie vorher in den Rillen der beiden Stäbe einrasten, so dass sie sich in ca. 1,5 cm Entfernung voneinander befinden und fassen Sie zum Einsetzen nur an den Stäben an. Müssen sie sich anziehen oder abstoßen, damit der Versuch gelingt ?
- Setzen Sie den Strahler beim Scheitelpunkt des Winkels ein und schieben Sie ihn bis in den Scheitelpunkt vor.
- Setzen Sie das Zählrohr bei der 0^0 -Position ein und schieben sie es bis an den Rand der Magneten vor.
- Messen Sie die Zählrate in den verschiedenen Winkeln (Messdauer: 20 Sekunden)! Ziehen Sie die Nullrate von der Zählrate ab!
- Wiederholen Sie die Messungen *ohne die eingesetzten Magnete!* **Hinweis:** Nehmen Sie dazu bitte zuerst den Strahler und das Zählrohr heraus und achten Sie darauf, dass Sie sie *nicht in ihren Halterungen verschieben*. Nach dem Herausnehmen der Magnete setzen Sie beides wieder ein.

Messwerte und Auswertung:

Winkel φ	45^0	30^0	15^0	0^0	-15^0	-30^0	-45^0
Zählrate $N_{mag}(\varphi)$ mit Magnetfeld							
$N_{mag}(\varphi) - N_0^{20s}$							
Zählrate $N(\varphi)$ ohne Magnetfeld							
$N(\varphi) - N_0^{20s}$							

Aufgabe:

Was fällt Ihnen bei den Messwerten auf? Ist die Strahlung geladen oder ungeladen (siehe dazu Abschnitt 2.3)? Falls sie geladen ist: Welches Vorzeichen trägt ihre Ladung? Diskutieren Sie in Ihrer Gruppe, wie man (z. B. mit den Erkenntnissen aus Abschnitt 3.3) weitere Erkenntnisse über die Natur der gemessenen Strahlung gewinnen könnte! Führen Sie ggf. weitere Messungen durch und deuten Sie die Messwerte! (Falls Sie keine Idee haben, welche weiteren Messungen sinnvoll sind, fragen Sie Ihre/n Betreuer/in!)

3.5 Abstandsgesetz

Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung der Messungen

- Stellen Sie Zählrohr und Strahler in einem sinnvollen Abstand r voneinander auf die Experimentierplatte!
- Nehmen Sie zwei Messwerte auf – den ersten für die Entfernung r , den zweiten für die doppelte Entfernung $2r$ (Messzeit 20 Sekunden)!

Auswertung der Messungen

Gewählt sei $r = \underline{\hspace{2cm}}$ cm.

Messwerte:

$$N(r) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Imp./20s} \quad N(r) - N_0^{20s} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Imp./20s}$$

$$N(2r) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Imp./20s} \quad N(2r) - N_0^{20s} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Imp./20s}$$

Aufgabe:

Welche Gesetzmäßigkeit lässt sich aus den Messergebnissen folgern? Wie passt das zu den empfohlenen Schutzmaßnahmen im Abschnitt [1.2](#)?

3.6 Bestimmung der Halbwertsdicke von Blei⁶

Auswertung der Messungen für Blei aus Abschnitt 3.3

- Übernehmen Sie die Messwerte für Blei von Abschnitt 3.3 in die folgende Tabelle!

d in mm	$N(d) - N_0^{20s}$	
0		
2		
4		
6		
8		
10		

Wir vermuten einen exponentiellen Zusammenhang zwischen der Zählrate $N(d) - N_0^{20s}$ und der Dicke des Absorbers d :

$$N(d) - N_0^{20s} = N_1 \cdot e^{-\mu \cdot d}$$

N_1 ist die Zählrate ohne Absorber, d.h. die Zählrate für $d = 0$. Eigentlich würde man dies gerne N_0 nennen, aber diesen Ausdruck haben wir bereits für die Nullrate verwendet. Daher nennen wir diesen Wert einfach N_1 , ohne dass der Index „1“ jetzt eine besondere Bedeutung hätte.

μ wird als „Absorptionskoeffizient“ bezeichnet. Da wir wissen, dass die Exponentialfunktion fallen wird - die Strahlung wird ja durch die Absorber geschwächt - haben wir ein Minus-Zeichen davor gesetzt, so dass wir nun für μ positive Werte erhalten. (Man könnte das Minus-Zeichen auch ins μ hineinziehen, dann wäre der Absorptionskoeffizient negativ.)

Aufgaben:

- Überprüfen Sie, ob der Ansatz $N(d) - N_0^{20s} = N_1 \cdot e^{-\mu \cdot d}$ für Ihre Messwerte sinnvoll ist! (Anders gesagt: Prüfen Sie, ob der Graph wirklich eine Exponentialfunktion ist!)
- Bestimmen Sie den Absorptionskoeffizienten μ !
- Berechnen Sie die Halbwertsdicke⁷ von Blei!

⁶Dieser Arbeitsauftrag richtet sich insbesondere an Schüler/innen der Sekundarstufe II. Er ist zudem nur dann zu bewältigen, wenn ausreichend Zeit zur Verfügung steht.

⁷Die Halbwertsdicke ist keine Materialkonstante, sondern hängt von der Art der verwendeten Strahlung ab. „Harte“ γ -Strahlung (also Strahlung hoher Energie) hat eine höhere Durchdringungsfähigkeit als „weiche“ γ -Strahlung.

Hinweis:**Diese Aufgabe lässt sich durch Logarithmieren lösen!**

Falls Sie nicht wissen, was damit gemeint ist, diskutieren Sie dies im Team! Falls Sie dann immer noch nicht wissen, wie es geht, fragen Sie Ihre/n Betreuer/in!

4 Radioaktivität, die natürlichste Sache der Welt?

Der Titel unseres Skriptes suggeriert, Radioaktivität wäre „ganz natürlich“ und sowieso schon „immer bei uns“ gewesen.

Das stimmt auch.

Aber gleichzeitig stimmt es auch nicht! Viele radioaktive Strahler, die uns heutzutage umgeben, sind vom Menschen künstlich hergestellt, d.h. sie stammen aus Kernwaffen, aus Kernkraftwerken oder aus der Medizintechnik. Das ist insbesondere bei relativ kurzlebigen radioaktiven Strahlern der Fall, wobei „kurzlebig“ hier relativ zum Erdalter zu sehen ist: Die Erde gibt es seit über 4 Milliarden Jahren. Strahler mit kurzen **Halbwertszeiten**, die zur Entstehung der Erde noch vorhanden waren, sind längst nahezu vollständig zerfallen. (Auch eine Halbwertszeit von 1000 Jahren wäre in diesem Sinne „kurz“.) Man findet sie nur dann noch auf der Erde, wenn sie in einer **Zerfallsreihe** eines längerlebigen **Isotops** auftreten - oder wenn sie eben vom Menschen künstlich erzeugt worden sind.

Radioaktivität ist kein Spielzeug! Sie ist hoch gefährlich!

Doch in kleinen Mengen war sie schon zu Zeiten des ersten Urmenschen vorhanden. So gesehen ist sie „die natürlichste Sache der Welt“...

5 Quellen

Metzler; Physik, Schroedel Verlag GmbH, Hannover 1998

Phywe; Versuchsthemen Radioaktivität, Industrie-Druck GmbH, Göttingen 1986

Bildquellen der Abbildungen von H. Becquerel und dem Ehepaar Curie auf der Titelseite:

https://de.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel

https://de.wikipedia.org/wiki/Pierre_Curie

Bildquelle der Abbildung des Zählrohres:

http://zope.reaktor.fh-furtwangen.de/portal/natural_sciences/nuclear_sciences/lecture%20%20radiation%20physics/grundlagen_strahlenphysik/strahlungsarten.html
(Stand: seit dem 5.3.2014 nicht mehr im Netz)

Bildquelle von Abb. 1:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rechte-Hand-Regel.svg>

Bildquelle von Abb. 2:

https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Lorentzkraft_positiv_negativ_de.svg