

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

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

1. Der Atomradius beträgt ungefähr

- a 1-2 μm
- b 0,1 – 0,2 nm
- c 0,1 – 0,2 μm
- d $1 - 2 \cdot 10^{-10}$ m
- e 10 - 20 nm

2. Die Größe der Atome verschiedener Elemente ist

- a proportional zur Ordnungszahl.
- b näherungsweise konstant.
- c proportional zu Massenzahl.
- d bei Edelgasen größer als bei Übergangsmetallen.
- e bei schweren Elementen besonders gering.

3. Beim radioaktiven α -Zerfall

- a entstehen zunächst neutrale ^4He -Atome, die später beim Durchgang durch Materie ionisiert werden.
- b entstehen $^4\text{He}^{++}$ -Ionen mit Energien zwischen 2 MeV und 10 MeV.
- c entstehen neutrale Wasserstoffatome.
- d werden immer auch Elektronen gebildet.
- e verringert sich die Ordnungszahl Z um 2 auf $Z - 2$

4. Welche Aussage ist falsch?

- a Beim α -Zerfall wird Kernmaterie in besonders stabiler Form emittiert.
- b Positronen sind Bestandteil der Protonen im Atomkern.
- c Innerhalb des Atomkerns können sich Protonen in Neutronen als auch Neutronen in Protonen umwandeln.
- d Bei der Umwandlung eines Neutrons in ein Proton werden zusätzlich ein Elektron und ein Antineutrino neu gebildet.

5. Ein Anti-Wasserstoffatom (Form der Antimaterie) besteht aus einem

- a Positron in der Atomhülle und einem Proton als Atomkern.
- b Positron als Atomkern und einem Elektronen in der Atomhülle.
- c Positron in der Atomhülle und einem Proton und einem Antineutron als Atomkern.
- d Positron in der Atomhülle und einem Antiproton als Kern.
- e Positron.

6. Der Betrag der elektrischen Elementarladung

- a ist konstant und beträgt $6,02 \cdot 10^{23}$ C.
- b ist konstant und beträgt $1,602 \cdot 10^{-19}$ As.
- c ist keine Konstante, sondern temperaturabhängig
- d ist auf der Erde konstant, aber bei großer Massendichte, etwa in Sternen größer.
- e kann als Quotient aus der Faraday-Konstante und der Avogadro-Konstante bestimmt werden.

- 7. Der Betrag der spezifischen Elektronenladung**
- a beträgt für Elektronen $1,758 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$.
- b ist bei Protonen und Elektronen exakt gleich.
- c beträgt bei Protonen das 0,0005446-fache des Werts für Elektronen.
- d beträgt für Protonen $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ A s kg}^{-1}$.
- e ist bei Protonen 2000-mal größer als bei Elektronen.
- f ist nicht konstant.
- 8. Die Elektronen sind in den Atomen**
- a in verschiedenen diskreten Energiezuständen.
- b homogen und regellos verteilt.
- c auf Elektronenschalen mit den Bezeichnungen K, L, M, N... verteilt.
- d immer im niedrigsten Energiezustand, also immer auf der K-Schale, zu finden.
- 9. Nuklide mit konstanter Massenzahl bezeichnet man als**
- a Isotope.
- b Isobare.
- c Isotherme.
- d Isotone.
- 10. Welche Aussagen sind richtig?**
- a Neutrale, nicht angeregte Atome mit $Z \geq 2$ haben 2 Elektronen in der K-Schale.
- b Die Elektronenzahl in der K-Schale eines Elementes ist gleich der Ordnungszahl Z.
- c Die Ionisierungsenergie für K-Elektronen ist immer kleiner als für L-Elektronen.
- d Die K, L, M, N,...-Schalen sind mit 2, 4, 8, 16,Elektronen besetzt.
- e Die M-Schale kann bis zu 18 Elektronen aufnehmen.
- f Edelgase mit $Z > 2$ haben immer 8 Elektronen in der äußeren Schale.
- g Die Ionisierungsenergie für Elektronen der K-Schale ist für alle Elemente konstant.
- 11. Bei einem angeregten Atom**
- a fehlen einige Elektronen.
- b sind die Elektronen im Mittel dichter am Atomkern.
- c sind ein oder mehrere Elektronen in Anregungszuständen.
- d ist die Aussendung von Lichtquanten möglich.
- e wird automatisch auch der Atomkern angeregt.
- 12. Beim Photoeffekt**
- a wird Energie von Elektronen der Atomhülle auf Photonen übertragen.
- b verschwindet das Photon.
- c entstehen winkelgestreute Photonen mit kleinerer Energie.
- d erhält ein Elektron der Atomhülle die gesamte Energie eines Photons.
- e wird der Energieerhaltungssatz verletzt.
- 13. 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 $E = (h c)/\lambda$
- e $\Delta E = (h/2\pi)/\Delta t$

14. **Nuklide, die durch eine bestimmte Ordnungszahl Z und eine bestimmte Neutronenzahl N definiert sind,**
- a können ganz unterschiedliche Atommassen haben.
 - b sind leichter als die Gesamtmasse von Z Protonen und N Neutronen.
 - c besitzen eine einheitliche konstante Atommasse.
 - d können immer auch α -Strahlung aussenden.
 - e setzen bei einer Bildung aus Z Protonen und N Neutronen eine bestimmte Bindungsenergie frei.
15. **Die Neutronenzahl von ^{241}Am beträgt**
- a 143
 - b 145
 - c 147
 - d 146
16. **Als Kernmassendefekt bezeichnet man**
- a die nach der Beziehung $B = \Delta m c^2$ aus der Bindungsenergie B berechenbare Massendifferenz Δm .
 - b die Differenz von Kern- und Atommasse.
 - c die bei einer Ionisation eines Atoms verlorene Masse.
 - d den Massenunterschied zwischen der Atommasse und der Summe der Massen der Einzelnuclonen und Elektronenmassen.
17. **Bei der Bildung von Deuterium durch den Neutroneneinfang im Wasserstoff (^1H) wird**
- a eine Energie von 15360 keV als Wärme frei.
 - b eine Energie von 2225 keV benötigt.
 - c eine Energie von 2225 keV in Form von γ -Strahlung frei.
 - d überhaupt keine Energie umgesetzt.
18. **Berechnen Sie die mittlere Bindungsenergie pro Nukleon B/A für ^{12}C . B/A beträgt**
- a 8071,32 keV.
 - b 7288,97 keV.
 - c 7680,15 keV.
 - d 0 MeV.
 - e 13135,72 keV.
 - f kann gar nicht berechnet werden.
19. **Positronen zerstrahlen**
- a beim Zusammentreffen mit Protonen in zwei Neutrinos.
 - b mit Elektronen meist in zwei, manchmal auch in drei Photonen.
 - c niemals, es sind vielmehr stabile Elementarteilchen.
 - d unter Aussendung von Photonen mit einer Gesamtenergie von 1,022 MeV.
 - e meist unter Aussendung von zwei Photonen, die entgegengesetzte gerichtet sind.
20. **Nennen Sie richtige Aussagen zu "ionisierenden", "nicht-ionisierenden", "direkt ionisierenden" und "indirekt ionisierende" Strahlungen:**
- a Neutronen und Neutrinos sind "direkt ionisierend".
 - b β^- -Strahlung und β^+ -Strahlung sind "direkt-ionisierend".
 - c UV-Strahlung kann "ionisierend" sein.
 - d Röntgen-, γ - und Neutronenstrahlung sind "nicht-ionisierend".
 - e Radiowellen und Mikrowellen sind "indirekt-ionisierend".
 - f γ - und Neutronenstrahlung sind "indirekt ionisierend".

21. **Welche Isotope werden in heutigen Kernkraftwerken als Spaltstoffe verwendet?**
- a ^{238}U
- b ^{235}U
- c ^{234}U
- d ^{239}Pu
- e ^{238}Pu
- f ^{232}Th
22. **Wie viel Energie wird bei der Kernspaltung frei?**
- a ca. 4,1 eV.
- b ca. 200 eV.
- c ist immer unterschiedlich, beträgt aber ungefähr 200 MeV.
- d ist immer unterschiedlich und kann deshalb nicht vorhergesagt werden.
- e immer ganz exakt 202,7 MeV.
23. **Unter der Transmutation radioaktiver Abfälle versteht man in der Kerntechnik**
- a eine direkte Endlagerung der abgebrannten Brennelemente.
- b die chemische Trennung von Aktiniden und radioaktiven Spaltprodukten.
- c die physikalisch-technische Beeinflussung der Halbwertszeit eines Isotops.
- d die Umwandlung von vorher chemisch abgetrennten radioaktiven Spaltprodukten in stabile Isotope mit Hilfe von Neutroneneinfangreaktionen.
24. **Beim β -Zerfall des ^{55}Fe zum ^{55}Mn wird insgesamt eine Energie von 231,4 keV frei. Es werden keine Anregungszustände im ^{55}Mn eingespeist. Welche der folgenden Aussagen sind richtig?**
- a Beim $(\text{EC} + \beta^+)$ -Zerfall des ^{55}Fe werden Positronen und Neutrinos ausgesandt, die sich die verfügbare Zerfallsenergie teilen.
- b Positronen können beim ^{55}Fe -Zerfall nicht entstehen, da die verfügbare Zerfallsenergie kleiner als 1022 keV ist.
- c Die gesamte Zerfallsenergie abzüglich der Bindungsenergie des beim EC eingefangenen Elektrons wird einem einzigen Neutrino übertragen.
- d Es handelt sich um einen β^- -Zerfall, bei dem ein Elektron und ein Antineutrino entstehen.
- e Da der β -Zerfall des ^{55}Fe einen reinen Elektroneneinfang darstellt, wird immer auch charakteristische Röntgenstrahlung des Elements Mangan ausgesandt.
25. **Welche Aussagen zur Röntgenfluoreszenz sind falsch?**
- a Beim Abbremsen von geladenen Teilchen Materie kommt es praktisch immer auch zu Ionisationsprozessen in inneren Elektronenschalen der Atome, die dann zur Aussendung von charakteristischer Röntgenstrahlung führen.
- b Röntgenstrahlung kann bestimmte Stoffe zum Leuchten (meist im Bereich des sichtbaren grünen Lichts) anregen. Dies nennt man Röntgenfluoreszenz.
- c Röntgenfluoreszenzstrahlung ist kontinuierlich, ähnlich wie weißes Sonnenlicht.
- d Röntgenfluoreszenzstrahlung einer Materialprobe enthält die charakteristischen Röntgenlinien der in dem Material enthaltenen Elemente.
- e Bei der Erzeugung der Röntgenfluoreszenzstrahlung in Materie besitzt die Molekülstruktur einen sehr großen Einfluss.

26. **Durch welche Aussagen wird die "direkte Ionisation" korrekt beschrieben?**
- a Die Bildung eines Ionenpaares in trockener Luft erfordert im Mittel 33,97 eV.
 - b Die Abbremsung geladener Teilchen erfolgt diskontinuierlich, d. h. durch statistische Prozesse, die im Einzelfall sehr hohe Energien (\sim MeV) erfordern könne.
 - c Identische geladene Teilchen mit gleicher Energie haben stark unterschiedliche Reichweiten.
 - d α - und β -Teilchen erzeugen in Luft etwa gleich viele Ionenpaare (\sim 33000) pro 1 cm.
 - e α -Teilchen einer Energie von 8 MeV besitzen in Gewebe (soft tissue – ICRP) eine Reichweite von 100 μ m.
27. **Beim Comptoneffekt**
- a überträgt ein Photon seine gesamte Energie auf ein einzelnes Elektron.
 - b entstehen winkelgestreute Photonen mit kleinerer Energie.
 - c wird der Energieerhaltungssatz verletzt.
 - d wird das Photon als Teilchen behandelt, das mit einem Hüllenelektron einen elastischen Stoß ausführt.
 - e sind vorzugsweise die äußeren Hüllenelektronen beteiligt.

28. Im Labor für Radioökologie und Strahlenschutz verwendet man eine ^{60}Co Strahlenquelle zur Kalibrierung von Dosimetern. Für diese Strahlenquelle existiert eine Aktivitätsspezifikation von 4,6 Ci (1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq) für das Bezugsdatum 09.10.1979.
- a. Welche Aktivität besitzt die Kalibrierquelle am 18.05.2009?
 - b. ^{60}Co zerfällt durch β^- -Zerfall zum ^{60}Ni . Wie lautet die Reaktionsgleichung?
 - c. Wie viele ^{60}Ni Atome sind zwischen dem 09.10.1979 und 18.05.2009 in der Quelle erzeugt worden?
29. In der Vorlesung wird die Schwächung der γ -Strahlung der Energie 1173 keV einer ^{60}Co -Quelle in Eisen (Dichte: $\rho_{\text{Fe}} = 7,874 \text{ g cm}^{-3}$) untersucht. Ohne Abschirmungsmaterial liefert die Quelle im Detektor in einem 12 s Messintervall 12 094 Ereignisse. Bringt man eine 12 mm dicke Abschirmungsplatte zwischen Quelle und Detektor, werden 7195 Ereignisse, mit einer 26 mm dicken Abschirmung 3935 Ereignisse gemessen. Die Nullrate des Detektors beträgt $102 (12 \text{ s})^{-1}$.
- a. Berechnen Sie den Schwächungskoeffizienten μ , den Massenschwächungskoeffizienten $\frac{\mu}{\rho}$ und den Gesamtwirkungsquerschnitt σ_{ges} und vergleichen Sie mit Literaturwerten (siehe Anlage).
30. Eine industrielle Messeinrichtung mit einer ^{137}Cs Quelle (γ -Strahlung der Energie 661 keV) soll mit einer Abschirmung versehen werden, die die Strahlungsintensität der Quelle auf 1% schwächt.
- a. Wie dick muss eine Abschirmung aus Eisen mindestens sein?

Zusatzaufgabe:

Schätzen Sie die Gesamtmasse der radioaktiven Spaltprodukte, die nach dreißigjährigem Betrieb eines Kernkraftwerkes mit 1200 MW_{el}, einem Wirkungsgrad von ca. 33 %, einer Auslastung von 75% entstehen anhand des Spaltstoffverbrauchs. Verwenden Sie zur Abschätzung einen Energiewert von 200 MeV, der pro Spaltung freigesetzt wird. Für die mittlere Masse der zwei Spaltprodukten nach der Spaltung können Sie zur Vereinfachung die rel. Atommasse des Spaltstoffs (\sim 235 g mol⁻¹) annehmen.

Lösungen:

28a. Zeit zwischen dem 09.10.1979 und dem 18.05.2009:

$$\Delta t = 10.814 d = 934.239.600 s$$

$$\Delta t = 29,607 a$$

Halbwertszeit:

$$T_{1/2} = 5,272 a = 166.371.667 s$$

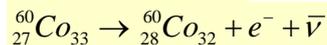
Aktivität:

$$A(\Delta t) = (4,6 \cdot 3,7 \cdot 10^{10}) \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot 93429600}{166371667}}$$

$$A(\Delta t) = 1,702 \cdot 10^{11} \cdot e^{-3,89264}$$

$$A(\Delta t) = 3,47 \text{ GBq}$$

b. Reaktionsgleichung für β^- -Zerfall:



c. Am 09.10.1979 enthielt die Quelle:

$$N_1 = \frac{A_1}{\lambda} = \frac{A_1 \cdot T_{1/2}}{\ln 2}$$

$$N_1 = \frac{1,702 \cdot 10^{11} \cdot 1,6637 \cdot 10^8}{\ln 2} = 4,0851 \cdot 10^{19}$$

Am 18.05.2009 enthält die Quelle:

$$N_2 = \frac{A_2}{\lambda} = \frac{A_2 \cdot T_{1/2}}{\ln 2}$$

$$N_2 = \frac{3,47 \cdot 10^9 \cdot 1,6637 \cdot 10^8}{\ln 2} = 8,3287 \cdot 10^{17}$$

$$N_2 = 8,3287 \cdot 10^{17} = 0,08329 \cdot 10^{19}$$

$$\Delta N = (4,085 - 0,083) \cdot 10^{19} = 4,002 \cdot 10^{19}$$

Diese Zahl entspricht der Gesamtzahl der in der Zeit Δt zerfallenen ${}^{60}\text{Co}$ Atome, die nach dem Zerfall als ${}^{60}\text{Ni}$ -Atome vorliegen.

29a. Es gilt:

$$A(x) = A_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

daraus folgt:

$$\ln \frac{A(x)}{A_0} = -\mu \cdot x$$

Schwächungskoeffizient:

$$\mu = -\frac{\ln \frac{A(x_2)}{A_0} - \ln \frac{A(x_1)}{A_0}}{x_2 - x_1}$$

Es gilt:

$$A(x_1) = 7195(12s)^{-1} - 102(12s)^{-1} = 7093(12s)^{-1}$$

$$A(x_2) = 3935(12s)^{-1} - 102(12s)^{-1} = 3833(12s)^{-1}$$

$$A_0 = 12094(12s)^{-1} - 102(12s)^{-1} = 11992(12s)^{-1}$$

Einsetzen:

$$\mu = -\frac{\ln \frac{3833}{11992} - \ln \frac{7093}{11992}}{(2,6 - 1,2) \text{ cm}}$$

$$\mu = -\frac{-1,14059 - (-0,52513)}{1,4 \text{ cm}} = 0,43961 \text{ cm}^{-1}$$

Massenschwächungskoeffizient:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{0,43961 \text{ cm}^{-1}}{7,874 \text{ g cm}^{-3}} = 0,05583 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Wirkungsquerschnitt:

$$\sigma_{ges} = \frac{A_{rel}}{N_A} \frac{\mu}{\rho} = \frac{55,845 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 0,05583 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

$$\sigma_{ges} = 5,177 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2 = 5,18 \text{ b}$$

Massenschwächungskoeffizient aus der Tabelle in der Anlage:

	Tabellenwerte		logarithmierte Werte	
	E / MeV	(mü/rho) / cm**2 g**-1	ln(E)	ln(mü/rho)
	1,000	0,0600	0,00000	-2,81341
	1,250	0,0540	0,22314	-2,91877
Interpolation	1,173	0,0556	0,15956	-2,88875

Der experimentelle Wert und der Literaturwert (NIST) weichen **0,4%** voneinander ab.

30. Massenschwächungskoeffizient aus der Tabelle in der Anlage:

	Tabellenwerte		logarithmierte Werte	
	E / MeV	(mü/rho) / cm	ln(E)	ln(mü/rho)
	0,600	0,0770	-0,51083	-2,56395
	0,800	0,0670	0,06700	-2,70306
Interpolation	0,661	0,0752	-0,41400	-2,58726

Massenschwächungskoeffizient: $\frac{\mu}{\rho} = 0,0752 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

Massenschwächungskoeffizient $\mu = \frac{\mu}{\rho} \cdot \rho = 0,0752 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 7,874 \text{ g cm}^{-3}$

$$\mu = 0,5921 \text{ cm}^{-1}$$

Es gilt: $\frac{I(x)}{I_0} = 0,001 = e^{-0,5921 \text{ cm}^{-1} \cdot x}$

$$\ln(0,001) = -0,5921 \text{ cm}^{-1} \cdot x$$

benötigte Abschirmdicke: $x = \frac{\ln(0,001)}{-0,5921 \text{ cm}^{-1}} = \frac{-6,9077}{-0,5921} \text{ cm} = 11,67 \text{ cm}$

Zusatzaufgabe:

Elektrische Leistung des KKW: $P_{el} = 1200 \text{ MW}$

Thermische Leistung für $\eta = 0,33$: $P_{th} = \frac{1200 \text{ MW}}{0,33} = 3636 \cdot 10^6 \text{ J s}^{-1} = 3,636 \cdot 10^9 \text{ J s}^{-1}$

Betriebszeit pro Jahr bei einer zeitlichen Auslastung von 75%:

$$T = 0,75 \cdot 365,25 \cdot 86400 \text{ s} = 23,67 \cdot 10^6 \text{ s}$$

Aus Kernspaltung erzeugte Energie pro Betriebsjahr:

$$E_{Jahr} = P_{th} \cdot T = 3,636 \cdot 10^9 \text{ J s}^{-1} \cdot 23,67 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$E_{Jahr} = 8,6064 \cdot 10^{16} \text{ J}$$

Umrechnung in Einheit eV: $E_{Jahr} = 8,6064 \cdot 10^{16} \text{ J} = \frac{8,6064 \cdot 10^{16}}{1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV}$

$$E_{Jahr} = 5,3723 \cdot 10^{35} \text{ eV pro Betriebsjahr.}$$

Betriebsdauer 30 a: $E_{ges} = 5,3723 \cdot 10^{35} \frac{\text{eV}}{\text{a}} \cdot 30 \text{ a} = 1,6117 \cdot 10^{37} \text{ eV}$

Es ergibt sich die Gesamtzahl der Spaltereignisse für die dreißigjährige Betriebsdauer N_{ges} , indem man durch 200 MeV dividiert (dies ist eine Näherung).

$$N_{ges} = \frac{E_{ges}}{200 \text{ MeV}} = \frac{1,6117 \cdot 10^{37}}{2 \cdot 10^8} = 8,0584 \cdot 10^{28}$$

Die Masse der Spaltprodukte pro N_A Spaltereignis kann mit 235 g mol^{-1} abgeschätzt werden (dabei vernachlässigt man den Massendefekt und die Spaltneutronen).

Masse der Spaltprodukte:

$$m_{SP} = \frac{N_{ges}}{N_A} \cdot 235 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m_{SP} = \frac{8,0584 \cdot 10^{28}}{6,0221 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 235 \text{ g mol}^{-1} = 31,4 \cdot 10^6 \text{ g}$$

$$m_{SP} = 31,4 \text{ t} \approx 30 \text{ t}$$