



Goethe

Schüler  Labor
Radioaktivität und Strahlung

BASIC-Labor

"Radioaktivität und Strahlung"

Vorbereitung

Vor dem Labortag zu bearbeiten

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Wichtige Hinweise für die begleitende Lehrkraft	1
Anfahrt und Lageplan	2
Einführung.....	3
1. Das Atom.....	6
2. Der Radium-226-Strahlerstift.....	9
2.1. Alpha-Zerfall	10
2.2. Beta-Zerfall	11
2.3. Gammastrahlung	11
3. Der Nachweis von Radioaktivität.....	12
3.1. Die ionisierende Wirkung von α - und β -Teilchen.....	12
3.2. Die Nebelkammer	13
3.3. Das Geiger-Müller-Zählrohr	13
4. Strahlenschutz.....	14
5. Anregungen zu eigenen Recherchen.....	14
6. Kontrollfragen	15

Wichtige Hinweise für die begleitende Lehrkraft

Wir freuen uns auf den Besuch Ihrer Lerngruppe im BASIC-Labor des Goethe-Schülerlabors "Radioaktivität und Strahlung" und möchten Ihnen einige wichtige Informationen zur Vorbereitung und Durchführung geben.

Das BASIC-Labor ist ein **außerschulischer Lernort**, der sich inmitten des naturwissenschaftlichen Uni-Campus Riedberg der Goethe-Universität Frankfurt befindet. Wir bitten Sie daher, mit Ihren Schülerinnen und Schülern vor dem Besuch bei uns über **angemessenes Verhalten** und Umgangsformen in diesem nicht-schulischen Bereich zu sprechen.

Ablauf des Labortages (sofern nicht anders vereinbart):

Beginn um 9:15 Uhr: **Treffpunkt am Haupteingang Max-von-Laue-Straße 1**
Bitte beim Pförtner warten, Ihre Gruppe wird dort abgeholt!
Besichtigung des 7,5 MV-Beschleunigers
Einführung und Strahlenschutzbelehrung im Seminarraum

ca. 10:00 - 11:30 Uhr: Experimentierphase 1 (in max. 9 Gruppen)

ca. 11:30 - 12:00 Uhr: Pause im Café Physik (Kioskbetrieb mit Getränken/Snacks/ belegten Brötchen/Toast..., mitgebrachte Speisen dürfen verzehrt werden)

im Anschluss: Besichtigung der Experimentierhalle
Weiterführende Informationen im Seminarraum

ca. 13:15 - 14:30 Uhr: Experimentierphase 2, Bau einer Nebelkammer, Abschluss

Zur **Vorbereitung der Lerngruppe** sollte in der Schule bereits eine Einführung in das Thema erfolgt sein. Die Begriffe **Kern, Hülle, Proton, Neutron, Elektron, Ion, α -, β - und γ -Strahlung** sollten bekannt sein. Hilfreich ist es, die Inhalte des vorliegenden Dokuments in geeigneter Weise mit den SuS durchzuarbeiten. Kenntnisse in **Prozentrechnung** werden vorausgesetzt.

Am Labortag sollen die Schüler in **maximal 9 Gruppen** arbeiten. Die Gruppeneinteilung sollte bereits vor dem Besuch feststehen. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten in diesen Gruppen weitestgehend selbständig. Jede Arbeitsgruppe hat dazu **eigenes Experimentiermaterial** sowie die **SL_BASIC-Bildschirmanleitung** am Arbeitsplatz-PC zur Verfügung. Es macht nicht viel Sinn, diese Bildschirmanleitung vor dem Labortag mit den Schülerinnen und Schülern durchzugehen.

Jede Arbeitsgruppe muss einen vollständigen Satz **"SL-BASIC-Protokollblätter"** zum Labortag mitbringen. Außerdem sollte jede Arbeitsgruppe einen **Taschenrechner, ein Lineal** und etwas zum Schreiben (**Notizpapier, Bleistift, Radiergummi**) mitbringen.

Interessant ist es, wenn Schülerinnen und Schüler auch **Materialien** mitbringen, die sie gerne **auf Radioaktivität untersuchen** möchten. Die dreiviertelstündige Kaffeepause bietet eine gute Gelegenheit, mitgebrachte Gegenstände mit den Zählrohren des BASIC-Labors auf schwache Radioaktivität zu untersuchen.

Für die Betreuung der Lerngruppe am Labortag steht im BASIC-Labor einer unserer Mitarbeiter kontinuierlich zur Verfügung. Wir gehen davon aus, dass auch **die begleitende**

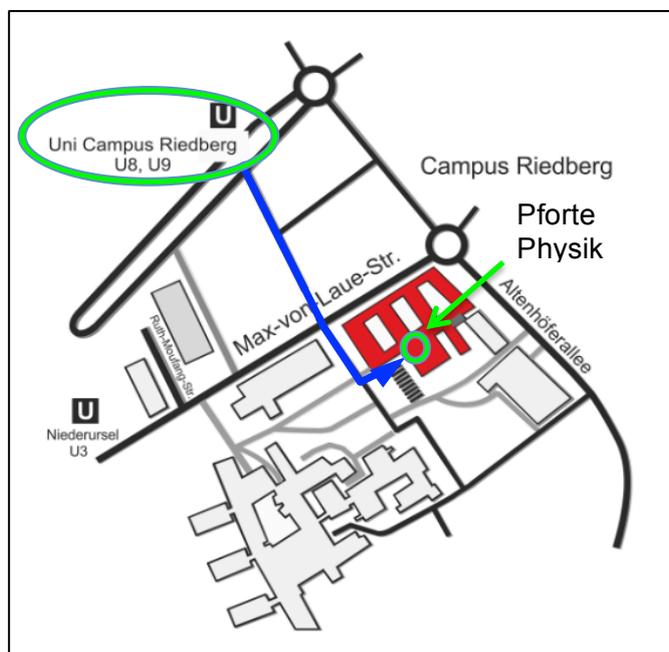
Lehrerin oder der begleitende Lehrer sich so weit auf die Experimente vorbereitet hat, dass sie bzw. er die Lerngruppe während des Labortages **fachlich betreut und berät**.

Fotografieren ist sowohl im Labor wie auch beim anschließenden Rundgang durch die Experimentierstätten selbstverständlich **erlaubt**.

Einen interessanten Laborbesuch wünscht

Dr. Axel Gruppe
Leiter der Goethe-Schülerlabore
"Radioaktivität und Strahlung"

Anfahrt und Lageplan



**GoetheLab-Schülerlabor
"Radioaktivität und Strahlung"
auf dem Campus Riedberg**

Treffpunkt:

Goethe-Universität
Campus Riedberg
Pforte der Physik Institute
Max-von-Laue-Straße 1
60438 Frankfurt

Tel. Pforte: (+49) 069 798 47777

Tel. Betreuer: 0176 - 60867489 (bei Verspätungen u.ä.)

Einlass:

Bitte warten Sie mit Ihrer Gruppe beim Pförtner am Haupteingang Max-von-Laue-Straße 1. Sie werden dort abgeholt. Bei unvorhergesehenen Ereignissen rufen Sie notfalls den Betreuer unter 0176 - 60867489 an.

Einführung

Vor etwas mehr als 100 Jahren begann eines der spannendsten Abenteuer, das Physiker jemals unternommen haben: Die Reise ins Innere der Materie.

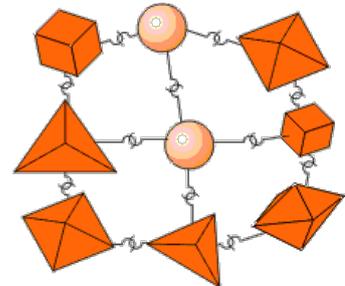
Woraus bestehen die Gegenstände um uns herum, woraus bestehen wir selbst? Was hält die Materie zusammen, welche physikalischen Gesetze gelten in dieser Welt des Allerkleinsten?

Über diese Fragen dachte schon vor rund zweieinhalbtausend Jahren der griechische Philosoph Demokrit nach. Er vermutete, dass die gesamte Natur aus kleinsten, unteilbaren Einheiten, den **Atomen** (von griechisch $\alpha\tau\omicron\mu\omicron\zeta$ / $\acute{a}t\omicron\mu\omicron\varsigma$, das Unzerschneidbare) zusammengesetzt sei und behauptete

"Nur scheinbar hat ein Ding eine Farbe, nur scheinbar ist es süß oder bitter, in Wirklichkeit gibt es nur Atome und leeren Raum."



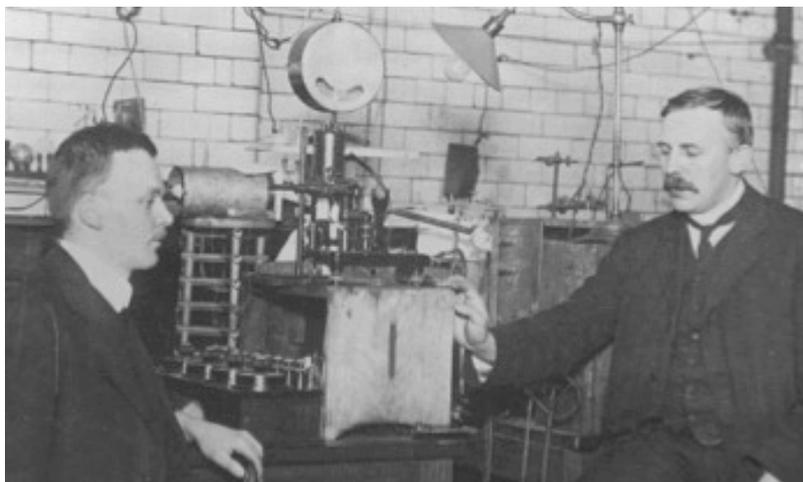
Demokrit hatte noch keine experimentellen Möglichkeiten, um seine Vermutung zu belegen. So nahm er an, dass die Atome die Form geometrischer Körper wie Kugeln, Pyramiden und Würfel hätten, die sich auf vielfältigste Weise miteinander verbinden könnten wie in dem rechten Bild. Damit konnte er zwar prinzipiell erklären, warum es so viele unterschiedliche Stoffe gibt und auch, warum sie unterschiedliche Eigenschaften haben, doch zu genaueren Voraussagen taugte sein Modell wenig und geriet daher wieder in Vergessenheit.



Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren die Physiker mit ihren experimentellen Methoden in der Lage, genauere Aussagen über den Aufbau der Atome zu machen. Da die Atome und ihre Bestandteile so klein sind, dass man sie selbst mit den leistungsfähigsten Mikroskopen nicht direkt sehen kann, mussten viele neue Untersuchungsmethoden entwickelt werden.

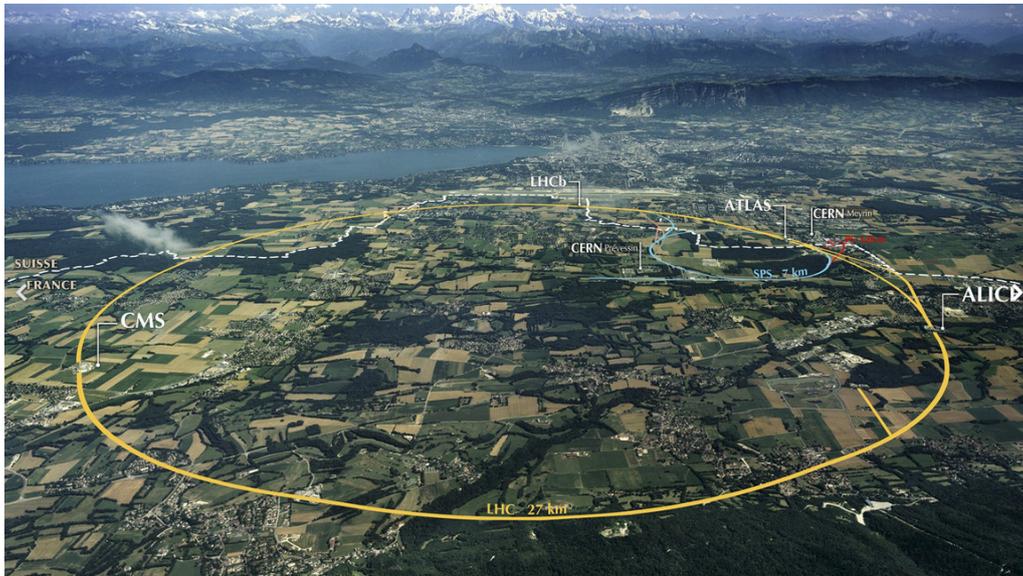
Eine wichtige Rolle bei dieser Detektivarbeit spielt die von Henri Becquerel 1896 entdeckte **radioaktive Strahlung** mit ihren 3 wichtigsten Strahlungsarten, die man heute als **α -**, **β -** und **γ -Strahlung** bezeichnet.

Vor hundert Jahren sahen die Geräte und Experimente noch vergleichsweise einfach aus. Auf dem linken Bild unten sehen wir die Physiker Ernst Geiger und Ernest Rutherford an ihrer Apparatur, mit der sie 1911 den Atomkern entdeckten. Das rechte Bild zeigt einen von Geiger entwickelten Apparat zum Nachweis der radioaktiven Strahlung, den sogenannten "Geigerzähler".



Heutzutage verwendet man riesige Beschleunigeranlagen, um Materieteilchen mit hohen Geschwindigkeiten aufeinander zu schießen. Bei den Zusammenstößen "zerplatzen" sie in ihre Bestandteile, die dann mit komplizierten Nachweisgeräten (Detektoren) untersucht werden können.

Zu diesem Zweck wurde die größte jemals von Menschen geschaffene Maschine gebaut, der **Large Hadron Collider LHC**, ein Teilchenbeschleuniger am **Forschungszentrum CERN** in Genf:



Er ist 27 km lang und liegt 100 Meter tief unter der Erde. Der LHC hat 2009 den Betrieb aufgenommen, und Forscher aus der ganzen Welt wollen mit seiner Hilfe der Natur ihre Geheimnisse entlocken.

In Darmstadt in Hessen entsteht zur Zeit mit dem **Teilchenbeschleuniger FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research)** eine weitere, weltweit einmalige Forschungsanlage. Herzstück ist ein Kreisbeschleuniger von 1,1 km Umfang, in dem Ionenstrahlen mit bisher unerreichten Intensitäten und Energien erzeugt werden können. Bei Zusammenstößen mit "normalen" Atomkernen werden neue, exotische Atomkerne und sogar Antimaterie entstehen, mit denen in der verzweigten Anlage weitere, spannende Experimente durchgeführt werden können.



An diesen großen Beschleunigeranlagen arbeiten viele Wissenschaftler, die an Universitäten wie auch hier in Frankfurt zusammen mit Studenten und Doktoranden wichtige Vorversuche durchführen und z.B. Detektoren entwickeln, bauen und testen, die dann in CERN oder bei FAIR eingebaut werden.

Einen kleinen Einblick in diese faszinierende Welt der Forschung gibt es beim Rundgang durch die Experimentierhalle der Institute für Kernphysik und für Angewandte Physik auf dem Campus Riedberg der Goethe-Universität Frankfurt.



Als Besucher solcher Forschungsanlagen ist man beeindruckt von der Komplexität der Messapparaturen und deren Größe. In riesigen Hallen stehen komplizierte Apparate mit unzähligen Kabeln und Drähten und man fragt sich, ob da überhaupt noch jemand "durchblicken" kann.

Mit dem **GoetheLab-Schülerlabor "Radioaktivität und Strahlung"** wollen wir euch in diese spannende Welt der Forschung einführen und euch helfen zu verstehen, wie die Forscher zu ihren Erkenntnissen kommen. Dazu werden wir einen Vormittag lang mit radioaktiver Strahlung Experimente durchführen und bei einem Rundgang die Experimentierhalle der Institute für Angewandte Physik und Kernphysik der Goethe-Universität kennenlernen.

Damit ihr den Praktikumstag auch sinnvoll nutzen könnt, haben wir diesen **Vorbereitungsteil** zusammengestellt, den ihr vor eurem Besuch im Schülerlabor lesen und in der Klasse mit eurem Lehrer vorbesprechen solltet. Damit ihr eure Kenntnisse vor dem Besuch selbst überprüfen könnt, gibt es am Ende einen kleinen Test.

Die **Protokollblätter zum Labortag** müsst ihr am Labortag mitbringen - fragt sicherheitshalber noch mal eure Lehrerin oder euren Lehrer! Diese Blätter sind für die Durchführung und Auswertung der Experimente unbedingt notwendig. Außerdem solltet ihr einen Taschenrechner sowie Bleistift und Radiergummi dabei haben. Und nicht zu vergessen: Interesse und gute Laune!

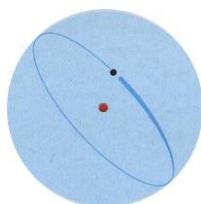
Wir wünschen euch viel Spaß bei der Vorbereitung und freuen uns auf euren Besuch!

Euer Schülerlabor-Team

1. Das Atom

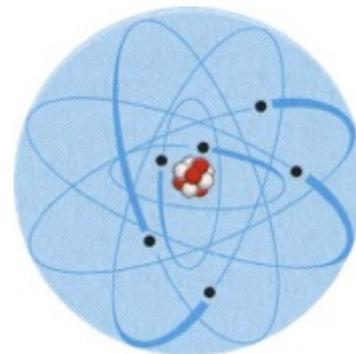
Wenn wir ein Stück Würfelzucker zwischen den Fingern zerreiben, dann entstehen immer feinere Zuckerkrümel, die immer noch süß schmecken. Die kleinste Einheit, die noch alle Eigenschaften des Zuckers hat, nennen wir ein **Zuckermolekül**.

Wenn wir dieses in Gedanken weiter zerteilen, dann bekommen wir die einzelnen **Atome** der chemischen Elemente, aus denen das Zuckermolekül aufgebaut ist, nämlich die Atome von Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff.



Vom **Wasserstoffatom** (Modell links) wissen wir, dass es aus zwei Teilchen aufgebaut ist: einem **elektrisch positiv geladenen Proton im Zentrum** und einer **Hülle**, in der sich ein **negativ geladenes Elektron** befindet. Da sich die elektrischen Ladungen von Elektron und Proton gegenseitig aufheben, ist das Atom nach außen elektrisch neutral. Auch durch ihre Masse unterscheiden sich die beiden Teilchen, denn das Proton ist rund 2000 mal schwerer als das Elektron.

Ein **Kohlenstoffatom** stellen wir uns in etwa so vor wie im rechten Bild. Hier zählt man **6 Elektronen** in der Hülle und entsprechend gibt es auch **6 Protonen** im Zentrum (rote Kügelchen, im Modell rechts sind nur 4 sichtbar). Damit ist auch dieses Atom nach außen hin elektrisch neutral.



Nun könnte man sich vorstellen, dass sich die 6 Protonen untereinander wegen ihrer gleichen positiven Ladungen abstoßen und der Atomkern schnell in einzelne Protonen zerfällt. Das verhindern die im Bild weiß gezeichneten **Neutronen**, die zusammen mit den Protonen den **Atomkern** bilden. Sie sind nur geringfügig schwerer als die Protonen und, wie schon ihr Name sagt, elektrisch neutral. Protonen und Neutronen bezeichnet man auch als **Nukleonen** (Kernbausteine, von lat. "nucleus", der Kern). Zwischen ihnen herrscht eine sehr starke, anziehende Kraft.

Um die Zusammensetzung eines Atoms übersichtlich zu kennzeichnen, benutzt man folgende Kurzschreibweise: Man setzt dem Elementsymbol (hier "C" für Kohlenstoff) zwei Zahlen voran: die tiefgestellte gibt die Anzahl Z aller Protonen im Kern an (**Kernladungszahl Z**), die hochgestellte die Anzahl aller Nukleonen (**Nukleonen- bzw. Massenzahl A**) d.h. die Summe aller Protonen und Neutronen ($A=Z+N$). Da Kohlenstoff normalerweise auch 6 Neutronen besitzt, schreibt man in diesem Fall:



Eine Atomart, die durch Protonenzahl und Neutronenzahl charakterisiert ist, bezeichnet man als **Nuklid**. Dazu betrachten wir den folgenden Ausschnitt aus einer sog. **Nuklidkarte**:

6	C 12,011	C9 126,5 ms β^+ : 15,5 γ : -	C10 19,3 s β^+ : 1,9 γ : 0,718	C11 20,38 min β^+ : 1,0 γ : -	C12 98,90	C13 1,10	C14 5730 a β^- : 0,2 γ : -	C15 2,45 s β^- : 4,5; 9,8 γ : 5,298	
5	B 10,811	B8 770 ms β^+ : 14,1		B10 19,9	B11 80,1	B12 20,20 ms β^- : 13,4 γ : 4,439	B13 17,33 ms β^- : 13,4 γ : 3,684	B14 13,8 ms β^- : 14,0 γ : 6,09	
4	Be 9,01218	Be7 53,29 d e^- γ : 0,478	Be8 100 2α : 0,05	Be9 100	Be10 $1,6 \cdot 10^6$ a β^- : 0,6 γ : -	Be11 13,8 s β^- : 11,5 γ : 2,125	Be12 23,6 ms β^- : 11,7		9
3	Li 6,941	Li6 7,5	Li7 92,5	Li8 840,3 ms β^- : 12,5	Li9 178,3 ms β^- : 13,6		Li11 8,5 ms β^- : ~18,5		
2	He 4,002602	He3 0,000137	He4 99,999863	He6 806,7 ms β^- : 3,5		He8 119 ms β^- : 9,7 γ : 0,981			7 8
1	H 1,00794	H1 99,985	H2 0,015	H3 12,323 a β^- : 0,02					
		0	1	2	3	4	5	6	

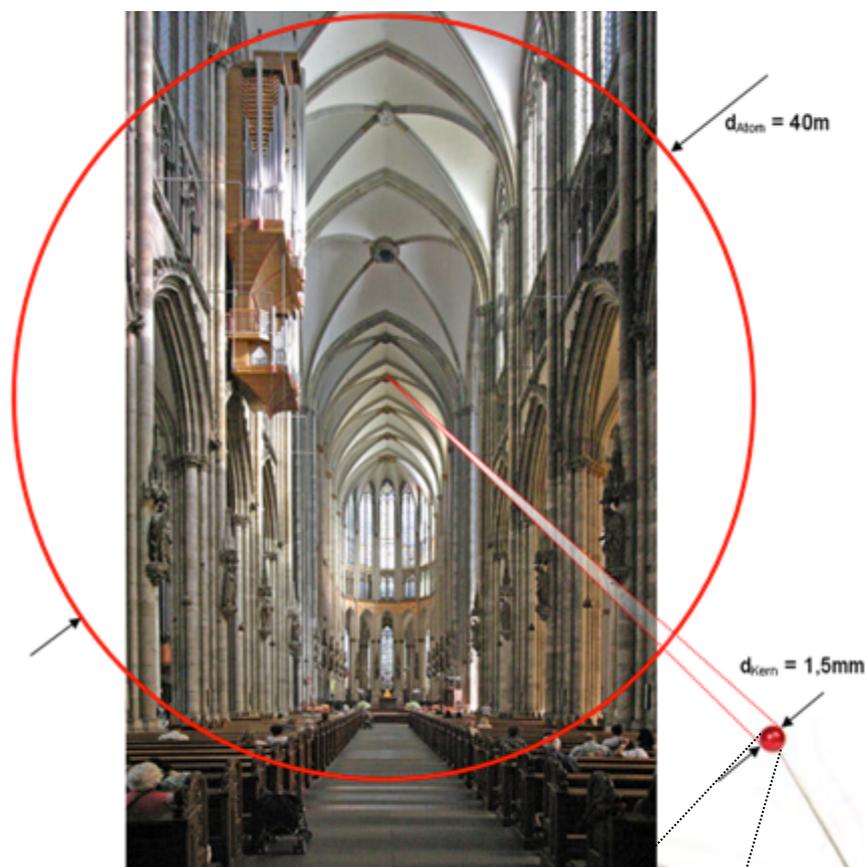
Wir erkennen von unten nach oben die chemischen Symbole der leichtesten Elemente Wasserstoff (H), Helium (He), Lithium (Li), Beryllium (Be), Bor (B) und Kohlenstoff (C). Sie sind in einem Raster angeordnet, in dem nach rechts die Neutronenzahl (hier von 0 bis 9) und nach oben die Protonenzahl (hier von 1 bis 6) aufgetragen ist. Man sieht, dass die Atome eines chemischen Elements bei gleicher Kernladungszahl unterschiedliche Neutronenzahlen besitzen können. So gibt es z.B. neben dem in der Natur am häufigsten vorkommenden Kohlenstoffnuklid mit 6 Neutronen auch solche mit 7, 8, 9 oder sogar 10 Neutronen bzw. solche mit nur 5, 4 oder 3 Neutronen.

Alle diese Kohlenstoffnuklide verhalten sich bezüglich ihrer **chemischen Eigenschaften** immer wie ganz "normale" Kohlenstoffatome, die allerdings unterschiedlich schwer sind. Man nennt sie **Isotope**. Da sie alle die Kernladungszahl 6 haben, verwendet man in der Nuklidkarte eine abkürzende Schreibweise und schreibt die Nukleonenzahl einfach hinter das Elementsymbol. Aus " $^{12}_6\text{C}$ " wird so einfach "C-12" (Schreibweise mit und ohne Strich sind üblich).

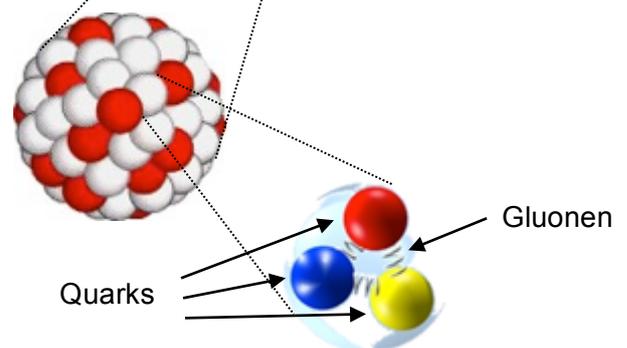
Anhand der Farben erkennt man, dass sich die Isotope bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften deutlich unterscheiden. So sind z.B. nur die in schwarzen Quadraten stehenden Isotope C-12 und C-13 stabil. Alle in farbigen Kästchen stehenden Isotope "zerfallen", wie wir noch sehen werden, im Laufe der Zeit in andere Nuklide. Die in diesem Zusammenhang wichtige **Halbwertszeit** steht dann direkt unter dem Elementsymbol. Sie gibt an, wie lange es dauern wird, bis von einer gegebenen Menge eines Nuklids nur noch die Hälfte vorhanden ist.

Wir sollten uns noch einmal in Erinnerung rufen, dass wir Atome niemals mit dem bloßen Auge werden sehen können. Selbst mit den leistungsfähigsten Mikroskopen wird dies prinzipiell nie möglich sein. Die oben gezeigten "Bilder" des Wasserstoff- und Kohlenstoffatoms sind nur als grobe Modelle zu verstehen, die z.B. die tatsächlichen Größenverhältnisse im Atom überhaupt nicht wiedergeben.

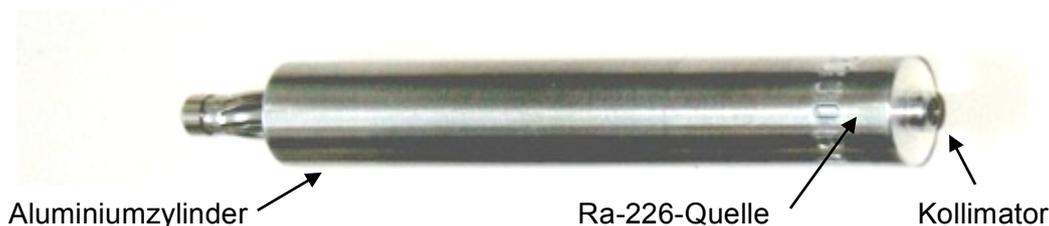
Wenn wir nämlich ein einzelnes Atom hundertmilliardenmal (d.h. um den Faktor 10^{11}) vergrößern könnten, dann würde es mit seiner aus Elektronen bestehenden äußeren Hülle gerade das Innere des Kölner Doms ausfüllen (etwa 40 m Durchmesser, Bild unten). Der Atomkern wäre in diesem Modell nur etwa so groß wie der Kopf einer Stecknadel!



Mit ihren riesigen Beschleunigern haben die Physiker schließlich herausgefunden, dass die Protonen und Neutronen des Kerns aus noch kleineren Teilchen zusammengesetzt sind: den sogenannten "Quarks", von denen es mehrere Sorten gibt und den "Gluonen", die diese Quarks wie eine Art Klebstoff (englisch: glue) zusammenhalten (rechtes Bild).



2. Der Radium-226-Strahlerstift



Wie wir gesehen haben, beziehen wir unser Wissen über die Atome aus der Strahlung, die sie unter bestimmten Bedingungen aussenden. Eine besondere Rolle spielen dabei die drei Strahlungsarten, die wir mit den griechischen Buchstaben α (**Alpha**), β (**Beta**) und γ (**Gamma**) bezeichnen.

Als Quelle für diese Strahlungsarten verwenden wir in unserem Schülerlabor Strahlerstifte (Bild oben), die in einem Aluminiumzylinder eine geringe Menge des **Radiumisotops Ra-226** enthalten. Das Quellenmaterial sitzt im Innern des Stiftes etwa 4 mm von der Vorderkante des Strahlerstiftes entfernt und ist mit einer dünnen, wischfesten Schutzfolie bedeckt und gegen Berührung von außen durch eine vorgesetzte Aluminiumblende (Kollimator) geschützt.

Die **Aktivität A** eines radioaktiven Präparats definiert man als die **Anzahl N der Zerfälle pro Zeiteinheit t**:

$$A = \frac{N}{t}$$

Die Einheit der Aktivität ist **1 Becquerel (Bq) = 1 Zerfall / Sekunde**.

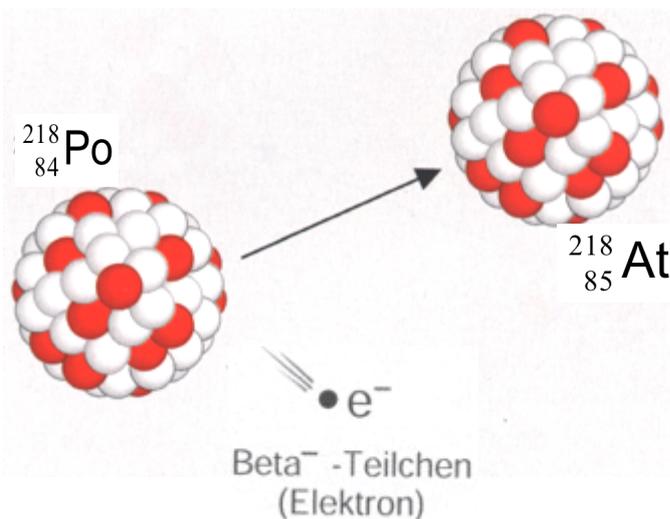
Unsere Strahlerstifte haben zur Zeit eine Aktivität von 3,3 kBq (Kilobecquerel), d.h. es "zerfallen" in jeder Sekunde 3300 Atomkerne und senden dabei radioaktive Strahlung aus. Wegen der sehr langen Halbwertszeit dieses Nuklids wird es noch rund 1600 Jahre dauern, ehe der Stift nur noch halb so stark wie heute strahlen wird.

Wie nun bei diesen Zerfällen die radioaktive Strahlung im Einzelnen entsteht, betrachten wir in den nächsten Abschnitten.

2.2. Beta-Zerfall

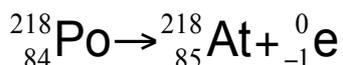
Wenn in einem Kern sehr viel mehr Neutronen als Protonen vorhanden sind, tritt normalerweise **β-Zerfall** ein. β-Teilchen sind Elektronen, die mit großer Geschwindigkeit aus dem Kern emittiert werden.

Wie ist das möglich, wo doch ein Atomkern nur aus Protonen und Neutronen besteht? Ein Neutron kann sich unter bestimmten Umständen in ein Proton und ein Elektron umwandeln. Das Elektron kann nicht im Kern verbleiben, sondern wird aus ihm herausgeschleudert.



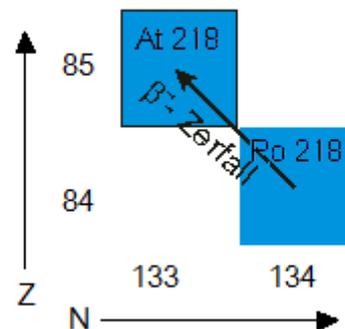
Zurück bleibt ein Kern mit gleicher Massenzahl, aber einer um 1 größeren Ordnungszahl, da ja ein Proton dazugekommen ist.

Ein Beispiel für einen solchen β-Zerfall ist die Umwandlung des in unserem Präparat entstandenen Polonium-218-Isotops in das Nuklid Astat-218 unter Aussendung eines β-Teilchens:



Der Ausschnitt im Bild rechts zeigt, wie man sich dies in der Nuklidkarte veranschaulichen kann.

Genaugenommen handelt es sich bei diesem Beispiel um einen sogenannten "Beta-Minus-Zerfall" (β^-), bei dem ein (negativ geladenes) Elektron aus dem Atomkern herausfliegt. Bei Kernen mit einem starken Protonenüberschuss kommt es dagegen zum sogenannten "Beta-Plus-Zerfall" (β^+), bei dem sich ein Proton in ein Neutron umwandelt und dabei ein sogenanntes Positron entsteht. Das Positron ist ein Elementarteilchen, das dem Elektron in allen Eigenschaften gleicht, aber im Gegensatz zu diesem eine positive elektrische Ladung besitzt. Man bezeichnet es auch als Antiteilchen des Elektrons. Zu erwähnen ist außerdem noch, dass bei β-Zerfällen sogenannte Neutrinos (bzw. Antineutrinos) erzeugt werden, die wir aber mit unserem Zählrohr nicht nachweisen können.



2.3. Gammastrahlung

Nach einem α- oder β-Zerfall befindet sich der verbliebene Restkern oft noch in einem angeregten Zustand, d.h. er hat aus dem Zerfallsprozess noch Energie übrig, die er unmittelbar danach in Form von **γ-Strahlung** abgibt. Diese Strahlung ist dem Licht sehr ähnlich und besteht aus äußerst **energiereichen Photonen**, die man auch als **γ-Quanten** bezeichnet. Bei der Aussendung von γ-Quanten verändert sich die Neutronen- und Protonenzahl des Kerns nicht.

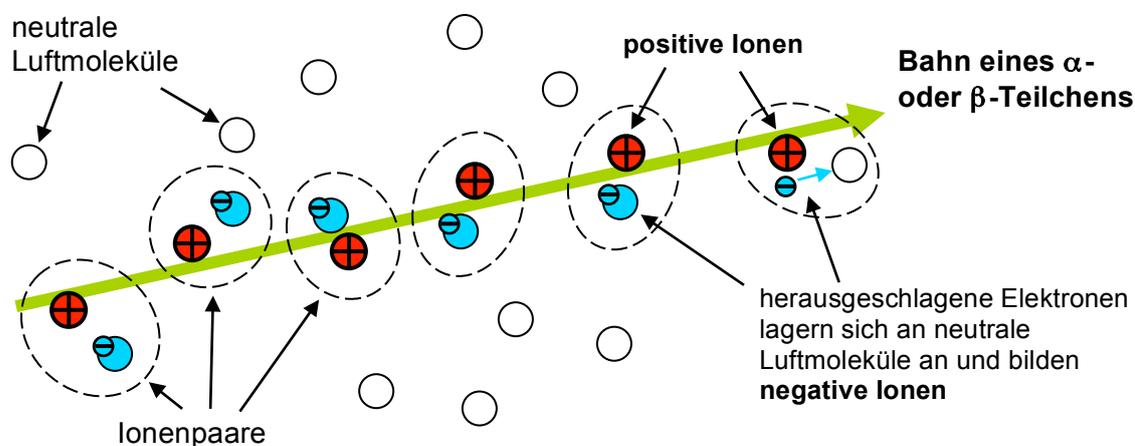
Auch bei unserem Präparat entsteht so neben der α- und β-Strahlung auch γ-Strahlung.

3. Der Nachweis von Radioaktivität

3.1. Die ionisierende Wirkung von α - und β -Teilchen

Was passiert eigentlich, wenn α - oder β -Teilchen durch die Luft fliegen?

Man kann sich das vorstellen wie in der Skizze unten. Ein elektrisch geladenes α - oder β -Teilchen aus dem Präparat fliegt mit hoher Geschwindigkeit durch die zunächst neutralen Moleküle der Luft (grüner Pfeil). Längs der Flugbahn kommt es nun zu Zusammenstößen, bei denen das Teilchen abgebremst wird und dabei ein Elektron aus dem gestoßenen Molekül herausschlägt (**Stoßionisation**). Diese Elektronen lagern sich an neutrale Luftmoleküle an und so kommt es zur paarweisen Bildung von positiven und negativen Ionen.



Die Ionisationswirkung der Strahlungsarten ist sehr unterschiedlich. In Luft erzeugen α -Teilchen auf einem Zentimeter Flugstrecke rund 50 000 Ionenpaare, bei β -Teilchen sind es nur etwa 50 Ionenpaare.

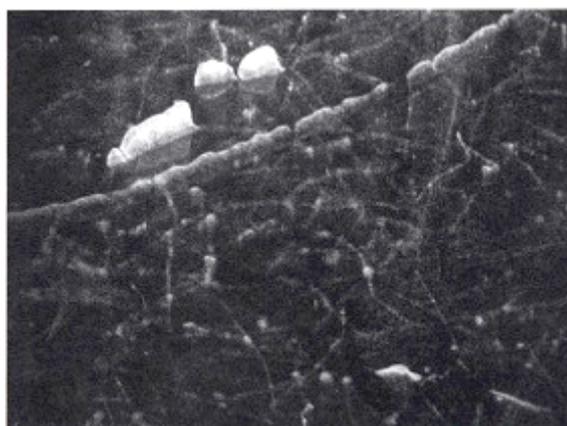
γ -Quanten werden in der Regel in einem einzigen Vorgang (sog. "Photoeffekt") von einem Atom absorbiert, bei dem nur ein einziges Elektron freigesetzt wird, das mit großer Geschwindigkeit wegfliht. Dieses erste ("primäre") Elektron kann dann wie ein β -Teilchen auf seiner Bahn weitere Ionenpaare bilden.

3.2. Die Nebelkammer

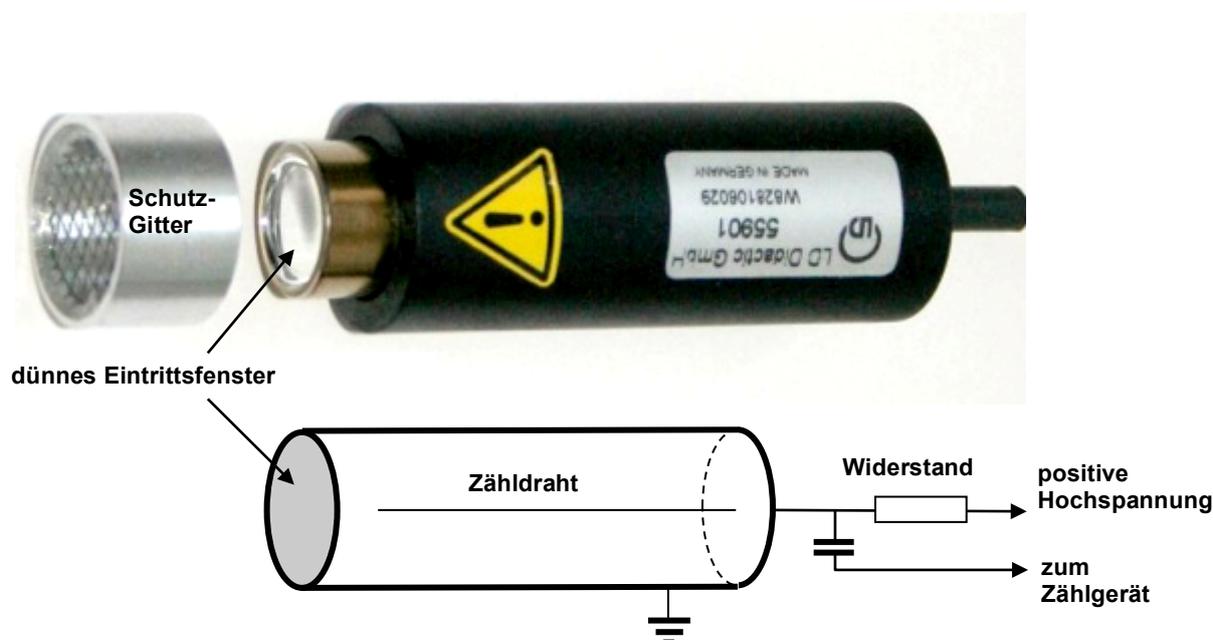
Die während des Flugs eines geladenen Teilchens erzeugte Spur aus Ionenpaaren kann man mit einem genialen Trick sogar für das bloße Auge sichtbar machen.

Charles Wilson (1869-1959) war ein britischer Physiker, der sich seit seiner Jugend für die Phänomene des Wetters begeisterte. Vor allem untersuchte er die Mechanismen, die dazu führten, dass sich unzählige Wassertropfen zu Wolken versammelten. Um das Verhalten von Wassertropfen unter Laborbedingungen studieren zu können, konstruierte er eine Kammer, in der sich unter genau vorgegebenen Bedingungen feinste Wassertropfen bilden konnten, die die Kammer in Form von Nebel erfüllten. Daher nannte man diese Kammer im Deutschen auch "Nebelkammer" (englisch "cloud chamber", d.h. "Wolkenkammer").

Wilson entdeckte, dass entlang der Flugbahn von α - und β -Teilchen Wassertropfchen kondensieren, die eine Nebelspur entlang der Teilchenbahn bilden. Diese Nebelspur in der Nebelkammer entsteht ganz ähnlich wie die Kondensstreifen bei Flugzeugen. Beleuchtet man das Innere der Nebelkammer, dann wird das Licht an der Nebelspur gestreut, wodurch die Spur hell vor dem dunklen Hintergrund aufleuchtet und fotografiert werden kann. Im Bild sieht man oben drei dicke Nebelspuren von α -Teilchen, die vielen dünnen Spuren stammen von den viel schwächer ionisierenden β -Teilchen.



3.3. Das Geiger-Müller-Zählrohr



Wie die Nebelkammer nutzt auch das Geiger-Müller-Zählrohr die Ionisation und registriert einzelne einfallende α - und β -Teilchen sowie γ -Quanten.

In der Mitte eines geerdeten Metallrohres ist ein sehr dünner "Zähl draht" isoliert gespannt. Er wird über einen Widerstand mit dem positiven Pol einer Hochspannungsquelle (ca. 500V) verbunden. Im Rohr befindet sich ein Edelgas (meist Argon) unter einem Druck von etwa 40 hPa.

Gelangt nun ein α - oder β -Teilchen in den Innenraum des Zählrohrs, so kann es dort Gasatome ionisieren. Dabei gelangen einige Elektronen in das starke elektrische Feld in der Nähe des Zähl drahtes. Sie werden dort stark beschleunigt, stoßen gegen weitere Atome und lösen damit eine Art "Elektronenlawine" aus, die zu einer elektrischen Entladung im Gas führt. Dabei fließt ein Strom durch das Zählrohr, der von einem Zählgerät registriert wird.

Nach jeder Entladung bleibt das Zählrohr gegen neu eintretende Strahlung für eine gewisse Zeit unempfindlich. Erst wenn die positiven Gas-Ionen zur Kathode abgewandert sind, können weitere Teilchen registriert werden. Diese Abwanderungszeit nennt man Totzeit. Sie liegt in der Größenordnung von 10^{-4} Sekunden. Wegen der Totzeit kann insbesondere bei hohen Zählraten nur ein Bruchteil der Zerfälle registriert werden. Bei dem im Praktikum verwendeten Zählrohr bleiben die Totzeitverluste unter 1%, sofern die Zählraten etwa 6000 Entladungen pro Minute nicht übersteigen.

4. Strahlenschutz

Für Radioaktive Strahlung besitzt der Mensch keine Sinnesorgane. Obwohl die Quellen im Schülerlabor nur sehr schwach radioaktiv und vom Hersteller für den Gebrauch durch Schüler zugelassen sind, müssen beim Umgang mit ihnen die 5 "A"-Regeln des Strahlenschutzes eingehalten werden:

1. Die **A**ktivität des verwendeten Präparats ist so klein wie möglich.
2. Der **A**bstand zum Präparat ist so groß wie möglich.
3. Alle **A**bschirmungsmöglichkeiten werden ausgenutzt.
4. Die **A**rbeitszeit mit dem Präparat wird so kurz wie möglich gehalten.
5. Strikte **A**bstinenz (nicht essen, nicht trinken) einhalten.

5. Anregungen zu eigenen Recherchen

Informiere Dich (z.B. in WIKIPEDIA) über Leben und Wirken von Henri Becquerel, Marie und Pierre Curie, Ernest Rutherford, Hans Geiger.

Bringe zum Labortag Gegenstände mit, in denen Du Radioaktivität vermutest (z.B. alte Uhren und Geräte mit selbstleuchtenden Zifferblättern und Zeigern, alte Kacheln ...)

6. Kontrollfragen

Was unterscheidet radioaktive Stoffe von nicht radioaktiven?

Bestimmte Nuklide (Atomkern-arten) haben die Eigenschaft, sich von selbst, spontan, ohne äußere Einwirkung, umzuwandeln.

Nach einer Halbwertszeit ist nur noch die Hälfte eines Stoffes vorhanden, die andere Hälfte hat sich umgewandelt. Wie sieht es nach zwei Halbwertszeiten aus?

Es ist nur noch $\frac{1}{4}$ des Stoffes vorhanden

Nach wie vielen Halbwertszeiten ist nur noch ca. 1/1000 des Stoffes vorhanden?

Nach ca. 10 Halbwertszeiten

Die Kernladungszahl eines Elements gibt an, wie viele Protonen sich im Kern befinden. Wie ändert sich diese Kernladungszahl beim α -Zerfall, β -Zerfall und bei der Aussendung eines γ -Quants?

Beim α -Zerfall nimmt die Anzahl der Protonen und Neutronen jeweils um 2 ab, die Anzahl der Kernbausteine um 4, beim β -Zerfall nimmt die Anzahl der Protonen um eins zu, da sich ein Neutron in ein Proton verwandelt hat, die Anzahl der Kernbausteine bleibt gleich. Bei der Emission eines γ -Quants ändert sich weder die Anzahl der Protonen noch die Anzahl der Neutronen.

Welche Eigenschaft der Strahlung, die beim radioaktiven Zerfall entsteht, wird beim Nachweis durch ein Geiger-Müller-Zählrohr genutzt?

Das Geiger-Müller-Zählrohr nutzt die ionisierende Wirkung der Strahlung.

Aus welchen Teilchen besteht der Atomkern?

Protonen und Neutronen, diese hinwieder aus Quarks und Gluonen.

Was bedeutet das Symbol ${}^N_Z\text{Symbol} \Rightarrow {}^A_Z\text{C}$

Z ist die Kernladungszahl (Zahl der Protonen im Kern), N+Z ist das Atomgewicht, d.h. die Anzahl der Kernbausteine insgesamt.

Wie groß ist der Durchmesser des Atomkerns und wie groß der Durchmesser des Atom mit Hülle?

Kern 10^{-14} m, Hülle 10^{-10} m

Die Kernforschung begann mit der Entdeckung der radioaktiven Strahlen. Wann wurden diese Strahlen entdeckt und wie hieß der Entdecker?

Der Entdecker der radioaktiven Strahlen hieß Henri Becquerel. Er entdeckte diese Strahlen im Jahr 1896.

Nenne die wichtigsten Zerfallsarten.

α -, β - Zerfall sind die wichtigsten Zerfallsarten. Im Zusammenhang damit werden γ -Quanten emittiert.

Beschreibe kurz die Teilchen, die bei diesen Zerfällen emittiert werden.

Beim α -Zerfall werden α -Teilchen ausgesandt. Diese bestehen aus 2 Protonen und 2 Neutronen. α -Teilchen sind Heliumkerne.

Beim β^- -Zerfall wird ein Elektron ausgesandt, beim β^+ -Zerfall ein Positron.

Nach einem Kernzerfall strahlt der Kern Energie in Form elektromagnetischer Wellen ab (γ -Quanten).

Wie ist die Aktivität A eines radioaktiven Präparats definiert?

$$A = \frac{N}{t}$$

Die Aktivität A eines radioaktiven Präparats definiert man als die Anzahl N der Zerfälle pro Zeiteinheit t.

Die Einheit der Aktivität ist 1 Becquerel (Bq) = 1 Zerfall / Sekunde.

Was wird mit einem Geiger-Müller-Zählrohr ohne radioaktives Präparat gemessen?

Ohne radioaktives Präparat kann radioaktive Umgebungsstrahlung nachgewiesen werden.

Die Umgebungsstrahlung ergibt den sogenannten "Nulleffekt". Was sind die Ursachen der Umgebungsstrahlung?

Der Nulleffekt ist durch die natürliche Radioaktivität der Umgebung bedingt. Sie lässt sich auf folgende Ursachen zurückführen:

Kosmische Strahlung aus dem Weltraum

Radioaktive Nuklide in der Luft, z.B. Radon ($Rn-220$ und $Rn-222$) und Kohlenstoff (C-14)

Radioaktive Nuklide im Bodengestein, z.B. Uran (U-238) und Thorium (Th-232) Unterschiede im Nulleffekt werden insbesondere vom Bodengestein des Messortes verursacht.

Wie verhält sich die Anzahl der Impulse N bei unterschiedlichen Messzeiten?

Bei kleineren Messzeiten ist auch die Anzahl der Impulse N kleiner.

Welche Sicherheitsregel lässt sich daraus ableiten, um möglichst wenig radioaktiver Strahlung ausgesetzt zu sein?

Die Expositionszeit, in der mit radioaktivem Material gearbeitet wird, sollte möglichst klein sein.

Wie verhält sich die Anzahl der Impulse N bei unterschiedlichen Abständen von dem radioaktiven Material?

Bei größeren Abständen ist die Anzahl der Impulse kleiner.

Welche Sicherheitsregel lässt sich daraus ableiten?

Der Abstand zum radioaktiven Material sollte möglichst groß sein.

Wie verhält sich die Anzahl der Impulse N mit und ohne Abschirmung?

Die Anzahl der Impulse N ist mit Abschirmung kleiner.

Welche Sicherheitsregel lässt sich daraus ableiten?

Radioaktives Material sollte möglichst abgeschirmt sein.