

## Aufgaben zur Altersbestimmung mit Hilfe des radioaktiven Zerfalls

### 1. Aufgabe: Die Uran-Blei-Methode

Die Altersbestimmung von Gesteinen aus der Frühzeit der Erdgeschichte kann mit der Uran-Blei-Methode erfolgen. Es kann angenommen werden, dass zum Zeitpunkt der Gesteinsbildung kein Blei im Gestein vorhanden war. Eine mögliche Fehlerquelle der Altersbestimmung besteht darin, dass Gesteine in späteren Umwandlungsphasen einen Teil ihres Bleigehalts verlieren können. Um diesen Fehler auszuschließen, kann man den Zerfall von  $^{238}\text{U}$  und  $^{235}\text{U}$  getrennt untersuchen. Führen beide Uran-Blei-Isotopenverhältnisse zum gleichen Alter, so spricht man von einer "ungestörten" Gesteinsprobe.

- Uran zerfällt nicht direkt, sondern über mehrere Zwischenprodukte zu Blei. Warum kann man bei der rechnerischen Behandlung des Uranzerfalls in guter Näherung einen direkten Zerfall in das stabile Endprodukt Blei annehmen?
- Leiten Sie für das Alter  $t$  eines Gesteins die Gleichung her, wobei  $N_{\text{Pb}}$  und  $N_{\text{U}}$  die heutigen Teilchenzahlen von "zusammengehörigen" Blei- bzw. Uranisotopen bezeichnen.
- Bei den ältesten "ungestörten" Gesteinsproben ergibt die Untersuchung ein Massenverhältnis der Nuklide  $^{206}\text{Pb}$  und  $^{238}\text{U}$  von  $m_{206} : m_{238} = 0,77$ . Zeigen Sie, dass man als Alter des Gesteins 4,1 Milliarden Jahre erhält.
- Welches Massenverhältnis  $m_{207} : m_{235}$  der Isotope  $^{207}\text{Pb}$  und  $^{235}\text{U}$  erhält man in der Probe der Teilaufgabe c)?
- Welches Massenverhältnis  $m_{207} : m_{235}$  der Isotope  $^{207}\text{Pb}$  und  $^{235}\text{U}$  erhält man in der Probe der Teilaufgabe c)?

Die Massenverhältnisse werden bestimmt, indem etwas Material mittels eines Ionenstrahls aus der Gesteinsprobe herausgelöst und mit einem Massenspektrographen untersucht wird.

- Erläutern sie anhand einer beschrifteten Zeichnung den Aufbau und die Funktionsweise eines Massenspektrographen.

**2. Aufgabe:** In einer Höhle wurden Reste an Holzkohle gefunden, die aufgrund ihres Gehaltes an  $^{14}\text{C}$  nur noch eine Aktivität von 12,5 1/min aufwiesen. Wie alt ist die Holzkohle?

**3. Aufgabe:** 1g Kohlenstoff (aus einem antiken Schuh hergestellt) hatten 30% der Aktivität von 1g Kohlenstoff aus frischem Holz. Berechnen Sie das Alter des Schuhs!

**4. Aufgabe:** An einer Mumie wurden 56,2% der Aktivität von C-14 gegenüber der in einer lebenden Substanz gemessen. Wie alt ist die Mumie?

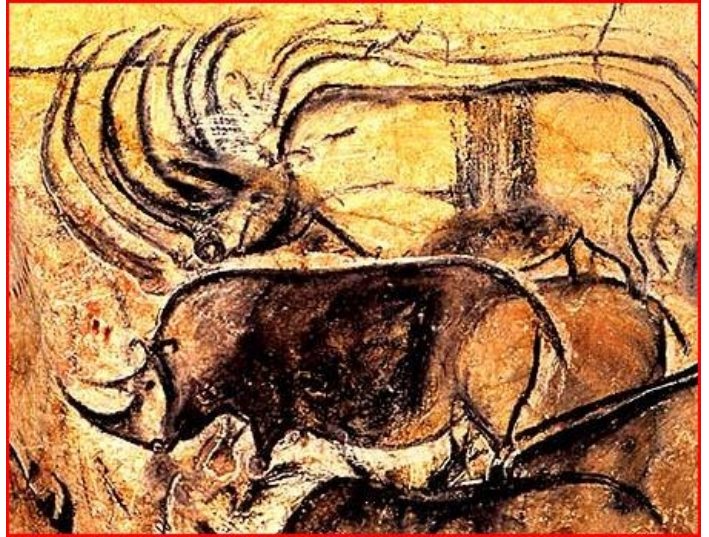
**5. Aufgabe:** Die chemische Untersuchung einer Gesteinsprobe ergab das folgende Massenverhältnis von  $^{206}\text{Pb}$  zu  $^{238}\text{U}$ : 0,2. Berechnen Sie daraus das Alter der Gesteinsprobe!

**6. Aufgabe:** In einem uranhaltigen Mineral wurden 6 mg Uran und 0,9 mg Blei gefunden. Wie alt ist das Mineral?

**7.Aufgabe:** In der Grotte Chauvet im Vallon Pont d'Arc in Südfrankreich wurden am 18. Dezember 1994 durch die Höhlenforscher Chauvet, Deschamps und Hillaire einzigartige Höhlenmalereien entdeckt.

Die Bilder wurden mit organischen Farben gemalt. Bei der Altersbestimmung mit der Radiocarbonmethode stellte man fest, dass die Farbe der Wandmalereien nur noch 2,35 % des Kohlenstoffisotops  $^{14}\text{C}$  enthielt, das eine Halbwertszeit von 5730 Jahren hat.

- Wie alt sind die Höhlenmalereien ?
- Moderne Geräte können unter 0,1% der  $^{14}\text{C}$ -Isotopenanteile nicht mehr genau messen. Bis wie weit reicht die Altersbestimmung nach der C-14 Methode?



### **8.Aufgabe: Das Turiner Grabtuch**

Es ist historisch dokumentiert, dass der französische Adelige Geoffroy de Charny Besitzer eines 4,36 m langen und 1,10 m breiten Leinentuches war, das deutlich die Abdruckspuren eines toten, verwundeten Mannes zeigte. Wie dieses Tuch in die Hände von Geoffroy de Charny kam, ist bis heute unklar; es heißt, er habe es von dem französischen König Johann dem Guten (1319-1364) als Geschenk bekommen. Mit großer Wahrscheinlichkeit fand dann im Jahre 1357 in der Stiftskirche in Lirey bei Troyes die erste bekannte Ausstellung des Tuches statt. Das Tuch wurde seitdem bis zum heutigen Tag von vielen Gläubigen als das Grabtuch von Jesus Christus angesehen.

Am 14. September 1578 kam das Tuch anlässlich einer Ausstellung aus Frankreich nach Turin in Italien; dort blieb bis heute. Seitdem wird es kurz als das "Turiner Grabtuch" bezeichnet. Am 23. November 1973 gab es eine Ausstellung des Tuches mit Direktübertragung im TV. Es wurde durch 100

Wissenschaftler verschiedener Fachgebiete untersucht. Die Ergebnisse waren widersprüchlich. Im Jahre 1988 hatten Wissenschaftler aus den Instituten in Zürich (Schweiz), Tucson (Arizona, USA) und Oxford (England, eines der besten Institute der Welt) unabhängig voneinander die umstrittene Reliquie mit der Radiokarbon-Methode untersucht und kamen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass dieses Tuch nicht aus der Zeit des Todes von Jesus Christus stammen konnte. Der Vatikan war sehr enttäuscht und erklärte das Tuch noch im selben Jahr als Fälschung.

a) Auf wieviel Prozent muss der radioaktive C-14-Gehalt des Tuches mindestens abgesunken sein, wenn es aus der Zeit des Todes von Jesus Christus stammt?

b) Bei den oben genannten Untersuchungen 1988 stellte man mit einem Teilchenzählgerät eine Aktivität von 13,84 Zerfall-Teilchen pro Gramm Kohlenstoff und pro Minute fest. Eine zur Zeit lebende, organische Substanz zeigt aber eine Aktivität von 15,31 Zerfall-Teilchen pro Gramm Kohlenstoff und pro Minute. Aus welcher Zeit stammt vermutlich das Tuch?



**9.Aufgabe** (P504)

Bei Ausgrabungsarbeiten wurde ein altes Holzstück einer bekannten Baumart gefunden. Der Kohlenstoffanteil beträgt 30 g. Die Messung ergab eine Restaktivität von  $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ 1/min}$ . Die Halbwertszeit von C-14 ist 5730 a. Das Verhältnis  $N(\text{C-12}) / N(\text{C-14}) = 10^{12} / 1$  bei lebendem Holz ist bekannt.

- Berechnen Sie die Anzahl der noch im Holz befindlichen C-14-Atome.
- Vor wie viel Jahren starb der Baum an?

**10.Aufgabe:** (P505)

1g Ra-226 sendet in einer Sekunde  $3,7 \cdot 10^{10}$  Alpha-Teilchen aus. Berechnen Sie daraus die Halbwertszeit und die Zerfallskonstante von Ra-226. Atommasse von Ra-226 = 226,0254 u.

**11.Aufgabe:** (P506)

Die Halbwertszeit von U-238 beträgt  $4,5 \cdot 10^9$  Jahre. Wie viele Kerne zerfallen pro Sekunde in einem Kilogramm? Atommasse U-238: 238,0508 u.

**12.Aufgabe** (P507)

Archäologen finden bei Ausgrabungen Holzkohlenreste. Diese Kohlestückchen lassen sich nach der C-14-Methode datieren. Bei der Altersbestimmung wird die Aktivität dieser alten Probe mit der Aktivität einer frischen Holzkohlenprobe verglichen. Das Ergebnis: Die alte Probe weist eine Aktivität von 21,2 Zerfällen pro Minute auf. Die Referenzprobe weist eine Aktivität von 32,3 Zerfällen pro Minute auf. Berechnen Sie das Alter der gefundenen Holzkohlenprobe.

**13.Aufgabe:**  $\alpha$ -Teilchen, die ein radioaktives Präparat mit der kinetischen Energie  $W_k = 4,78 \text{ MeV}$  verlassen, haben in Luft vom Normaldruck 1 bar die Reichweite 3,3 cm. Bei jedem Ionisationsakt eines Moleküls der Luft verliert das Alphateilchen  $\Delta W_k = 32,5 \text{ eV}$  seiner Energie. Wie viele Ionisationsakte finden längs der Flugbahn je 1 cm Strecke statt, und welchen Weg legt das  $\alpha$ -Teilchen im Mittel zwischen zwei Ionisationen zurück?

**14.Aufgabe:** Die Zerfallskonstante des Radiums ist  $\lambda_{\text{Ra}} = 1,38 \times 10^{-11} \text{ 1/s}$ , die des Thoriums  $\lambda_{\text{Th}} = 1,58 \times 10^{-18} \text{ 1/s}$ . Zu einem bestimmten Zeitpunkt liegen jeweils  $m = 1 \text{ mg}$  dieser Substanzen vor. Wie viele Atome zerfallen innerhalb der nächsten Sekunde? Es ist:  $A_r(\text{Ra}) = 226$ ;  $A_r(\text{Th}) = 232$ .

**15.Aufgabe:** Wie viele Atome sind von der Ausgangsmasse  $m = 1 \text{ kg}$  Radium nach 100 000 Jahren noch übrig? ( $\lambda_{\text{Ra}} = 1,38 \times 10^{-11} \text{ 1/s}$ ,  $A_r(\text{Ra}) = 226$ )

**16.Aufgabe:** a) Wie groß ist die Anzahl der vorhandenen Radiumatome sein, wenn in einer Sekunde gerade 1000 Atome zerfallen sind?

b) Beantworten Sie die gleiche Frage für Thoriumatome?

$$\lambda_{\text{Ra}} = 1,38 \times 10^{-11} \text{ 1/s}, \quad \lambda_{\text{Th}} = 1,58 \times 10^{-18} \text{ 1/s}$$

**17.Aufgabe:** Polonium ist als reiner  $\alpha$ -Strahler für viele Experimente sehr geeignet. Die Halbwertszeit des Poloniums ist  $T_{1/2} = 138,4$  Tage. Eine Schule kauft ein Präparat mit der Masse  $m_0$ . Wie lange kann die Schule mit diesem Präparat experimentieren, wenn die Experimente eine Polonium-Mindestmasse von  $m = 0,02 \times m_0$  erfordern?

**18.Aufgabe:** Die Erfahrung zeigt, dass die Masse  $m = 0,1 \text{ g}$  Uran 238 in einer Sekunde rund 1240  $\alpha$ -Teilchen aussendet. Welche Werte errechnen sich hieraus für die Zerfallskonstante  $\lambda$ , die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  und die mittlere Lebensdauer  $t$  von Uran 238?

**19.Aufgabe:** Berechnen Sie die Masse eines radioaktiven Präparates aus  $^{89}_{38}\text{Sr}$ , das bei einer Halbwertszeit von  $T_{1/2} = 51 \text{ d}$  die Aktivität  $A = 10^8 \text{ 1/s}$  besitzt!

**20.Aufgabe:** Die Aktivität einer Radonmenge wird an einer Reihe aufeinander folgender Tage gemessen. Dabei mögen sich die folgenden mittleren Zahlen für die an den einzelnen Tagen ausgesandten Alphateilchen ergeben:

- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1.Tag $4,3 \times 10^{16}$ Teilchen   | 2.Tag $3,6 \times 10^{16}$ Teilchen   |
| 3.Tag $3,0 \times 10^{16}$ Teilchen   | 4.Tag $2,5 \times 10^{16}$ Teilchen   |
| 5.Tag $2,1 \times 10^{16}$ Teilchen   | 6.Tag $1,7 \times 10^{16}$ Teilchen   |
| 7.Tag $1,4 \times 10^{16}$ Teilchen   | 8.Tag $1,2 \times 10^{16}$ Teilchen   |
| 9.Tag $1,03 \times 10^{16}$ Teilchen  | 10.Tag $0,86 \times 10^{16}$ Teilchen |
| 11.Tag $0,73 \times 10^{16}$ Teilchen |                                       |

- Wieviel Prozent der ursprünglichen Aktivität ist an den einzelnen Tagen noch vorhanden?
- Stellen Sie die noch vorhandene prozentuale Aktivität als Funktion der Zeit grafisch dar!
- Wie viel Prozent des vorhandenen Radons zerfällt an einem Tag?
- Stellen Sie aus der grafischen Darstellung fest, nach welcher Zeit ungefähr die Hälfte der ursprünglichen Radonmenge zerfallen ist!
- Wie groß ist die Gesamtzahl der nach vollständigem Zerfall gezählten Alphateilchen?

- 21.Aufgabe:** a) Welche kinetische Energie muss ein Alphateilchen haben, damit es sich bei zentralem Beschuss einem Kohlenstoffkern  $^{12}_6\text{C}$  bis zu dem Abstand  $r = 5 \cdot 10^{-14} \text{ m}$  nähert?  
b) Welche Beschleunigungsspannung wäre erforderlich, um Alphateilchen aus dem Ruhezustand auf diese Energie zu bringen?

**22.Aufgabe:** Ein Alphateilchen mit der kinetischen Energie  $W_{k,1} = 5 \text{ MeV}$  trifft zentral auf einen ruhenden Kupferkern. Nach der elastischen Reflexion am Kupferkern fliegt es mit der kinetischen Energie  $W_{k,2} = 3,9 \text{ MeV}$  entgegen der ursprünglichen Richtung. Wenden Sie auf diesen Prozess den Energie- und Impulserhaltungssatz an! Berechnen Sie auf diese Weise das Verhältnis der Masse des Kupferatoms zur Masse des Alphateilchens! Benutzen Sie die klassische Formel für die kinetische Energie!

**23.Aufgabe:** Ein von einem Radonatom ausgesandtes Alphateilchen hat die kinetische Energie  $W_k = 5,59 \text{ MeV}$ . Es wird von einem dünnen Kupferblech so reflektiert, dass die Reflexionsrichtung mit der Einfallrichtung den Winkel  $180^\circ$  bildet. Bis auf welche kürzeste Entfernung hat sich das Alphateilchen dem reflektierten Kupferkern genähert?

**24.Aufgabe:** Das radioaktive Isotop Bismut  $^{214}_{83}\text{Bi}$  sendet Alphateilchen mit der kinetischen Energie  $W_k = 5,5 \text{ MeV}$  aus. Wenn ein solches Alphateilchen sich zentral einem Silberkern  $^{107}_{47}\text{Ag}$  oder  $^{109}_{47}\text{Ag}$  nähert, werden Coulomb-Abstoßungskräfte wirksam, die die Geschwindigkeit des Alphateilchens vermindern.

- Welches ist der kleinste Abstand zwischen einem Silberkern und einem Alphateilchen, wenn beide als punktförmige Gebilde angesehen werden?
- Welcher Unterschied besteht für diesen kleinsten Abstand bei den beiden oben genannten Silberkernen?