

Name:.....Vorname:.....Mtrl. Nr:.....

**Bitte beachten Sie, dass bei einigen Fragen mehrere Antworten angekreuzt werden müssen.**

1. Zur Abschätzung der Atomgröße verwendet man u. a. den Kovalenzradius (halber Abstand zweier kovalent gebundener Atome gleicher Elementsorte). Leiten Sie aus dem systematischen Verhalten der Elemente die Werte für die Elemente Natrium, Aluminium und Chlor ab.

- a. Na -  $r_K = 0,143$  nm, Al -  $r_K = 0,099$  nm, Cl -  $r_K = 0,186$  nm.
- b. Na -  $r_K = 0,099$  nm, Al -  $r_K = 0,143$  nm, Cl -  $r_K = 0,186$  nm.
- c. Na -  $r_K = 0,186$  nm, Al -  $r_K = 0,143$  nm, Cl -  $r_K = 0,099$  nm.
- d. Na -  $r_K = 0,186$   $\mu\text{m}$ , Al -  $r_K = 0,099$   $\mu\text{m}$ , Cl -  $r_K = 0,143$   $\mu\text{m}$ .

2. Beim Versuch zur Bestimmung der Elementarladung (Milikan) können Öltröpfchen mit Radien von ca.  $1,1 \mu\text{m}$  mit einer einzigen Elementarladung durch ein elektrisches Feld angehoben werden. (Das gleiche Prinzip wird bei einem industriellen Elektrofilter verwendet.) Das Tröpfchen möge aus Ölsäure der Molmasse von  $282 \text{ g mol}^{-1}$  bestehen. Wie viele Ölsäuremoleküle enthält das Tröpfchen?

Dichte:  $\rho_{\text{Ölsäure}} = 0,9 \text{ g cm}^{-3}$ , Avogadro-Konstante:  $N_A = 6,022141 \cdot 10^{23} \text{ g mol}^{-1}$ .

- a.  $\sim 1 \cdot 10^8$
- b.  $\sim 1 \cdot 10^{10}$
- c.  $\sim 1 \cdot 10^{12}$
- d.  $\sim 1 \cdot 10^{23}$

3. Nehmen Sie an, dass das  $1 \mu\text{m}$  große Öltröpfchen (siehe Frage Nr. 2) mit einer Elementarladung im elektrischen Feld eines Plattenkondensators (Plattenabstand  $1 \text{ mm}$ ) zum Schweben gebracht wird. Welche Spannung muss an den Kondensator gelegt werden?

Elektrische Elementarladung:  $e = 1,602176 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Coulombkraft = Auftriebskraft:  $q \cdot E = m \cdot g$

Homogener Plattenkondensator:  $E = U / d$

Lösung:  $U = \frac{m \cdot g \cdot d}{e} = 307 \text{ V} \cong 300 \text{ V}$

- a.  $\sim 3 \text{ V}$
- b.  $\sim 30 \text{ V}$
- c.  $\sim 300 \text{ V}$
- d.  $\sim 3000 \text{ V}$



4. Welche Aussagen zur Ablenkung von verschiedenen Strahlenarten in einem bestimmten Magnetfeld konstanter Stärke ist richtig?
- a.  $\alpha$ -Strahlung werden immer stärker abgelenkt, als  $\beta$ -Strahlung.
  - b. Elektronen und Positronen werden in entgegen gesetzte Richtungen abgelenkt.
  - c.  $\gamma$ -Strahlung wird niemals, Neutronen nur ein wenig abgelenkt.
  - d. Bei gleicher elektrischer Ladung und Energie werden Strahlenarten größerer Massen weniger stark abgelenkt.
  - e. Aus dem Krümmungsradius der Bahn kann man die spezifische elektrische Ladung des Strahlungsteilchens bestimmen.
  - f. Wenn die Krümmungsradien zweier Teilchen gleich sind, muss deren Masse gleich sein. Die Teilchenenergie spielt keine Rolle.



5. Welche Aussage ist richtig?

- a. Die Balmer Serie des Wasserstoffs liegt im Bereich der UV-Strahlung.
- b. Die Balmer Serie gehört zum Lichtspektrum des Heliums.
- c. Interstellare Gasnebel erscheinen auf astronomischen Bildern deshalb rot, weil sie hauptsächlich Wasserstoffgas enthalten, was nach Anregung eine intensive rote Spektrallinie aussendet.
- d. Die Frequenzen der Spektrallinien der Balmer Serie sind proportional zu  $n^3$ , wobei  $n = 1, 2, 3, \dots$  die natürlichen Zahlen durchläuft
- e. Die rote  $H_{\alpha}$ -Linie der Balmer Serie des Wasserstoffs entsteht durch einen Elektronensprung zwischen dem dritten und zweiten Energieniveau des H-Atoms.

6. Welche Aussage zur elektromagnetischen Strahlung ist richtig?

- a. Natrium-Lampen senden eine intensive gelbe Spektrallinie (Doppellinie) mit einer Wellenlänge von  $\sim 589$  nm aus, deren Photonenergie ungefähr 2 keV beträgt.
- b. Die Photonen der roten  $H_{\alpha}$ -Wasserstofflinie haben eine Energie von 1,89 eV. Die Frequenz der elektromagnetischen Welle hat folglich den Wert 457 THz
- c. Ultraviolettes Licht liegt im Wellenlängenbereich von 10 - 380 nm und ist deshalb nicht-ionisierend.
- d. Der Mikrowellenbereich mit Wellenlängen von 1 mm bis 1 m entspricht Frequenzen von 300 MHz bis 300 GHz.
- e. Radiowellen mit sehr hohen Intensitäten werden zu den ionisierenden Strahlenarten gerechnet.

7. Verschiedene elektromagnetischen Strahlungsarten sollen nach der Photonenergie sortiert werden. Welche Aussage ist richtig?

$\gamma$ -Strahlung (1), sichtbares Licht (2), Radio-Mittelwelle (3), Radarstrahlung (4), weiche UV-Strahlung (5), IR-Strahlung (6), Radio-Longwelle (7), kontinuierliche Röntgenstrahlung (8), kosmische Strahlung (9), charakteristische Röntgenstrahlung (10), harte UV-Strahlung (11), Mikrowellenstrahlung (12), UKW (13).

- a.  $(1) > (2) > (10) > (6)$
- b.  $(3) > (13) > (7)$
- c.  $(1) > (6) > (12) > (7)$
- d.  $(11) > (10) > (1) > (7)$

8. Durch welche gemeinsamen Eigenschaften werden neutrale Isotope beschrieben?

- a. Die Zahl der Neutronen ist gleich, die Zahlen der Protonen und Elektronen können unterschiedlich sein.
- b. Summe aus Protonenzahl und Elektronenzahl ist gleich der Neutronenzahl.
- c. Summe aus Neutronenzahl und Protonenzahl ist konstant.
- d. Zahlen der Elektronen und Protonen sind gleich, die Neutronenzahl kann unterschiedlich sein.

9. Welche Aussage zum Thema Atommassen ist richtig?

- a. Die Atommassenkonstante  $u$  ist kleiner als die Masse des neutralen Wasserstoffs  ${}^1\text{H}$  und kleiner als die Masse des Neutrons.
- b. Multipliziert man die Atommassenkonstante mit  $c^2$  so beträgt  $u \cdot c^2 = 938,8$  MeV.
- c. Die Atommassenkonstante entspricht exakt der Masse eines neutralen Wasserstoffatoms  ${}^1\text{H}$ .
- d. Die Atommassenkonstante hat den Wert  $u = 1,660538 \cdot 10^{-27}$  kg.
- e. Die Atommassenkonstante ist gleich (1/16) der Masse des neutralen  ${}^{16}\text{O}$  Isotopes.



10. Welche Aussage gilt für den Massenexzess (engl. mass excess)  $m_{\text{exc}}$ ?
- $m_{\text{exc}}$  ist die nach der Beziehung  $\Delta m = B/c^2$  aus der Bindungsenergie  $B$  berechenbare Massendifferenz  $\Delta m$ .
  - $m_{\text{exc}}$  entspricht dem Masseverlust bei der Ionisation eines Atoms.
  - $m_{\text{exc}}$  die Differenz von Atomkernmasse und Atommasse.
  - $m_{\text{exc}}$  entspricht dem Massenunterschied zwischen der wahren Atommasse und dem Produkt aus Atommassenzahl  $A$  und Atommassenkonstante  $u$ .
11. Prüfen Sie mit Hilfe der beiliegenden Atommassentabelle (Mass excess values) die folgenden Aussagen. Welche Aussage ist in Bezug auf den genauen Massenwert bzw. dem entsprechenden Masse-Energieäquivalent des  $^{40}\text{K}$  richtig?
- $m(^{40}\text{K}) \cdot c^2 = 37293 \text{ MeV}$
  - $m(^{40}\text{K}) \cdot c^2 = 37226 \text{ MeV}$
  - $m(^{40}\text{K}) \cdot c^2 = 37259 \text{ MeV}$
  - $m(^{40}\text{K}) = 6,648 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
  - $m(^{40}\text{K}) = 6,642 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
  - $m(^{40}\text{K}) = 6,636 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
12. Das radioaktive Isotop  $^{14}\text{C}$  entsteht kontinuierlich in den oberen Schichten der Atmosphäre durch eine Kernreaktion des Luftstickstoffs  $^{14}\text{N}$  mit Neutronenstrahlung. Berechnen Sie mit Hilfe der Atommassentabellen (Mass Excess Values) die Gesamtenergie der Reaktionsprodukte. Welcher Wert ist richtig?
- Reaktionsenergie:  $Q_{\text{Reakt}} = -938,823 \text{ keV}$
  - Reaktionsenergie:  $Q_{\text{Reakt}} = +625,871 \text{ keV}$
  - Reaktionsenergie:  $Q_{\text{Reakt}} = -625,871 \text{ keV}$
  - Reaktionsenergie:  $Q_{\text{Reakt}} = -9476,978 \text{ keV}$
13. Nuklide werden durch eine bestimmte Massenzahl  $A$  und eine bestimmte Ordnungszahl  $Z$  definiert. Welche Aussagen sind richtig?
- Die Nuklide können unterschiedliche Atommassen besitzen.
  - Nuklide sind leichter als die Gesamtmasse von  $Z$  Protonen und  $(A-Z)$ -Neutronen.
  - Alle Nuklide mit denselben  $Z$  und  $A$  besitzen eine einheitliche Atommasse.
  - Alle Nuklide können unabhängig von ihren  $Z$  und  $A$  Werten immer auch  $\alpha$ -Strahlung aussenden.
14. Welche Aussage über radioaktive Zerfallsprozesse ist richtig?
- Durch einen  $\alpha$ -Zerfall wird stabilere Kernmaterie erzeugt: Tochterkern und  $\alpha$ -Teilchen sind stabiler als der Mutterkern.
  - Die Positronen des  $\beta^+$ -Zerfalls sind vor dem Zerfall bereits Bestandteil des Mutterkerns.
  - Innerhalb eines Atomkerns können sich sowohl Protonen in Neutronen, als auch Neutronen in Protonen umwandeln, vorausgesetzt, der Endzustand hat eine niedrigere Energie als der Ausgangszustand.
  - Bei der  $\beta^+$ -Umwandlung eines Protons in ein Neutron werden zusätzlich zum Neutron ein Positron und ein Neutrino neu gebildet.



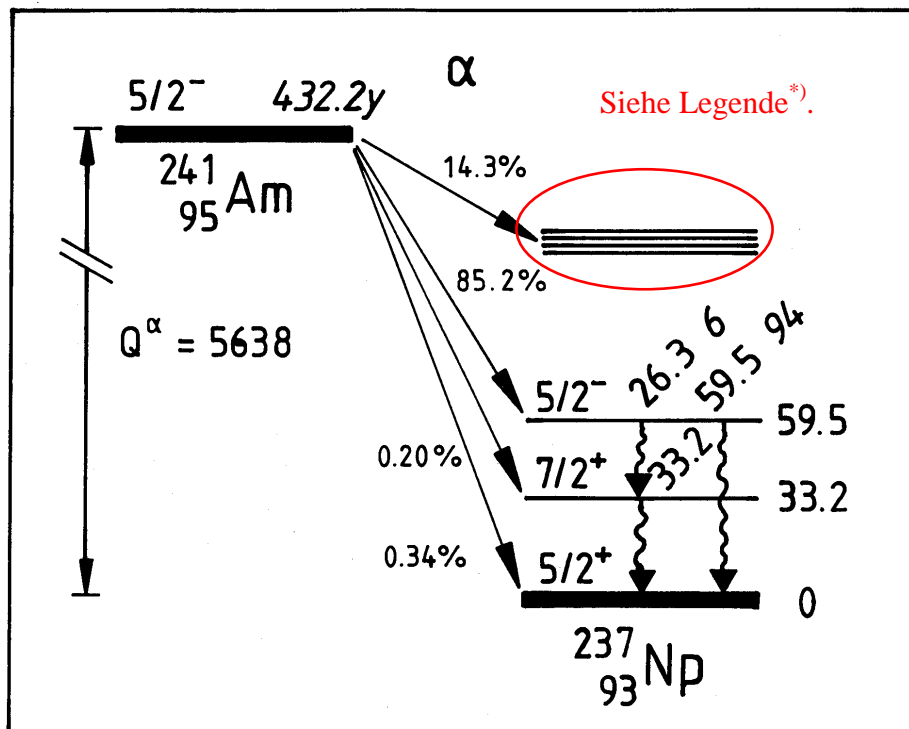
- 15. Eigenschaften der  $\gamma$ -Strahlung. Welche Aussage ist richtig?**
- a.  $\gamma$ -Quanten sind geladene Teilchen mit einer endlichen Ruhemasse.
  - b.  $\gamma$ -Quanten kleiner Energie (Energiebereich: keV - MeV) reagieren in Materie ähnlich wie Röntgen- und Licht-Quanten durch den Photoeffekt. Dabei wird die gesamte Energie des Quants auf ein Hüllenelektron übertragen.
  - c. Im Gegensatz zu Röntgen- oder Licht-Quanten reagieren  $\gamma$ -Quanten immer nur durch Comptoneffekt. Dabei wird ein Teil der Energie des  $\gamma$ -Quants auf ein Elektron übertragen und ein neues  $\gamma$ -Quant mit kleinerer Energie erzeugt.
  - d.  $\gamma$ -Quanten sehr hoher Energie (Energiebereich: GeV) erzeugen in Materie vorzugsweise Elektron-Positron-Paare.
  - e.  $\gamma$ -Quanten im Energiebereich  $\sim$ MeV reagieren in Materie niemals durch Comptoneffekts, da diese Form der Wechselwirkung eine Schwelle von 1,022 MeV besitzt.
- 16. Bei der Paarerzeugungsreaktion eines  $\gamma$ -Quants**
- a. wird der Energieerhaltungssatz verletzt.
  - b. wird ein Teil der Energie eines  $\gamma$ -Quants auf ein Elektron der Atomhülle übertragen.
  - c. verschwindet das einfallende Photon.
  - d. entstehen winkelgestreute Photonen mit kleinerer Energie.
  - e. erhalten ein Elektron und ein Positron zusammen eine kinetische Energie, die der Energie  $E = h \cdot \nu - 1,022 \text{ MeV}$  des einfallenden  $\gamma$ -Quants entspricht.
- 17. Welche Beziehung gilt allgemein für die Energie von Photonen**
- a.  $E = m c^2$
  - b.  $E = \frac{1}{2} m v^2$
  - c.  $E = e U$
  - d.  $E = (h c) / \lambda = h \nu$
  - e.  $\Delta E = (h/2\pi) / \Delta t$
- 18. Welche Aussagen zu den ionisierenden Strahlungen sind richtig?**
- a.  $\alpha$ -Teilchen erzeugen in 1 cm Luft typischerweise ca. 30000 Ionenpaare.
  - b. Verschiedene geladenen Teilchen erzeugen gleich dichte Ionisationsspuren in Materie.
  - c.  $\alpha$ -Teilchen besitzen in Luft eine Reichweite zwischen 1 cm und 10 m.
  - d. Indirekt ionisierende Teilchen können den Körper einer Person ohne Wechselwirkung durchqueren.
- 19. Welche Aussagen zu den ionisierenden Strahlungen sind richtig?**
- a. Elektronen und Positronen sind indirekt ionisierend.
  - b. Neutronen reagieren praktisch nicht mit den Atomhüllenelektronen der Materie.
  - d.  $\gamma$ -Strahlung ist indirekt ionisierend. Sie kann auf Elektronen der Atomhülle (Photoeffekt), aber auch auf den Atomkernen (Kernphotoeffekt) Energie übertragen.
  - e. Die Schwächung der  $\gamma$ -Strahlung in Materie hängt quadratisch von der Dicke der Materieschicht ab.



20. Welche Aussagen zu "ionisierenden", "nicht-ionisierenden", "direkt ionisierenden" und "indirekt ionisierende" Strahlungen sind richtig?
- a. Neutronen und Neutrinos sind "direkt ionisierend".
  - b.  $\beta^-$ -Strahlung und  $\beta^+$ -Strahlung sind "direkt-ionisierend".
  - c. UV-Strahlung kann "ionisierend" sein.
  - d. Röntgen-,  $\gamma$ - und Neutronenstrahlung sind "nicht-ionisierend".
  - e. Radiowellen und Mikrowellen sind "indirekt-ionisierend".
  - f.  $\gamma$ - und Neutronenstrahlung sind "indirekt ionisierend".
  - g. Radio- und Funkwellen sind "nicht-ionisierend".
21. Welche Aussage zur Kernenergie ist richtig?
- a. In Deutschland waren bis Ende 2010 17 Kernkraftwerke mit einer Nettoleistung von 20.457 MWe (brutto) am Netz. Sie leisten ca. 22% der allgemeinen Stromversorgung und ermöglichten eine Einsparung von ca. 100 – 150 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>.
  - b. Brennstoff eines Kernkraftwerks sind spontansplattendende Stoffe wie z. B. <sup>238</sup>U.
  - c. Kernkraftwerke sind absolut sicher und völlig risikolos
  - d. Kernkraftwerke erzeugen bereits im Normalbetrieb erhebliche, leicht nachweisbare, gefährliche Strahlenbelastungen in ihrer direkten Umgebung.
  - e. Besondere Risiken der Kernkraftwerke stellen die Nachwärmeproduktion der Spaltprodukte in Kombination mit einem großen Inventar an radioaktiven Stoffen dar.
22. Welche Aussage zur Kerntechnik ist richtig?
- a. In Deutschland betreibt man Siedewasser- oder Druckwasserreaktoren. Diese verwenden angereichertes <sup>235</sup>U oder <sup>239</sup>Pu als Brennstoff und leichtes Wasser als Moderator.
  - b. Bei einem Schwerwasserreaktor kann Natururan als Brennstoff und leichtes Wasser zusammen mit Graphit als Kühlmittel und Moderator und verwendet werden.
  - c. Die Neutronendichte im Siede- bzw. Druckwasserreaktor wird durch Regelstäbe bestehend aus neutronenabsorbierenden Stoffen (z. B. Bor) und durch einen Zusatz von Borsäure mit variabler Konzentration im Kühlmittel/Moderator geregelt.
  - d. Brennelement können direkt nach dem Ausbau aus dem Reaktordruckgefäß in einen Transportbehälter verpackt und abtransportiert werden.
  - e. Metalle, die einer starken Neutronenbestrahlung ausgesetzt sind, können aufquellen und eine erhebliche Verschlechterung ihrer Materialeigenschaften erfahren. Dies gilt besonders für die Brennstabhüllen und das Reaktordruckgefäß.
23. Welche Isotope werden in heutigen deutschen Kernkraftwerken als Spaltstoffe verwendet?
- a. <sup>238</sup>U
  - b. <sup>235</sup>U
  - c. <sup>234</sup>U
  - d. <sup>239</sup>Pu
  - e. <sup>238</sup>Pu
  - f. <sup>232</sup>Th
24. Wie viel Energie wird bei einer einzelnen Kernspaltung frei?
- a. ca. 4,1 eV.
  - b. Der Wert ist unterschiedlich, der Mittelwert beträgt ungefähr 200 MeV.
  - c. ca. 200 eV.
  - d. Der Wert ist immer unterschiedlich und deshalb kann man auch keinen theoretischen Schätzwert angeben.
  - e. Der Wert beträgt immer ganz exakt 198,928 MeV.



25. Welche Aussage zur Schwächung von  $\gamma$ -Strahlung ist richtig?
- Bei  $\gamma$ -Energien von ca. 100 keV ist die Schwächung stark Z-abhängig.
  - Bei der Abschirmung von Röntgenstrahlung ( $E < 100$  keV) kommt es im Wesentlichen auf die Dichte des Absorbers an. Die Ordnungszahl ist weniger wichtig.
  - Eine 10 cm dicke Bleischicht ( $\rho_{Pb} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$ ) schwächt  $\gamma$ -Strahlung von  $\sim 1$  MeV etwa gleich stark wie eine gleich dicke Betonwand ( $\rho_{Beton} = 2,3 \text{ g cm}^{-3}$ )
  - 10 m Wasser entspricht bei  $\gamma$ -Strahlung von  $\sim 1$  MeV etwa 4 m Beton.
  - Zur Schwächung von Röntgenstrahlung ist Aluminium besser geeignet als Blei.
26. Ein Laborgerät zur Feuchtebestimmung enthält eine radioaktive  $^{241}\text{Am}$  Quelle (siehe beiliegendes Zerfallsschema). Die Aktivität der Quelle wird vom Hersteller mit  $A = 3,7 \text{ GBq}$  zum Bezugsdatum 09.10.1996 angegeben.
- Welche Aktivität besitzt die Quelle aktuell (Referenzdatum: 13.05.2011)?
  - Welche Masse (in der Einheit g) des  $^{241}\text{Am}$  Isotops enthält die Quelle zum Referenzzeitpunkt?
  - Eine Neutronenquelle entsteht dadurch, dass man das  $^{241}\text{Am}$  in der Quellenkapsel mit  $^9\text{Be}$  vermischt. Durch Kernreaktion der  $\alpha$ -Strahlung des  $^{241}\text{Am}$  mit dem  $^9\text{Be}$  Isotop werden Neutronen erzeugt. Stellen Sie die Reaktionsgleichung dieser Kernreaktion auf.
  - Welche Energie wird bei dieser Kernreaktion frei? (verwenden Sie dazu die Massenexzess-tabelle)



### Vereinfachtes Zerfallsschema des $^{241}\text{Am}$ .

<sup>\*)</sup> Um eine übersichtliche Darstellung zu erhalten, wurden die Detailinformationen für zahlreicher höhere Anregungszustände des  $^{237}\text{Np}$  weggelassen. Insgesamt werden diese mit einer Wahrscheinlichkeit von 14,3% durch den  $\alpha$ -Zerfall des  $^{241}\text{Am}$  eingespeist. Für die hier relevanten Fragen ist dies nicht bedeutsam.

- Wie groß ist die Masse des Heliums, die zwischen dem Bezugsdatum und heute (13.05.2011) in der Quelle erzeugt wurde?
- Welche Dicke sollte ein Abschirmbehälter aus Blei mindestens haben, um die Intensität der 59.5 keV  $\gamma$ -Strahlung um den Faktor  $10^6$  schwächen zu können?



27. In einem Laborversuch wurde die Schwächung von  $\gamma$ -Strahlung der Energie 59,5 keV ( $^{241}\text{Am}$ ) und 661 keV ( $^{137}\text{Cs}$ ) in Blei untersucht. Nach Abzug des Untergrunds wurden folgende Werte ermittelt:

Absorberdicke	$E_\gamma = 661,6 \text{ keV}$	$E_\gamma = 59,5 \text{ keV}$
$x / \text{mm}$	N / 15s	N / 15s
0	20265	35786
0,5	-	1985
4	12198	-

- a. Berechnen Sie die Schwächungskoeffizienten  $\mu$ , die Massenschwächungskoeffizienten  $\frac{\mu}{\rho}$ , die Halbwertsdicke  $d_{1/2}$  und den Gesamtwirkungsquerschnitt  $\sigma_{ges}$  und vergleichen Sie ihre Ergebnisse mit Literaturwerten (siehe Anlage).
28. Die Halbwertszeit des  $^{235}\text{U}$  beträgt  $T_{1/2} = 7,038 \cdot 10^8 \text{ a}$ , die von  $^{238}\text{U}$  beträgt  $T_{1/2} = 4,468 \cdot 10^9 \text{ a}$ . Heutzutage ist der relative Anteil des  $^{235}\text{U}$  mit  $(0,7200 \pm 0,0012)\%$  zu klein, um zusammen mit leichtem Wasser als Moderator eine kritische Anordnung bilden zu können. Es gibt jedoch eindeutige geologische Hinweise, dass in frühen Phasen der Erdgeschichte natürliche Kernreaktoren in Uranlagerstätten kritisch geworden sind. Wenn man annimmt, dass dies einen relativen Mindestanteil von 4,0% des  $^{235}\text{U}$  im Gemisch mit  $^{238}\text{U}$  erforderte, kann man aus den unterschiedlichen Halbwertszeiten von  $^{235}\text{U}$  und  $^{238}\text{U}$  den Zeitpunkt berechnen, in dem die Naturreaktoren kritisch waren. Berechnen Sie diesen Zeitpunkt.

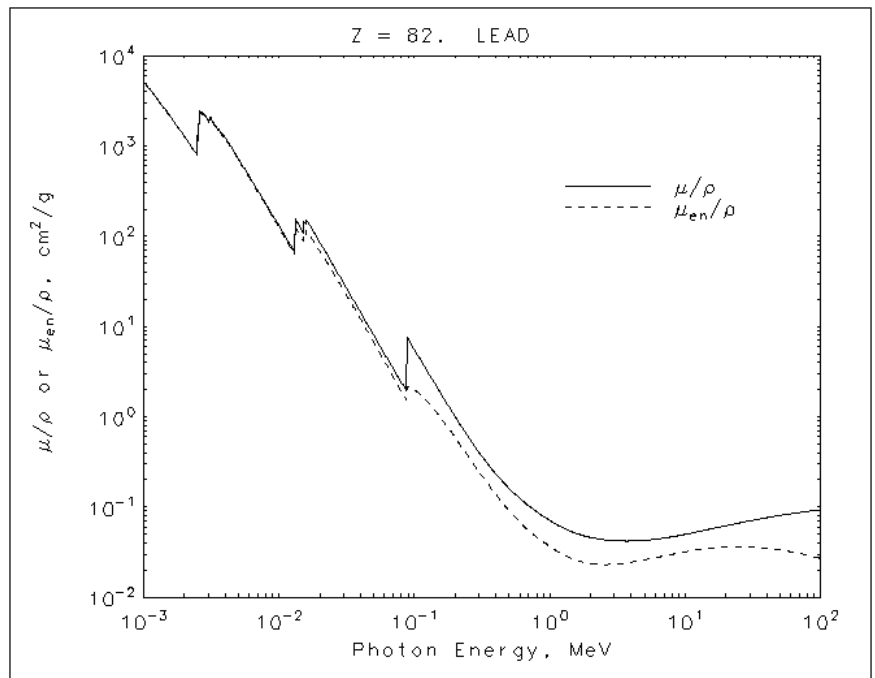




Anlagen:

A1. Mass attenuation coefficient / Massenschwächungskoeffizient

$E / \text{MeV}$	$(\mu/\rho)$ $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$
	<b>Blei</b>
3,0E-02	3,032E+01
4,0E-02	1,436E+01
5,0E-02	8,041E+00
6,0E-02	5,021E+00
8,0E-02	2,419E+00
8,8E-02	1,910E+00
8,8E-02	7,683E+00
1,0E-01	5,549E+00
1,5E-01	2,014E+00
2,0E-01	9,985E-01
3,0E-01	4,031E-01
4,0E-01	2,323E-01
5,0E-01	1,614E-01
6,0E-01	1,248E-01
8,0E-01	8,870E-02
1,0E+00	7,102E-02
1,3E+00	5,876E-02
1,5E+00	5,222E-02
2,0E+00	4,606E-02
3,0E+00	4,234E-02
4,0E+00	4,197E-02
5,0E+00	4,272E-02
6,0E+00	4,391E-02
8,0E+00	4,675E-02
1,0E+01	4,972E-02



Dichte:  $\rho_{Pb} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$

Quelle:

<http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/cover.html>



N =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	N =		
n	0	8071,3171												n	0	
H	1	7288,9705	13135,72158	14949,806	25901,518	32892,44	41863,757	49135#	<b>Mass excess = <math>m_{exc}c^2 = (m(Z,A) - A * u) * c^2</math> in keV</b>						H	1
He	2		14931,21475	2424,91565	11386,233	17595,106	26101,038	31598,044	40939,429	48809,203				He	2	
Li	3	28667#	25323,185	11678,886	14086,793	14908,141	20946,844	24954,264	33050,581	40797,31	50096#			Li	3	
Be	4		37996#	18374,947	15770,034	4941,672	11347,648	12606,67	20174,064	25076,506	33247,823	39954,498	49798#	57678#	Be	4
B	5		43603#	27868,346	22921,49	12415,681	12050,731	8667,931	13368,899	16562,166	23663,683	28972,278	37081,686	43770,816	B	5
C	6			35094,06	28910,491	15698,682	10650,342	0	3125,01129	3019,89305	9873,144	13694,129	21038,832	24926,178	C	6
N	7				38800,148	24303,569	17338,082	5345,481	2863,41704	101,43805	5683,658	7871,368	13114,466	15862,129	N	7
O	8					32047,954	23112,428	8007,356	2855,605	-4737,00141	-808,813	-781,522	3334,87	3797,462	O	8
F	9		<b>Mass excess values in keV</b>				32658#	16775,372	10680,254	1951,701	873,701	-1487,386	-17,404	-47,551	F	9
Ne	10							23996,462	16460,901	5317,166	1751,44	-7041,93131	-5731,776	-8024,715	Ne	10
N =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Na	11	
								24189,968	12926,808	6847,719	-2184,161	-5182,436	-9529,85358	Mg	12	
								33040,092	17570,348	10910,506	-396,963	-5473,766	-13933,567	Al	13	
N =	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	N =		
			$u = 1,660\ 538\ 86\ 10^{-27}\ \text{kg}$ $uc^2 = 931,494\ 043\ \text{MeV}$													
B	5	52322#	59364#							26119#	18183#	6769,57	-56,946	-8916,172	Al	13
C	6	32420,666	37557,61	45960#	53281#					32164#	23772#	10754,673	3824,318	-7144,632	Si	14
N	7	21765,11	25251,164	32038,675	38396#	47543#	56504#								P	15
O	8	8062,906	9284,152	14612,96	19070,4	27442#	35713#	44954#	53850#						S	16
F	9	2793,378	3329,747	7559,527	11272,706	18271,772	24926,86	33226#	40296#	48903#	56289#				Cl	17
Ne	10	-5154,045	-5951,521	-2108,075	429,611	7069,949	11244,601	18057,881	23102,025	30842#	37278#	45997#	53121#	25	Ar	18
Na	11	-8418,114	-9357,818	-6862,316	-5517,436	-989,247	2665,004	8361,09	12654,768	19064,478	24889,293	32761#	39582#	47953#	Na	11
Mg	12	-13192,826	-16214,582	-14586,651	-15018,641	-10619,032	-8910,672	-3217,38	-954,781	4894,07	8808,603	16152#	21424#	29249#	Mg	12
Al	13	-12210,309	-17196,658	-16850,441	-18215,322	-15872,419	-14953,628	-11061,966	-8529,377	-2932,495	-130,19	5781,974	9946,326	16050,594	Al	13
Si	14	-12384,301	-21492,79678	-21895,046	-24432,928	-22949,006	-24080,907	-20492,662	-19956,77	-14360,307	-12482,507	-6579,998	-4067,274	1928,205	Si	14
P	15	-7158,753	-16952,626	-20200,575	-24440,885	-24305,218	-26337,486	-24557,669	-24857,74	-20250,977	-18994,145	-14757,82	-12873,735	-8106,838	P	15
S	16	-3159,582	-14062,532	-19044,648	-26015,697	-26585,994	-29931,788	-28846,356	-30664,075	-26896,36	-26861,197	-23162,245	-22866,568	-19019,105	S	16
Cl	17	4443#	-7067,165	-13329,771	-21003,432	-24439,776	-29013,54	-29521,857	-31761,532	-29798,097	-29800,203	-27557,81	-27307,189	-24912,99	Cl	17
Ar	18	11293#	-2200,204	-9384,141	-18377,217	-23047,411	-30231,54	-30947,659	-34714,551	-33242,011	-35039,89602	-33067,467	-34422,675	-32009,808	Ar	18
K	19	20418#	6763#	-1481#	-11168,9	-17426,171	-24800,199	-28800,691	-33807,011	-33535,205	-35559,074	-35021,556	-36593,239	-35809,606	K	19
Ca	20		13153#	4602#	-6439,359	-13161,76	-22059,22	-27274,4	-34846,275	-35137,759	-38547,072	-38408,639	-41468,479	-40811,95	Ca	20
Sc	21			13898#	2841#	-4937#	-14168,021	-20523,228	-28642,392	-32121,239	-36187,929	-37816,093	-41067,792	-41757,115	Sc	21
Ti	22				9101#	1500#	-8850,275	-15700#	-25121,552	-29321,103	-37548,459	-39005,737	-44123,422	-44932,394	Ti	22
V	23					10330#	-205#	-8169#	-18024#	-24116,38	-31879,629	-37073,013	-42002,051	-44475,385	V	23
N =	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	N =		

Anlage 4: Mass Excess Table: G. Audi, A.H. Wapstra and C. Thibault, [http://ie.lbl.gov/mass/2003AWMass\\_3.pdf](http://ie.lbl.gov/mass/2003AWMass_3.pdf)



## Lösungen:

26.a. Aktivität der Quelle zum Bezugszeitpunkt 09.10.1996:

$$A_0 = 3,7 \text{ GBq} = 3,7 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$$

Aktivität:  $A(t) = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$

Aktivität der Quelle zum Referenzdatum 13.05.2011:

$$A(t = 30.05.11) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot 3529 \text{ d}}{432,2 \cdot 365,25 \text{ d}}} = 3,61 \text{ GBq}$$

$$A(30.05.11) = 3,61 \text{ GBq}$$

b. Differentielles Zerfallsgesetz:

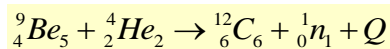
$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$$

$$N = -\frac{A}{\lambda} = -\frac{-3,61 \text{ GBq}}{\ln 2 / (432,2 \cdot 365,25 \cdot 86400 \text{ s})} = 7,112 \cdot 10^{19}$$

Zahl der Mole:  $n = \frac{N}{N_A} = \frac{7,112 \cdot 10^{19}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,181 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

Masse:  $m = A_{\text{rel}} \cdot n = 241 \text{ g mol}^{-1} \cdot 1,18 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 0,0285 \text{ g}$   
 $m = 0,0285 \text{ g}$

c. Reaktion von  $\alpha$ -Teilchen mit  ${}^9\text{Be}$ :



d. Reaktionsenergie:

$$Q = m_{\text{exc}}(4,9) + m_{\text{exc}}(2,4) - m_{\text{exc}}(6,12) + m_{\text{exc}}(0,1)$$

$$Q = (+11347,648 + 2424,91565 - 0 - 8071,3171) \text{ keV}$$

$$Q = 5701 \text{ keV}$$

e. Die Anzahl der  ${}^{241}\text{Am}$  Atome zum Bezugsdatum 09.10.1996 betrug:

$$N(09.10.1996) = -\frac{-3,700 \text{ GBq}}{\ln 2 / (432,2 \cdot 365,25 \cdot 86400 \text{ s})} = 7,28506 \cdot 10^{19}$$

Die Anzahl der  ${}^{241}\text{Am}$  Atome am 11.05.2011 betrug

$$N(13.05.2011) = -\frac{-3,6144 \text{ GBq}}{\ln 2 / (432,2 \cdot 365,25 \cdot 86400 \text{ s})} = 7,11218 \cdot 10^{19}$$

Anzahl der im Zeitintervall zerfallenen  ${}^{241}\text{Am}$  Atome:

$$\Delta N = (7,28506 - 7,11218) \cdot 10^{19} = 0,16838 \cdot 10^{19} = 1,6838 \cdot 10^{18}$$

Diese Zahl entspricht der Zahl der gebildeten  ${}^4\text{He}$  Atome, da aus jedem  $\alpha$ -Teilchen ein neutrales  ${}^4\text{He}$  wird.

Masse des He:  $m = \frac{1,6838 \cdot 10^{18}}{6,0221 \cdot 10^{23}} \cdot 4,00 \text{ g} = 1,12 \cdot 10^{-5} \text{ g} = 11,2 \mu\text{g}$

$$m = 11,2 \mu\text{g}$$

f. Bestimmung des Massenschwächungskoeffizienten aus der Tabelle 2a.

E	ln E	ln(my/rho)	my/rho
keV			cm**2/g
50	3,91202	2,08455	8,04E+00
60	4,09434	1,61363	5,02E+00
59,5	4,08598	1,63524	5,131

Quelle: <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm>



Für  $E_\gamma = 59,5 \text{ keV}$  ist der Massenschwächungskoeffizient:

$$\frac{\mu}{\rho} = 5,131 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Der entsprechende Schwächungskoeffizient ist

$$\mu = \frac{\mu}{\rho} \cdot \rho = 5,131 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 11,3 \text{ g cm}^{-3} = 57,98 \text{ cm}^{-1}$$

Bestimmung der Dicke, die erforderlich ist, um eine Schwächung von  $\frac{I}{I_0} = 10^{-6}$  zu erzeugen:

Es gilt: 
$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu \cdot z}$$

Es folgt: 
$$z = \frac{\ln \frac{I}{I_0}}{-\mu} = \frac{\ln(10^{-6})}{-57,98 \text{ cm}^{-1}} = 0,238 \text{ cm} = 2,38 \text{ mm}$$

Erforderliche Schichtdicke:  $z = 2,38 \text{ mm}$

## 27. Experiment mit $^{137}\text{Cs}$ : $E_\gamma = 661 \text{ keV}$ .

Zählrate ohne Schwächung:  $R_{11} = 20265 (15 \text{ s})^{-1}$

Zählrate hinter  $x_1 = 4 \text{ mm Pb}$ :  $R_{12} = 12198 (15 \text{ s})^{-1}$

Für  $x_1 = 0,4 \text{ cm}$  gilt:  $R_{12} = R_{11} \cdot \exp(-\mu_{661} \cdot x_1)$

$$\mu_{661} = \frac{-\ln\left(\frac{R_{12}}{R_{11}}\right)}{x_1} = \frac{-\ln\left(\frac{12198}{20265}\right)}{0,4 \text{ cm}} = 1,269 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{661} = 1,269 \text{ cm}^{-1}$$

Massenschwächungskoeffizient: 
$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1,269 \text{ cm}^{-1}}{11,3 \text{ g cm}^{-3}} = 0,1123 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Halbwertsdicke: 
$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = 0,564 \text{ cm} = 5,64 \text{ mm}$$

Vergleich mit Literaturwerten:

E	ln E	ln(my/rho)	my/rho
keV			cm**2/g
<b>600</b>	6,39693	-2,08104	0,1248
<b>800</b>	6,68461	-2,44185	0,0870
<b>661</b>	6,49375	<b>-2,20248</b>	<b>0,1105</b>

Quelle: <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm>

Relative Abweichung: 
$$\frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{exp}} - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Theorie}}}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Theorie}}} = 1,6\%$$

Wirkungsquerschnitt: 
$$\sigma_{\text{ges}} = \frac{A_{\text{rel}}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{207,2 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 0,1123 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$



Wirkungsquerschnitt:

$$\sigma_{ges} = \frac{A_{rel}}{N_A} \left( \frac{\mu}{\rho} \right) = 3,864 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^2 = 38,64 \text{ barn}$$

**Experiment mit  $^{241}\text{Am}$ :**  $E_\gamma = 59,5 \text{ keV}$ .

Zählrate ohne Schwächung:  $R_{21} = 35786 (15s)^{-1}$

Zählrate hinter  $x_2 = 0,05 \text{ cm Pb}$ :  $R_{22} = 1985 (15s)^{-1}$

Für  $x_2 = 0,05 \text{ cm}$  gilt:  $R_{22} = R_{21} \cdot \exp(-\mu_{60} \cdot x_2)$

$$\mu_{60} = \frac{-\ln\left(\frac{R_{22}}{R_{21}}\right)}{x_2} = \frac{-\ln\left(\frac{1985}{35786}\right)}{0,05 \text{ cm}} = 57,84 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{60} = 57,84 \text{ cm}^{-1}$$

Massenschwächungskoeffizient:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{57,84 \text{ cm}^{-1}}{11,3 \text{ g cm}^{-3}} = 5,119 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Halbwertsdicke:

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = 0,012 \text{ cm} = 0,12 \text{ mm}$$

Vergleich mit Literaturwerten:

E	ln E	ln(my/rho)	my/rho
keV			cm**2/g
50	3,91202	2,08455	8,04E+00
60	4,09434	1,61363	5,02E+00
59,5	4,08598	1,63524	5,131

Quelle: <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm>

Relative Abweichung:

$$\frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{exp} - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Theorie}}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Theorie}} = -0,23\%$$

Wirkungsquerschnitt:

$$\sigma_{ges} = \frac{A_{rel}}{N_A} \left( \frac{\mu}{\rho} \right) = \frac{207,2 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 5,119 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

$$\sigma_{ges} = \frac{A_{rel}}{N_A} \left( \frac{\mu}{\rho} \right) = 1,7611 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^2 = 1761 \text{ barn}$$

**28.** Ein relativer Anteil des  $^{235}\text{U}$  von 4% kann in folgender Form ausgedrückt werden.

$$\frac{N_{235}}{N_{235} + N_{238}} = 0,04$$

es folgt:

$$N_{235} = 0,04 \cdot (N_{235} + N_{238})$$

$$N_{235} (1 - 0,04) = 0,04 \cdot N_{238}$$

$$N_{235} = \frac{0,04}{1 - 0,04} \cdot N_{238} = 0,04166 \cdot N_{238}$$



Für den Quotienten gilt:

$$\frac{N_{235}}{N_{238}} = 0,04166 \quad (*)$$

Nach der gesuchten Zeit  $T$  hat sich der dieser relative Anteil auf 0,72% verringert. Dies kann analog wie zuvor in anderer Form ausgedrückt werden.

$$\frac{N'_{235}}{N'_{235} + N'_{238}} = 0,0072$$

und es folgt wie zuvor:

$$N'_{235} = \frac{0,0072}{1 - 0,0072} \cdot N'_{238} = 0,0072522 \cdot N'_{238}$$

wobei für  $N'_{235}$  gilt:

$$N'_{235} = N_{235} \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot T}{T_{1/2,235}}}$$

und für  $N'_{238}$  gilt:

$$N'_{238} = N_{238} \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot T}{T_{1/2,238}}}$$

Einsetzen:

$$N_{235} \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot T}{T_{1/2,235}}} = 0,0072522 \cdot N_{238} \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot T}{T_{1/2,238}}}$$

Umformen:

$$\frac{N_{235}}{N_{238}} = 0,0072522 \cdot e^{+\frac{\ln 2 \cdot T}{T_{1/2,235}}} \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot T}{T_{1/2,238}}}$$

$$\frac{N_{235}}{N_{238}} = 0,0072522 \cdot e^{+\ln 2 \cdot T \left( \frac{1}{T_{1/2,235}} - \frac{1}{T_{1/2,238}} \right)}$$

Mit Gleichung (\*) folgt:

$$0,04166 = 0,0072522 \cdot e^{+\ln 2 \cdot T \left( \frac{1}{T_{1/2,235}} - \frac{1}{T_{1/2,238}} \right)}$$

$$e^{+\ln 2 \cdot T \left( \frac{1}{T_{1/2,235}} - \frac{1}{T_{1/2,238}} \right)} = \frac{0,04166}{0,0072522} = 5,74538$$

$$\ln 2 \cdot T \left( \frac{1}{T_{1/2,235}} - \frac{1}{T_{1/2,238}} \right) = \ln(5,74538)$$

$$T \left( \frac{T_{1/2,238} - T_{1/2,235}}{T_{1/2,235} \cdot T_{1/2,238}} \right) = \frac{\ln(5,74538)}{\ln(2)}$$

Lösung:

$$T = \frac{\ln(5,74538)}{\ln(2)} \left( \frac{T_{1/2,238} \cdot T_{1/2,235}}{T_{1/2,238} - T_{1/2,235}} \right)$$

Ergebnis:

$$T = 2,107 \cdot 10^9 a$$

