

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

Nur eine Antwort ist richtig. Werden mehrere Antworten markiert, gibt es keinen Punkt. Falls Sie eine Markierung wieder aufheben möchten, schreiben Sie „nein“ rechts neben das Markierungsfeld.

1. Der Durchmesser von Atomen beträgt ungefähr

- a. 1 μm
- b. 0,1 nm
- c. 0,1 μm
- d. 10^{-14} m
- e. 10 nm

2. Vergleichen Sie die Atomradien von Eisen (Fe, Z = 26, A ~ 56) und Wolfram (W, Z = 74, A ~ 184):

- a. Die Atomradien hängen in der Form $R_{\text{at,Fe}} = (74/26) \cdot R_{\text{at,W}}$ von Z abhängt.
- b. Die Atomradien hängen in der Form $R_{\text{at,Fe}} = (26/74) \cdot R_{\text{at,W}}$ von Z abhängt
- c. Beide Atomradien sind etwa gleich und es gilt $R_{\text{at}} \sim 0,13$ nm.
- d. Die Atomradien sind immer proportional zur Atommassenzahl A.
- e. Beide Atomradien sind etwa gleich und es gilt $R_{\text{at}} \sim 1,03$ fm.

3. Vergleichen Sie die Atomkernradien von Eisen (Fe, Z = 26, A ~ 56) und Wolfram (W, Z = 74, A ~ 184):

- a. Die Atomkernradien hängen in der Form $R_{\text{Ke,Fe}} = \sqrt[3]{184/56} \cdot R_{\text{Ke,W}}$ von A ab.
- b. Die Atomkernradien hängen in der Form $R_{\text{Ke,Fe}} = \sqrt[3]{56/184} \cdot R_{\text{Ke,W}}$ von A ab.
- c. Beiden Atomkernradien sind etwa gleich und betragen $R_{\text{Ke}} \sim 1,03$ fm.
- d. Die Atomkernradien sind immer direkt proportional zur Atommassenzahl A.
- e. Beide Atomkernradien sind etwa gleich und es gilt $R_{\text{at}} \sim 0,13$ nm.

4. Wie viele Atome enthält das Volumen 10 cm^3 Aluminium? Dichte: $\rho_{\text{Al}} = 2,699 \text{ g cm}^{-3}$.

- a. $3,34 \cdot 10^{25}$
- b. $1,60 \cdot 10^{19}$
- c. $3,34 \cdot 10^{22}$
- d. $6,02 \cdot 10^{20}$
- e. $6,02 \cdot 10^{23}$

5. Der Betrag der spezifischen elektrischen Ladung e/m

- a. beträgt für Elektronen $1,602 \cdot 10^{19}$ C.
- b. ist bei Protonen und Elektronen exakt gleich.
- c. ist für Protonen das 0,0005446-fache des Werts für Elektronen.
- d. ist bei Protonen 2000mal größer als bei Elektronen.
- e. ist nicht konstant.

6. Welche Aussage charakterisiert einen (physikalisch) schwarzen Körper?

- a. Die Strahlungsleistung steigt proportional zur 4ten Potenz der Temperatur des Körpers.
- b. Die Strahlungsleistung steigt proportional zur Temperatur des Körpers.
- c. Die Strahlungsleistung sinkt proportional zur Temperatur des Körpers.
- d. Die Strahlungsleistung steigt proportional zum Quadrat der Temperatur.
- e. Die Strahlungsleistung ist temperaturunabhängig.



7. **Wenn die Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung 1 nm beträgt, handelt es sich um:**
- a. Radiowellen
 - b. Handy-Strahlung
 - c. Licht
 - d. UV-Strahlung
 - e. Röntgenstrahlung
8. **Beim Photoeffekt**
- a. wird Energie von Elektronen auf Photonen übertragen.
 - b. entsteht ein Positron-Elektron-Paar.
 - c. entstehen winkelgestreute Photonen mit kleinerer Energie.
 - d. erhält ein Elektron der Hülle die gesamte Energie des einfallenden Photons.
 - e. wird der Energieerhaltungssatz verletzt.
9. **Welche Aussage zum Atomaufbau ist richtig?**
- a. Die Elektronenzahl in der K-Schale eines Elementes ist gleich seiner Ordnungszahl Z.
 - b. Die Ionisierungsenergie ist für die K-Schale größer als für die L-Schale.
 - c. Die K, L, M, N,....-Schalen können maximal 2, 4, 8, 16,Elektronen aufnehmen.
 - d. Neutrale Edelgasatome mit $Z > 2$ haben 10 Elektronen in der äußeren Schale.
 - e. Die Ionisierungsenergie der Alkali-Elemente ist im Vergleich mit anderen Elementen besonders hoch.
10. **Welche Aussage zur Balmer-Serie ist richtig?**
- a. Die Balmer-Serie des Wasserstoffs gehört zum Bereich der UV-Strahlung.
 - b. Die Balmer-Serie gehört zum Lichtspektrum des Elements Helium.
 - c. Interstellare Gasnebel erscheinen deshalb rot, weil sie sehr viel Heliumgas enthalten, und deshalb sehr intensiv die rote H_{α} -Linie der Balmer-Serie des He-Atoms aussendet.
 - d. Die Frequenzen der Spektrallinien der Balmer-Serie sind proportional zu $1/n^2$, wobei $n = 1,2,3,\dots$ die natürlichen Zahlen durchläuft
 - e. Die H_{α} -Linie der Balmer-Serie des Wasserstoffs entsteht durch einen Elektronensprung vom ersten Anregungszustand zum Grundzustand.
11. **Welche Aussage beschreibt die Ablenkung verschiedener Strahlenarten im Magnetfeld richtig?**
- a. Wenn die Krümmungsradien zweier Teilchenbahnen gleich sind, muss auch deren Masse gleich sein, da die Teilchenenergie keinen Einfluss auf die Ablenkung hat.
 - b. α -Strahlung wird stärker abgelenkt als β -Strahlung.
 - c. Elektronen und Positronen werden in die gleiche Richtung abgelenkt.
 - d. γ -Strahlung wird niemals, Neutronen ein wenig abgelenkt.
 - e. Aus dem Krümmungsradius der Bahn kann man die spezifische elektrische Ladung e/m des Strahlungsteilchens bestimmen.
12. **Welche Strahlungseigenschaften beschreiben die Begriffe "ionisierend", "nicht-ionisierend", "direkt ionisierend" und "indirekt ionisierend"?**
- a. Neutronen und Neutrinos sind "direkt ionisierend".
 - b. β^- -Strahlung und β^+ -Strahlung sind "indirekt ionisierend".
 - c. Röntgen-, γ - und Neutronenstrahlung sind "nicht ionisierend"
 - d. Radiowellen und Mikrowellen sind "indirekt ionisierend"
 - e. γ - und Neutronenstrahlung sind "indirekt ionisierend"



- 13. Welche Aussage zu ionisierenden Strahlungen ist richtig?**
- a. α -Teilchen erzeugen entlang eines Weges von 1 cm Luft typischerweise 300 Ionenpaare.
 - b. Verschiedene Sorten geladener Teilchen erzeugen in Materie Ionisationsspuren mit etwa gleicher Ionisationsdichte.
 - c. γ -Strahlung ist indirekt ionisierend. Sie kann auf die Elektronen der Atomhülle (Photoeffekt), als auch auf den Atomkernen (Kernphotoeffekt) Energie übertragen.
 - d. Neutronen reagieren praktisch nicht mit Elektronen der Atomhülle.
 - e. Direkt ionisierende Teilchen können den Körper einer Person ohne Wechselwirkung durchqueren.
- 14. Verschiedene elektromagnetischen Strahlungsarten sollen nach der Photonenenergie sortiert werden. Welche Aussage ist richtig?**
 γ -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. (6) > (4) > (13) > (7)
 - c. (1) > (6) > (12) > (10)
 - d. (11) > (12) > (1) > (7)
 - e. (13) > (10) > (1) > (2)
- 15. 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. Elektronen- und Protonenzahlen sind gleich, Neutronenzahlen können verschieden sein.
 - e. Die Massenzahl ist gleich der Summe aus Protonenzahl und Elektronenzahl.
- 16. Welche Aussage über Atommassen ist richtig?**
- a. Die Atommassenkonstante u ist gleich der Masse des neutralen Wasserstoffs ^1H .
 - b. Multipliziert man die Atommassenkonstante u mit c^2 , so beträgt $u \cdot c^2 = 938,8 \text{ MeV}$.
 - c. Die Atommassenkonstante u ist gleich der Masse des neutralen Kohlenstoffatoms ^{12}C .
 - d. Die Atommassenkonstante hat den Wert $u = 1,660538 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.
 - e. Die Atommassenkonstante ist gleich (1/16) der Masse des neutralen ^{16}O Isotopes.
- 17. Isobare sind**
- a. Nuklide mit gleicher Massenzahl A .
 - b. Nuklide eines Elements mit unterschiedlicher Neutronenzahl.
 - c. eine andere Bezeichnungsweise für Isotone und Isobare.
 - d. immer radioaktiv.
 - e. nicht in der Natur vorhanden, sondern Ergebnis einer kerntechnischen Tätigkeit.
- 18. Welche Aussage gilt für den Massenexzess m_{exc} (engl.: mass excess)?**
- a. m_{exc} entspricht dem Massenunterschied zwischen der wahren Atommasse $m(Z,A)$ und dem Produkt aus Atommassenzahl A und Atommassenkonstante u .
 - b. m_{exc} entspricht dem Masseverlust bei der Ionisation eines Atoms.
 - c. m_{exc} ist die Massendifferenz Δm , die sich nach der Beziehung $\Delta m = B/c^2$ aus der Bindungsenergie B ergibt.
 - d. m_{exc} ist die Differenz von Atomkernmasse und Atommasse.
 - e. m_{exc} entspricht der Anregungsenergie eines Atomkerns.



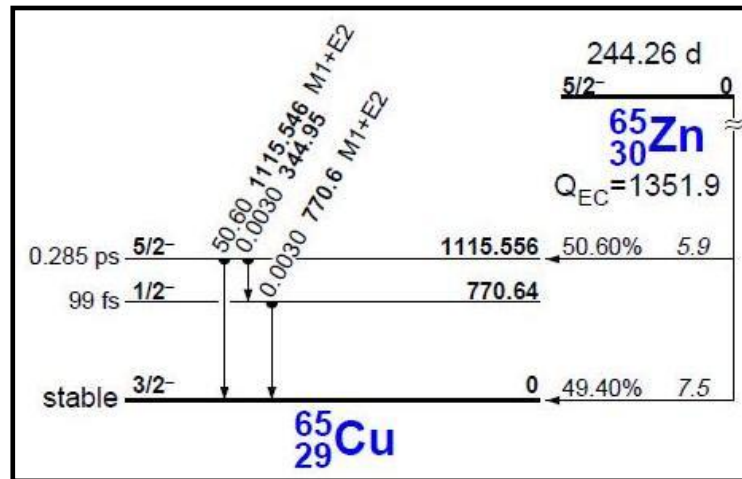
19. Was gilt für die Masse bzw. das Masse-Energie-Äquivalent des ^{16}O ?
- a. $m(^{16}\text{O}) \cdot c^2 = 14904 \text{ MeV}$
- b. $m(^{16}\text{O}) \cdot c^2 = 14909 \text{ MeV}$
- c. $m(^{16}\text{O}) \cdot c^2 = 14899 \text{ MeV}$
- d. $m(^{16}\text{O}) = 2,666 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
- e. $m(^{16}\text{O}) = 2,606 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
20. Zum Nachweis von Neutronen verwendet man Gasedektoren, die mit dem sehr seltenen ^3He Gas gefüllt sind. Durch Reaktion des ^3He mit Neutronen entstehen die Reaktionsprodukte ^1H und ^3H . Wie viel Energie wird bei der Reaktion frei?
- a. Reaktionsenergie: $Q_{\text{Reakt}} = -764 \text{ keV}$
- b. Reaktionsenergie: $Q_{\text{Reakt}} = +801 \text{ keV}$
- c. Reaktionsenergie: $Q_{\text{Reakt}} = -429 \text{ keV}$
- d. Reaktionsenergie: $Q_{\text{Reakt}} = -801 \text{ keV}$
- e. Reaktionsenergie: $Q_{\text{Reakt}} = +764 \text{ keV}$
21. Nuklide werden durch ihre Massenzahl A und ihre Ordnungszahl Z definiert. Welche Aussage ist richtig?
- a. Nuklide mit gleichem A aber unterschiedlichem Z haben gleiche Atommasse.
- b. Nuklide mit A und Z werden beim β^- -Zerfall in ein Nuklid $A-1$ und $Z+1$ verwandelt.
- c. Nuklide mit A und Z werden beim Elektroneneinfang (EC) Nuklid A und $Z+1$ verwandelt.
- d. Nuklide mit A und Z haben weniger Masse als Z neutrale H-Atome und $(A-Z)$ Neutronen.
- e. Nuklide können unabhängig von ihren Z und A Werten α -Strahlung aussenden.
22. Welche Aussage über radioaktive Zerfallsprozesse ist richtig?
- a. Im Atomkern können sich sowohl Protonen in Neutronen, als auch Neutronen in Protonen umwandeln, sofern der Endzustand eine niedrigere Energie als der Ausgangszustand hat.
- b. Durch α -Zerfall wird ein Nuklid in ein Tochternuklid verwandelt, das weniger stabil ist.
- c. Die beim β^+ -Zerfall ausgesandten Positronen sind bereits vor dem Zerfall Bestandteil des Atomkerns des Mutternuklides.
- d. Bei der β^- -Umwandlung eines Neutrons in ein Proton werden zusätzlich zum Proton ein Elektron und ein Neutrino gebildet.
- e. Spaltprodukte zerfallen durch β^+ -Zerfall oder durch Elektroneneinfang(EC).
23. Neutrinos
- a. sind kleine Neutronen, die in einigen besonderen Atomkernen vorkommen.
- b. sind neutrale Teilchen mit sehr kleiner Masse, die beim β -Zerfall entstehen.
- c. sind eine für den Menschen besonders gefährliche Strahlenart.
- d. hat man bisher noch nicht nachgewiesen, aber man sucht intensiv danach.
- e. gibt es gar nicht.
24. Bei der Bildung von Deuterium (^2H) durch Neutroneneinfang im Wasserstoff (^1H)
- a. wird eine Energie von 15360 keV als Wärme freigesetzt.
- b. wird eine Energie von 2225 keV benötigt.
- c. überhaupt keine Energie umgesetzt, da der Reaktionspartner neutral ist.
- d. eine Energie von 2225 MeV in Form von Neutrino-Strahlung frei.
- e. eine Energie von 2225 keV in Form von γ -Strahlung frei



25. Welche Bleidicke x ist zur Abschirmung der β -Strahlung des ^{90}Y mit $E_{\beta,\text{max}} = 2,3 \text{ MeV}$ mindestens erforderlich? Siehe dazu: Abb. 1 im Anhang. $\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$
- a. $x = 1,8 \text{ cm}$
- b. $x = 1,4 \text{ mm}$
- c. $x = 2,3 \text{ mm}$
- d. $x = 1,4 \text{ cm}$
- e. $x = 2,3 \text{ cm}$
26. Beim radioaktiven α -Zerfall
- a. entstehen He-Ionen mit Energien zwischen 2 keV und 10 keV
- b. entstehen neutrale H-Atome.
- c. werden immer auch Elektronen gebildet.
- d. handelt es sich um eine Zerfallsart, die in der Natur nicht vorkommt.
- e. verringert sich die Ordnungszahl Z des Nuklides um 2 auf $Z - 2$
27. Bei der Paarerzeugungsreaktion von Photonen
- a. wird der Energieerhaltungssatz verletzt.
- b. wird ein Teil der Energie eines γ -Quants auf ein Elektron der Atomhülle übertragen.
- c. entsteht neben geladenen Teilchen ein winkelgestreutes Photon kleinerer Energie
- d. reagiert ein Photon mit einem bereits vorhandenen Elektron/Positron-Paar.
- e. entstehen ein Elektron und ein Positron, die zusammen eine kinetische Energie von $E_{\text{kin}} = E_{\gamma} - 2m_e c^2$ erhalte.
28. 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. $\Delta E = (h/2\pi)/\Delta t$
29. Welche Aussage zur Kernenergie ist richtig?
- b. Brennstoff eines Kernkraftwerks sind spontansplappende Stoffe wie z. B. ^{238}U .
- 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 pro Jahr eine Einsparung von ca. 100 – 150 Mio. Tonnen CO_2 .
- c. Kernkraftwerke sind absolut sicher und völlig risikolos
- d. Kernkraftwerke erzeugen bereits im Normalbetrieb ganz erhebliche, leicht nachweisbare, gefährliche Strahlenbelastungen in ihrer Umgebung.
- e. In Deutschland betreibt man Siedewasser- oder Druckwasserreaktoren. Diese verwenden angereichertes ^{235}U oder ^{239}Pu als Brennstoff und schweres Wasser (D_2O) als Moderator.
30. Welche Aussage zur Schwächung von γ -Strahlung ist richtig?
- a. Bei γ -Energien von ca. 1 MeV ist die Schwächung stark Z -abhängig.
- b. Bei der Abschirmung von Röntgenstrahlung ($E < 100 \text{ keV}$) kommt es im Wesentlichen auf die Dichte des Absorbers an. Die Ordnungszahl Z ist weniger wichtig.
- c. Eine 10 cm dicke Bleischicht ($\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$) schwächt γ -Strahlung von $\sim 1 \text{ MeV}$ etwa gleich stark wie eine gleich dicke Betonwand ($\rho_{\text{Beton}} = 2,3 \text{ g cm}^{-3}$)
- d. Die Schwächung durch 10 m Wasser ($\rho_{\text{Wasser}} = 1 \text{ g cm}^{-3}$) entspricht bei γ -Energien von ca. 1 MeV etwa der von 4 m Beton.
- e. Zur Schwächung von Röntgenstrahlung ist Aluminium besser geeignet als Blei.



31. Eine industrielle Messeinrichtung wird mit einer ^{65}Zn Quelle betrieben. Die Aktivität der Quelle wurde vom Hersteller mit $A = 1,85 \text{ GBq}$ zum Bezugsdatum 01.01.2010 um 00:00 h angegeben.



Zerfallsschema des ^{65}Zn

(Quelle: Table of Isotopes, Eighth Edition: 1999 Update, Verlag: Wiley, Autor: Richard B. Firestone, CD-ROM Editor: S.Y. Frank Chu, Editor: Coral M. Baglin)

- Beschreiben Sie (kurz) die Zerfalleigenschaften des ^{65}Zn .
 - Welche Aktivität besitzt die Quelle zum Zeitpunkt 30.11.2011 um 10:00 h?
 - Die Quelle befindet sich in einer Kapsel aus 1 mm dickem Edelstahl. Der Schwächungskoeffizient für Edelstahl soll mit Hilfe der Daten für Blei abgeschätzt werden. (Dichte: $\rho_{V_{4A}} \cong 8,0 \text{ g cm}^{-3}$, $\rho_{Pb} \cong 11,3 \text{ g cm}^{-3}$). Welche Intensität hat die γ -Strahlung der Energie $E_\gamma = 1116 \text{ keV}$ am 30.11.2011 um 10:00h außerhalb der Quellenkapsel?
 - Welche Masse (in der Einheit g) des ^{65}Zn Isotops enthält die Quelle zum Referenzzeitpunkt?
 - Für Transport und Aufbewahrung der Quelle wird ein Bleibehälter verwendet. Wie dick muss das Blei mindestens sein, um die Intensität der γ -Strahlung mit der Energie $E_\gamma = 1116 \text{ keV}$ um den Faktor 10^4 schwächen zu können?
 - Die ^{65}Zn Quelle soll zur Dickenmessung von Stahlblech verwendet werden. Die Schwächungseigenschaften können ähnlich in Teil c. geschätzt werden. Bei welcher Stahlblechdicke besitzt das Dickenmessverfahren mit einer γ -Strahlung der Energie $E_\gamma = 1116 \text{ keV}$ die größte Empfindlichkeit?
32. In einem Vorlesungsversuch wurde die Schwächung von γ -Strahlung der Energie $E_\gamma = 662 \text{ keV}$ (^{137}Cs) in Blei untersucht.

Absorberdicke	$E_\gamma = 661,6 \text{ keV}$
x / cm	$N / 10 \text{ s}$
0,4	6066
4,0	96

Die Untergrundzählrate betrug 17 Ereignisse in einer Messzeit von 10 s. Ohne Absorber wurden 9137 Ereignisse in 10 s gemessen.

- Bestimmen Sie den Schwächungskoeffizienten μ , den Massenschwächungskoeffizienten $\frac{\mu}{\rho}$ und den Wirkungsquerschnitt σ .
- Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit Literaturdaten (siehe Anlage A2).



Anlagen:

A1. Reichweite von β -Strahlung in Materie

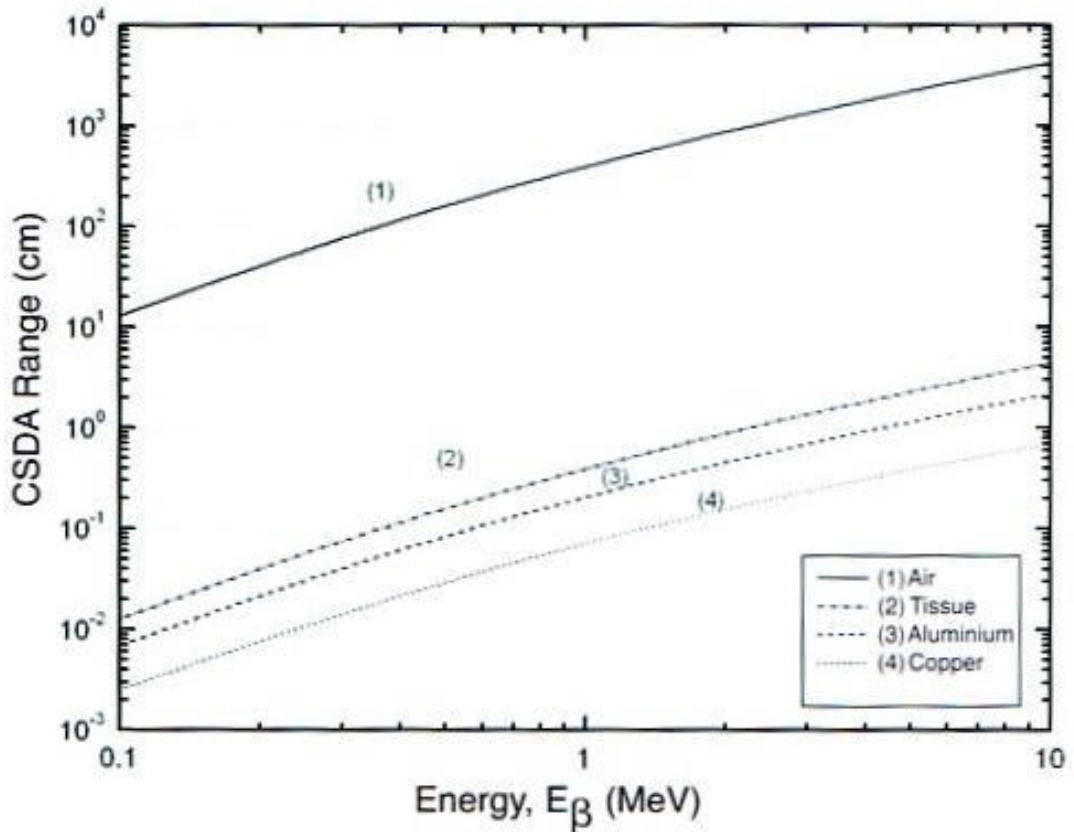
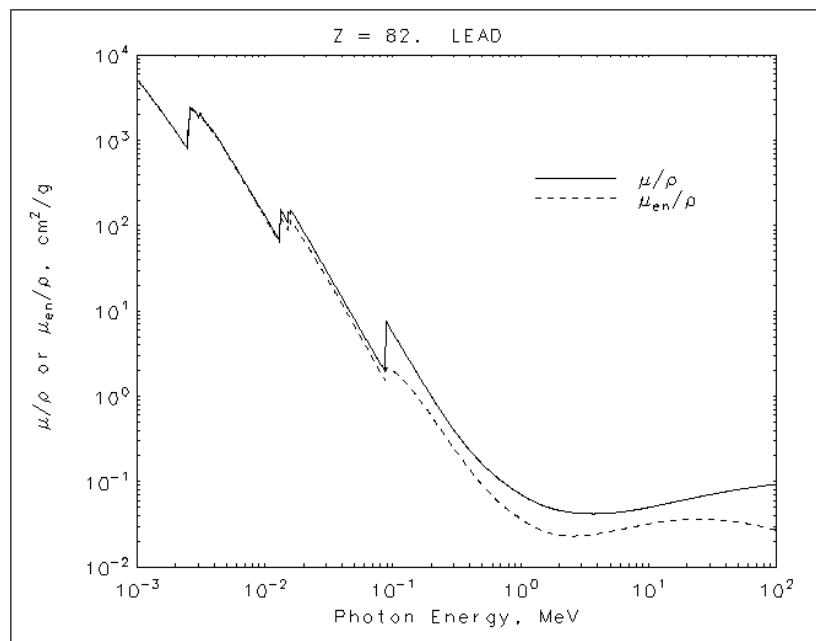


Abb.1 Reichweite (CSDA Range) von β -Strahlung in Materie.

Dichte: $\rho_{Air} = 1.293 \text{ kg m}^{-3}$, $\rho_{Tissue} = 1,060 \text{ g cm}^{-3}$, $\rho_{Al} = 2,699 \text{ g cm}^{-3}$, $\rho_{Cu} = 8,960 \text{ g cm}^{-3}$.

A2. Mass attenuation coefficient / Massenschwächungskoeffizient

E / MeV	(μ/ρ) $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$
	Blei
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: $\rho_{Pb} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$;

Relative Atommasse: $A_{rel,Pb} = 207,2 \text{ g mol}^{-1}$

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#	Mass excess = $m_{exc}c^2 = (m(Z,A) - A * u) * c^2$ in keV						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		Mass excess values in keV				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 =		
			$u = 1,660\ 538\ 86\ 10^{-27}$ kg $uc^2 = 931,494\ 043$ 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



Lösungen:

31a. ^{65}Zn zerfällt mit der Halbwertszeit $T_{1/2} = 144\text{d}$ durch EC und β^+ -Zerfall zum ^{65}Cu . Die gesamte Zerfallsenergie beträgt $Q_{EC} = 1352\text{keV}$. Ein Anteil von 50,6% der Zerfallsintensität führt in Form eines reinen Elektroneneinfangs (EC) zum zweiten Anregungszustand des ^{65}Cu mit der Energie $E_2 = 1116\text{keV}$. Eine Beimischung von β^+ -Zerfall in diesem Anteil ist energetisch ausgeschlossen. Ein Anteil von 49,4% der Zerfallsintensität führt zum Grundzustand des ^{65}Cu . In diesem Fall ist ein Kombination aus EC und β^+ -Zerfall energetisch möglich. Der zweite Anregungszustand im ^{65}Cu mit der Energie 1116 keV zerfällt überwiegend durch Aussendung von γ -Strahlung der Energie $E_{\gamma_1} = 1116\text{keV}$ direkt in den Grundzustand. Nur ein kleiner Anteil zerfällt in Form einer γ - γ -Kaskade der γ -Strahlung $E_{\gamma_2} = 345\text{keV}$ und $E_{\gamma} = 771\text{keV}$ über den ersten Anregungszustand mit der Energie $E_1 = 771\text{keV}$.

b. Aktivität der Quelle zum Bezugsdatum 01.01.2010 um 00:00h:

$$A_0 = 1,85\text{GBq} = 1,85 \cdot 10^9\text{ s}^{-1}$$

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

Zeitdifferenz zwischen 01.01.2010 um 00:00h und 30.11.2011 um 10:00h:

$$\Delta t = 698,42\text{d}$$

Aktivität der Quelle zum Zeitpunkt 30.11.11 um 10:00 h

$$A(\Delta t) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot 698,42\text{d}}{244,26\text{d}}} = 0,255\text{GBq} = 2,55 \cdot 10^8\text{ s}^{-1}$$

$$A(30.11.2011) = 255\text{MBq}$$

c. Zahl der Zerfälle pro 1s.: $\dot{N}_{\text{Zerfälle}} = 2,55 \cdot 10^8\text{ s}^{-1}$

Zahl der γ -Quanten der Energie $E_{\gamma_1} = 1116\text{keV}$ pro 1s innerhalb der Edelmetallkapsel:

$$\dot{N}_{1116\text{keV}, \text{innen}} = 0,5060 \cdot 2,55 \cdot 10^8\text{ s}^{-1} = 1,29 \cdot 10^8\text{ s}^{-1}$$

Bei Energien von 1 - 2 MeV ist der Massenschwächungskoeffizient $\frac{\mu}{\rho}$ näherungsweise

unabhängig von Z. Deshalb kann der Wert für Blei verwendet werden: $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Edelstahl}} \cong \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Blei}}$

Interpolation:

E	ln E	ln(μ/ρ)	μ/ρ
keV			cm^2/g
1000	6,90776	-2,64479	0,0710
1300	7,17012	-2,83429	0,0588
1116	7,01751	-2,72406	0,0656

Schwächung in 1 mm dickem Edelmetall:

$$\frac{I(1\text{mm})}{I_0} = \exp\left(-\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho \cdot z\right)$$

$$\frac{I(1\text{mm})}{I_0} \cong \exp\left(-0,0656 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \cdot 8,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 0,1\text{cm}\right)$$

$$\frac{I(1\text{mm})}{I_0} \cong 0,949$$



In der Edelstahlkapsel wird die γ -Strahlung um 5,1% geschwächt.

Zahl der γ -Quanten der Energie $E_{\gamma 1} = 1116 \text{ keV}$ pro 1 s außerhalb der Edelstahlkapsel:

$$\dot{N}_{1116 \text{ keV}, \text{au\ss}en} = 1,29 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1} \cdot 0,949 = 1,22 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$$

d. Die Anzahl der ^{65}Zn Atome am 30.11.2011 um 10:00 h betrug:

$$N(\text{am } 30.11.2011) = -\frac{-0,255 \text{ GBq}}{\ln 2 / (244,26 \cdot 86400 \text{ s})} = 7,762 \cdot 10^{15}$$

Masse des ^{65}Zn :

$$m = \frac{A_{\text{rel}}}{N_A} \cdot N = \frac{65 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 7,762 \cdot 10^{15} = 8,4 \cdot 10^{-7} \text{ g}$$

e. Der Massenschwächungskoeffizient für γ -Strahlung der Energie $E_{\gamma 1} = 1116 \text{ keV}$ wurde

bereits im Teil c. bestimmt. Er beträgt: $\frac{\mu}{\rho} = 0,0656 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

Aus dem Schwächungsgesetz:

$$\frac{I(z)}{I_0} = \exp\left(-\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho \cdot z\right)$$

folgt:

$$z = -\frac{\ln\left(\frac{I(z)}{I_0}\right)}{\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho} = -\frac{\ln(10^{-4})}{0,0656 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 11,3 \text{ g cm}^{-3}} = 12,4 \text{ cm}$$

f. Für das Maximum der Empfindlichkeit gilt

$$x_{\text{opt}} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho} = \frac{1}{0,0656 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 8 \text{ g cm}^{-3}} = 1,9 \text{ cm}$$

32a. Bestimmung des Schwächungskoeffizienten für Blei bei einer γ -Energie von $E_{\gamma} = 662 \text{ keV}$.

Allgemeine Formel:

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{N_2 - N_u}{N_0 - N_u}\right) - \ln\left(\frac{N_1 - N_u}{N_0 - N_u}\right)}{x_2 - x_1}$$

Ergebnis für μ :

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{6066 - 17}{9137 - 17}\right) - \ln\left(\frac{96 - 17}{9137 - 17}\right)}{4,0 \text{ cm} - 0,4 \text{ cm}} = 1,2045 \text{ cm}^{-1}$$

Ergebnis für $\frac{\mu}{\rho}$:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1,2045 \text{ cm}^{-1}}{11,3 \text{ g cm}^{-3}} = 0,1066 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Formel für σ :

$$\sigma_{\text{ges}} = \frac{A_{\text{rel}, \text{Pb}}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{E=662 \text{ keV}, \text{Pb}}$$

$$\sigma_{\text{ges}} = \frac{207,2 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 0,1066 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Ergebnis für σ :

$$\sigma_{\text{ges}} = 3,66810^{-23} \text{ cm}^2 = 36,68 \text{ barn}$$



b. Vergleich mit Literaturdaten:

E	ln E	ln(my/rho)	my/rho
keV			cm**2/g
600	6,39693	-2,08104	0,1248
800	6,68461	-2,42250	0,0887
662	6,49527	-2,19776	0,1111

Literaturwert: $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Lit} = 0,1111 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

Messwert: $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{exp} = 0,1066 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

Vergleich mit Literaturwerten: $\frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{exp} - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Lit}}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Lit}} = 4,2\%$

Die relative Abweichung beträgt 4,2%

