

Bestimmung der massebezogenen Aktivität von Radionukliden

ÄQUIVAL/MASSAKT

Bearbeiter:

A. Wiechen

H. Rühle

K. Vogl

Bestimmung der massebezogenen Aktivität von Radionukliden

Die auf die Masse eines Radionuklids r bezogene Aktivität $a_{m,r}$ ist von seiner Halbwertszeit t_r abhängig und wird – wie im Anhang ausgeführt wird – nach Gleichung (1) berechnet:

$$a_{m,r} = \frac{A_r}{m_r} = \frac{\ln 2 \cdot N_A}{t_r \cdot M_r} = \frac{4,1742 \cdot 10^{23}}{t_r \cdot M_r} \quad (1)$$

Dabei bedeuten:

- $a_{m,r}$ auf die Masse eines Radionuklids r bezogene Aktivität in $\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}$;
- A Aktivität des Radionuklids r in Bq;
- m_r Masse des Radionuklids r in g;
- N_A Avogadro-Konstante (Loschmidtsche Zahl): $6,02214199 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- t_r Halbwertszeit des Radionuklids r in s;
- M_r stoffmengenbezogene Masse des Radionuklids r in $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$
(der Zahlenwert für M entspricht der Massenzahl eines Radionuklids).

Bei der Definition der spezifischen Aktivität eines radioaktiven Stoffes ($a = A/m$) wird mit m die Masse des gesamten radioaktiven Stoffes einschließlich aller nicht radioaktiven Beimengungen bezeichnet (1). Da in diesem Kapitel mit m_r nur die Masse des betreffenden Radionuklids bezeichnet wird, wird – um Verwechslungen zu vermeiden – mit $a_{m,r}$ die auf die Masse des Radionuklides r bezogene Aktivität bezeichnet. Die Einheit beider Größen ist $\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}$.

Früher hat man nur die auf die Masse des Radionuklides r bezogene Aktivität $a_{m,r}$ als spezifische Aktivität bezeichnet; teilweise wird der Begriff in der Literatur auch heute noch in diesem Sinne verwendet.

In Tabelle 1 sind für ausgewählte künstliche Radionuklide und in Tabelle 2 für ausgewählte natürliche Radionuklide die massenbezogenen Aktivitäten, wie sie sich nach Gleichung (1) ergeben, zusammengestellt.

Tab. 1: Auf die Masse von ausgewählten künstlichen Radionukliden bezogene Aktivität

Radionuklid	Halbwertszeit [#] t_r in s	Auf die Masse bezogene Aktivität $a_{m,r}$ in Bq·g ⁻¹
P-32	$1,23 \cdot 10^6$	$1,06 \cdot 10^{16}$
Cr-51	$2,39 \cdot 10^6$	$3,42 \cdot 10^{15}$
Mn-54	$2,70 \cdot 10^7$	$2,86 \cdot 10^{14}$
Co-58	$6,12 \cdot 10^6$	$1,18 \cdot 10^{15}$
Co-60	$1,66 \cdot 10^8$	$4,18 \cdot 10^{13}$
Fe-55	$8,68 \cdot 10^7$	$8,74 \cdot 10^{13}$
Fe-59	$3,85 \cdot 10^6$	$1,84 \cdot 10^{15}$
Ni-63	$3,16 \cdot 10^9$	$2,10 \cdot 10^{12}$
Zn-65	$2,11 \cdot 10^{-7}$	$3,04 \cdot 10^{14}$
Sr-90	$9,08 \cdot 10^8$	$5,11 \cdot 10^{12}$
Tc-99 ^m	$2,18 \cdot 10^4$	$1,93 \cdot 10^{17}$
I-125	$5,13 \cdot 10^6$	$6,51 \cdot 10^{14}$
I-131	$6,93 \cdot 10^5$	$4,60 \cdot 10^{15}$
Cs-134	$6,52 \cdot 10^7$	$4,78 \cdot 10^{13}$
Cs-137	$9,52 \cdot 10^8$	$3,20 \cdot 10^{12}$
Tl-201	$2,63 \cdot 10^5$	$7,90 \cdot 10^{15}$
Pu-238	$2,77 \cdot 10^9$	$6,34 \cdot 10^{11}$
Pu-239	$7,61 \cdot 10^{11}$	$2,30 \cdot 10^9$
Pu-240	$2,07 \cdot 10^{11}$	$8,40 \cdot 10^9$
Pu-241	$4,53 \cdot 10^8$	$3,82 \cdot 10^{12}$
Am-241	$1,36 \cdot 10^{10}$	$1,27 \cdot 10^{11}$
Cm-242	$1,41 \cdot 10^7$	$1,22 \cdot 10^{14}$
Cm-244	$5,71 \cdot 10^8$	$3,00 \cdot 10^{12}$

[#] Halbwertszeiten nach Kapitel "Kernphysikalische Daten"

Tab. 2: Auf die Masse von ausgewählten natürlichen Radionukliden bezogene Aktivität

Radionuklid	Halbwertszeit [#] t_r in s	Auf die Masse bezogene Aktivität $a_{m,r}$ in $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$
U-238	$1,41\cdot 10^{17}$	$1,24\cdot 10^4$
U-235	$2,22\cdot 10^{16}$	$8,00\cdot 10^4$
U-234	$7,75\cdot 10^{12}$	$2,30\cdot 10^8$
Th-232	$4,44\cdot 10^{17}$	$4,06\cdot 10^3$
Th-230	$2,38\cdot 10^{12}$	$7,63\cdot 10^8$
Th-228	$6,03\cdot 10^7$	$3,03\cdot 10^{13}$
Ra-228	$1,82\cdot 10^8$	$1,01\cdot 10^{10}$
Ra-226	$5,05\cdot 10^{10}$	$3,66\cdot 10^{10}$
Ra-224	$3,16\cdot 10^5$	$5,89\cdot 10^{15}$
Po-210	$1,20\cdot 10^7$	$1,66\cdot 10^{14}$
Pb-210	$7,04\cdot 10^8$	$2,82\cdot 10^{12}$
U_{nat} *)		$2,53\cdot 10^4$
Th_{nat} *)		$1,52\cdot 10^{13}$

*) $1 \text{ Bq } U_{\text{nat}} = 0,4888 \text{ Bq U-238} + 0,0225 \text{ Bq U-235} + 0,4888 \text{ Bq U-234}$
 $1 \text{ Bq } Th_{\text{nat}} = 0,5 \text{ Bq Th-232} + 0,5 \text{ Bq Th-228}$

Halbwertszeiten nach Kapitel "Kernphysikalische Daten"

Mit Hilfe dieser Werte lassen sich Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden, z. B. im Abwasser aus kerntechnischen Anlagen oder von natürlichen Radionukliden im Trinkwasser sowie in Lebensmitteln, in Massenkonzentrationen umrechnen.

In Tabelle 3 sind für ausgewählte Radionuklide Massenkonzentrationen angegeben, die einer Aktivitätskonzentration von jeweils $1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ entsprechen.

Tab. 3: Massenkonzentrationen ausgewählter Radionuklide bei einer Aktivitätskonzentration von $1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$

Radionuklid	Massenkonzentration in $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
Co-60	$2,4\cdot 10^{-8}$
Ra-226	$2,7\cdot 10^{-5}$
Th-232	246
U-235	13
U-238	81
Pu-240	$1,2\cdot 10^{-4}$

Anmerkung:

Für die Praxis bedeutet dies, dass wegen der relativ hohen Massenkonzentrationen von Th-232, U-235 und U-238 gegenüber anderen Radionukliden diese mittels Massenspektrometrie mit induktiv erzeugtem Plasma (ICP-MS), beispielsweise in Wasser, empfindlicher nachgewiesen werden können als nach der in der Radioaktivitätsmesstechnik zur Bestimmung von Alphastrahlern üblichen Methode der Alphaspektrometrie.

Literatur

- (1) Norm DIN 6814 Teil 4 Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik; Radioaktivität. 1990-02

Anhang:

Vorgehensweise bei der Berechnung der massebezogenen Aktivität eines Radionuklids

- 1.** Das Gesetz des radioaktiven Zerfalls lautet:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda_r \cdot N \quad (\text{A1})$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda_r \cdot t} \quad (\text{A2})$$

Dabei bedeuten:

N Anzahl der Atome des Radionuklids r ;

N_0 N zum Zeitpunkt $t = t_0$;

λ_r Zerfallskonstante des Radionuklids r in s^{-1} ;

t Zeitdauer in s.

- 2.** Die Aktivität eines Radionuklids A_r wird nach den Gleichungen (A3) und (A4) berechnet:

$$A = \lambda_r \cdot N \quad (\text{A3})$$

$$\lambda_r = \frac{\ln 2}{t_r} \quad (\text{A4})$$

Dabei bedeuten:

A_r Aktivität des Radionuklids r in Bq;

t_r Halbwertszeit des Radionuklids r in s.

- 3.** Die stoffmengenbezogene Masse M ist in Gleichung (A5) definiert:

$$M = \frac{m}{n} \quad (\text{A5})$$

Dabei bedeuten:

m Masse des Stoffes in g;

n Stoffmenge in mol;

M stoffmengenbezogene Masse in $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Die Masse m eines Systems aus N Atomen wird nach Gleichung (A6) berechnet:

$$m = N \cdot m_a \quad (\text{A6})$$

wobei m_a die Masse eines Atoms oder eines Moleküls in g ist.

Aus den Gleichungen (A5) und (A6) folgt Gleichung (A7):

$$M = \frac{m}{n} = \frac{N}{n} \cdot m_a = N_A \cdot m_a \quad (\text{A7})$$

mit der Avogadro-Konstanten $N_A = N/n$, d. h. N_A ist gleich der Anzahl N der Atome oder Moleküle in einem Mol Stoffmenge.

Damit folgt gemäß Gleichung (A8):

$$m_a = \frac{M}{N_A} \quad (\text{A8})$$

Anmerkung:

m_a kann in der Einheit u (atomare Masseneinheit) angegeben werden. Das heißt, der Zahlenwert von M in $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ist gleich dem Zahlenwert der Teilchenmasse in u (Massenzahl des Isotops).

4. Die Aktivität eines Radionuklids mit der Masse m_r wird ausgehend von den Gleichungen (A3), (A6) und (A8) gemäß Gleichung (A9) berechnet:

$$A_r = \lambda_r \cdot \frac{m_r \cdot N_A}{M} \quad (\text{A9})$$

Für die Masse m_r von einem Gramm, d. h. für die auf die Masse eines Radionuklids bezogene Aktivität $a_{m,r}$ gilt dann unter Berücksichtigung von Gleichung (A4) die Gleichung (A10):

$$a_{m,r} = \frac{4,1742 \cdot 10^{23}}{t_r \cdot M_r} \quad (\text{A10})$$