

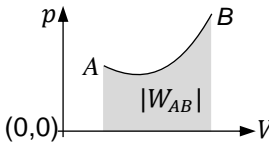
KARTA WYBRANYCH WZORÓW I STAŁYCH FIZYCZNYCH NA EGZAMIN EKSTERNISTYCZNY Z FIZYKI

W poniższym zestawie przedstawiono wybrane wzory, stałe fizyczne oraz układ okresowy pierwiastków. Przy każdym wzorze zapisano nazwę wielkości lub prawa albo zjawiska, którego wzór dotyczy. Symboli wszystkich wielkości występujących we wzorach nie opisano – przyjęto dla nich powszechnie używane oznaczenia. Podobnie nie opisano warunków i zakresów stosowalności przedstawionych wzorów. Wartości wielkości wektorowych zapisano bez symbolu wektora.

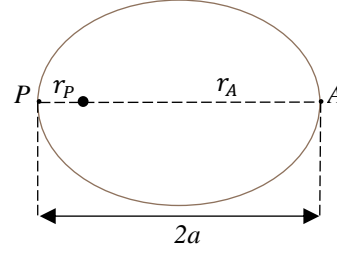
KINEMATYKA	
prędkość	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$
przyśpieszenie	$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$
prędkość kątowna	$\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$
związek między wartościami prędkości kątownej i liniowej	$v = \omega r$
związki w ruchu jednostajnym po okręgu	$\omega = \frac{2\pi}{T}; T = \frac{1}{f}$
przyśpieszenie dośrodkowe	$a_{do} = \frac{v^2}{r} = v\omega = \omega^2 r$
prędkość w ruchu jednostajnie zmiennym prostoliniowym	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$
droga w ruchu jednostajnie zmiennym prostoliniowym	$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

DYNAMIKA	
II zasada dynamiki (w układzie inercyjnym)	$m\vec{a} = \vec{F}$
praca siły	$W_F = F \Delta r \cos \alpha(\vec{F}, \Delta \vec{r})$
moc	$P = \frac{W}{\Delta t}$
energia kinetyczna ruchu postępowego	$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$
energia potencjalna sprężystości	$E_{pot} = \frac{1}{2} k x^2$

SIŁY TARCIA I SIŁA SPRĘŻYSTOŚCI	
siła tarcia kinetycznego	$T_k = \mu_k F_N$
siła tarcia statycznego	$T_s \leq \mu_s F_N$
siła sprężystości	$\vec{F}_s = -k\vec{x}$

TERMODYNAMIKA	
I zasada termodynamiki	$\Delta U = Q + W$
praca siły parcia, gdy $p = \text{const}$.	$ W = p \Delta V $
związek pracy siły parcia z polem pod wykresem zależności $p(V)$ – ciśnienia od objętości	 $ W_{AB} = \text{Pole pod AB}$

ciepło właściwe	$c_w = \frac{Q}{m\Delta T}$
ciepło przemiany fazowej	$L = \frac{Q}{m}$
średnia energia ruchu cząsteczek gazu doskonałego jednoatomowego	$E_{sr} = \frac{3}{2} kT$
praca i ciepło w cyklu silnika i pompy cieplnej	$0 = Q_{calk} + W_{calk}$
Q_{calk} – całkowite ciepło wymienione w cyklu z otoczeniem W_{calk} – całkowita praca mechaniczna wykonana w cyklu (nad i przez otoczenie)	
sprawność silnika cieplnego	$\eta = \frac{ W_{calk} }{ Q_{pob} } = \frac{ Q_{pob} - Q_{odd} }{ Q_{pob} }$

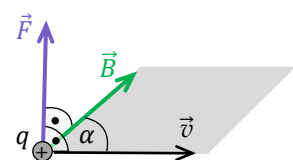
GRAWITACJA I ELEMENTY ASTRONOMII	
prawo powszechnego ciążenia	$F_g = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$
natężenie pola grawitacyjnego, przyśpieszenie grawitacyjne	$\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m}; \vec{a}_g = \vec{\gamma}$
energia potencjalna grawitacji	$E_p = -\frac{Gm_1 m_2}{r}$
zmiana energii potencjalnej przy powierzchni Ziemi	$\Delta E_p = mg\Delta h$
prędkość na orbicie kołowej	prędkość ucieczki
$v_{or} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$	$v_u = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$
orbita eliptyczna a – półosć wielka r_p – najmniejsza odległość do centrum r_A – największa odległość do centrum	
II prawo Keplera i zachowanie momentu pędu \vec{L} na orbicie (ΔS – pole zakreślone przez promień wodzący planety)	$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const}; \vec{L} = \overline{\text{const}}$
III prawo Keplera (a jest promieniem orbity kołowej lub półosią wielką elipsy)	$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \text{const}$
prawo Hubble'a	$v = Hd$

DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE	
równania ruchu harmonicznego	$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ $v(t) = A \omega \cos(\omega t + \varphi_0)$ $a(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$ $x_{max} = A \quad v_{max} = A\omega \quad a_{max} = A\omega^2$
siła harmoniczna	$\vec{F}_h = -m\omega^2 \vec{x}$
częstość kołowa małych drgań masy na sprężynie i wahadła matematycznego	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$
całkowita energia mechaniczna oscylatora	$E = E_k + E_p = \frac{1}{2} m x_{max}^2 \omega^2$
związki między parametrami ruchu fali	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f; \quad T = \frac{1}{f}$
faza fali w punkcie x i chwili t	$\varphi(t) = \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_0$
warunki maksymalnego wzmocnienia i osłabienia fali w punkcie	$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi n$ $\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \left(n + \frac{1}{2} \right)$
natężenie fali, jego związek z energią E i amplitudą A fali	$I = \frac{E_S}{S\Delta t}; \quad I \sim A^2$
załamanie fali na granicy ośrodków 1 i 2	$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$
wzory przybliżone na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła:	
źródło oddala się	źródło zbliża się
$v_{zr} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{zr} \left(1 - \frac{ v_{zr} - v_{obl} }{v_d} \right)$	$v_{zr} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{zr} \left(1 + \frac{ v_{zr} - v_{obl} }{v_d} \right)$
$v_{zr} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{zr} \left(1 - \frac{v_{zr}}{c} \right)$	$v_{zr} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{zr} \left(1 + \frac{v_{zr}}{c} \right)$

DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE – C.D.	
wzory ściśle na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła	$f_{ob} = f_{zr} \frac{v \mp v_{ob}}{v \pm v_{zr}}$ $f_{ob} = f_{zr} \sqrt{\frac{c \mp v_{zr}}{c \pm v_{zr}}}$
siatka dyfrakcyjna	$d \sin \alpha_n = n\lambda$
światło po przejściu przez polaryzator o osi polaryzacji P	
amplitudy pola elektrycznego:	
\vec{E}_0 – padającego na polaryzator	
\vec{E}_P – po przejściu przez polaryzator	

PRĄD ELEKTRYCZNY	
natężenie prądu	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
definicja oporu elektrycznego przewodnika	$R = \frac{U}{I}$
prawo Ohma (dla stałej temperatury przewodnika)	$\frac{U}{I} = \text{const}$
związek oporu R przewodnika z drutu z oporem właściwym ρ	$R = \rho \frac{l}{S}$
moc prądu stałego wydzielona na oporniku	$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$
zależność oporu metali od temperatury (w pewnym zakresie temperatur)	$R(T) \approx R(T_0)(1 + \alpha \Delta T);$ $\Delta T = T - T_0$
Dodawanie napięć pomiędzy punktami przewodnika	$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$
I prawo Kirchhoffa	$\left(\sum_{k=1}^K I_k \right)_{do \ węzła} = \left(\sum_{s=1}^S I_s \right)_{z \ węzła}$

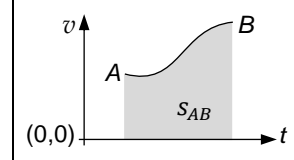
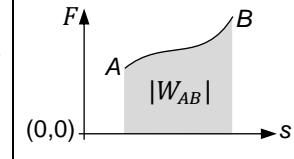
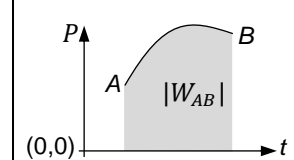
ELEKTROSTATYKA	
prawo Coulomba	$F_e = \frac{k q_1 q_2}{r^2}; \quad k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}$
natężenie pola elektrycznego	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q} \quad q - \text{ładunek}$
wartość natężenia na zewnątrz sferycznego rozkładu ładunku	$E = \frac{kQ}{r^2}$
napięcie pomiędzy punktami A i B pola elektrycznego	$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad W_{AB} - \text{praca przeciw sile elektrycznej}$
związek napięcia z potencjałami elektrycznymi	$U_{AB} = V_B - V_A$
związek napięcia z natężeniem w polu jednorodnym	$U = Ed$
pojemność kondensatora	$C = \frac{Q}{U}$
pojemność kondensatora płaskiego z dielektrykiem	$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$
energia elektryczna kondensatora	$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} U^2 C$
własności pola wewnątrz i na powierzchni bryły przewodnika	$\vec{E}_{wew} = 0; \quad \vec{E}_{pow} \perp \Delta S$
HYDROSTATYKA, AEROSTATYKA	
siła parcia i ciśnienie	$F = p\Delta S, \quad \vec{F} \perp \Delta S$
zmiana ciśnienia hydro- i aerostaticznego	$\Delta p = \rho g \Delta h$
siła wyporu	$F_{wyp} = \rho V_{zan} g$
V_{zan} – objętość zanurzonej części ciała	
ρ – gęstość cieczy (lub gazu)	

MAGNETYZM	
siła Lorentza, wektor indukcji magnetycznej	$F = qvB \sin \alpha$
$\alpha = \sphericalangle(\vec{v}, \vec{B})$ $\vec{F} \perp \vec{v}$ $\vec{F} \perp \vec{B}$	
siła elektrodynamiczna	$F = I\Delta l B \sin \sphericalangle(\vec{l}, \vec{B})$
strumień pola magnetycznego przez powierzchnię	$\Phi_B = BS \cos \sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$
siła elektromotoryczna indukcji	$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$
napięcie i natężenie skuteczne przebiegu sinusoidalnego	$I_{sk} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad U_{sk} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$
uproszczony model transformatora	$I_1 U_1 = I_2 U_2 ; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

OPTYKA GEOMETRYCZNA	
załamanie światła na granicy ośrodków 1 i 2	$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{n_2}{n_1}$
kąt graniczny dla przejścia światła z ośrodka 2 do 1	$\sin \alpha_{2gr} = \frac{n_1}{n_2}$
warunek polaryzacji światła przy odbiciu	$\alpha_{pad1} + \alpha_{zał2} = 90^\circ$

ELEMENTY FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ	
prawo Wiena (b – stała Wiena)	$\lambda_{max} T = b$
prawo Stefana–Boltzmann (moc wypromieniowana z jednostki powierzchni ciała)	$I = \sigma T^4 ; \quad [I] = \frac{W}{m^2}$
energia i pęd fotonu	$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda} ; \quad p_f = \frac{h}{\lambda}$
zjawisko fotoelektryczne	$E_f = W_{el} + E_{kin\ el\ max}$
emisja lub absorpcja fotonu przez atom (E_m, E_n – energie elektronu w atomie)	$E_m - E_n = hf_{mn} + E_{odrzutu}$ $m > n$
poziomy energetyczne atomu wodoru	$E_n = -\frac{13,606\ eV}{n^2}$
zasady zachowania (niektóre) w procesach na poziomie fundamentalnym	<ul style="list-style-type: none"> zachowanie ładunku układu zachowanie energii układu zachowanie pędu układu zachowanie liczby nukleonów w układzie
statystyczne prawo rozpadu promieniotwórczego	$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$

ELEMENTY MECHANIKI RELATYWISTYCZNEJ	
związek zmiany masy układu a energią pochłoniętą / emitowaną przez układ	$\Delta E = \Delta mc^2$
równoważność masy i energii spoczynkowej	$E_0 = mc^2$

WYBRANE ZALEŻNOŚCI	
związek drogi z polem pod wykresem zależności $v(t)$ – prędkości od czasu $S_{AB} = \text{Pole pod AB}$	
związek pracy z polem pod wykresem zależności $F(s)$ – siły od drogi $ W_{AB} = \text{Pole pod AB}$	
związek pracy z polem pod wykresem zależności $P(t)$ – mocy od czasu $ W_{AB} = \text{Pole pod AB}$	

PODSTAWOWE JEDNOSTKI UKŁADU SI		
nazwa	symbol	wielkość
metr	m	długość
kilogram	kg	masa
sekunda	s	czas
amper	A	natężenie prądu
kelwin	K	temperatura
mol	mol	liczność materii
kandela	cd	światłość

PRZEDROSTKI JEDNOSTEK MIAR

mnożnik	10 ²⁴	10 ²¹	10 ¹⁸	10 ¹⁵	10 ¹²	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ²	10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁸	10 ⁻²¹	10 ⁻²⁴
nazwa	jotta	zetta	eksa	peťa	tera	giga	mega	kilo	hekto	deka		decy	centy	mili	mikro	nano	piko	femto	atto	zepto	jokto
oznaczenie	Y	Z	E	P	T	G	M	k	h	da		d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y

Niektóre wartości stałych fizycznych oraz parametrów astronomicznych podano zaokrąglone z możliwie największą dokładnością – taką, aby ostatnia cyfra zaokrąglenia nie zmieniała się przy uwzględnieniu niepewności pomiaru.

Na podstawie: M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), *Physical Review D* 98, 030001 (2018) and 2019 update.

WARTOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH FIZYCZNYCH	
prędkość światła w próżni	$c = 299\,792\,458$ m/s (wartość dokładna)
stała Plancka	$h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ J·s (wartość dokładna)
ładunek elementarny	$e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C (wartość dokładna)
Stała Boltzmann	$k_B = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ J/K (wartość dokładna)
Stała Avogadro	$N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ mol ⁻¹ (wartość dokładna)
uniwersalna stała gazowa	$R = 8,314\,462\,618\,2$ J/(K·mol) (wartość dokładna)
stała grawitacji	$G = 6,674 \cdot 10^{-11}$ N·m ² /kg ²
przenikalność magnetyczna próżni	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A ²
przenikalność elektryczna próżni, stała elektryczna	$\epsilon_0 = 8,854\,187\,81 \cdot 10^{-12}$ C ² /(N·m ²) $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,987\,551\,8 \cdot 10^9$ N · m ² /C ²
związek między c , μ_0 , ϵ_0	$c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$
masa elektronu	$m_e = 9,109\,383\,7 \cdot 10^{-31}$ kg
masa protonu	$m_p = 1,672\,621\,92 \cdot 10^{-27}$ kg
masa neutronu	$m_n = 1,674\,927\,49 \cdot 10^{-27}$ kg
jednostka masy atomowej	$1\text{ u} = 1,660\,539\,066 \cdot 10^{-27}$ kg

WARTOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH FIZYCZNYCH – C.D.	
przyśpieszenie ziemskie (standardowe)	$g = 9,806\,65$ m/s ² (wartość dokładna odpowiadająca przyśpieszeniu na szerokości geograficznej ok. 45,5° na poziomie morza)
Stała Wiena	$b = 2,897\,771\,955 \dots \cdot 10^{-3}$ m·K (wartość dokładna)
Stała Stefana-Boltzmann	$\sigma = 5,670\,374\,419 \dots \cdot 10^{-8}$ W/(m ² ·K ⁴) (wartość dokładna)

WYBRANE STAŁE I PARAMETRY ASTROFIZYCZNE	
jednostka astronomiczna	$1\text{ au} = 1,49\,597\,870\,7 \cdot 10^{11}$ m (wartość dokładna)
parsek	$1\text{ pc} = 3,085\,677\,581\,49 \cdot 10^{16}$ m (wartość dokładna)
rok świetlny	$1\text{ ly} = 0,946\,073 \dots \cdot 10^{16}$ m = 0,306 601... pc
masa Słońca	$M_S = 1,988 \cdot 10^{30}$ kg
odległość Słońca od centrum galaktyki	$R_0 = 27$ kly
masa Ziemi	$M_Z = 5,972 \cdot 10^{24}$ kg
promień równikowy Ziemi	$R_Z = 6,3781 \cdot 10^6$ m (wartość dokładna)
stała Hubble'a	$H_0 \approx 70$ (km/s)/Mpc
temperatura promieniowania tła	$T_0 = 2,7$ K

WYBRANE WARTOŚCI JEDNOSTEK SPOZA UKŁADU SI		
$1\text{ eV} = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ J (wartość dokładna)	$0\text{ °C} \equiv 273,15$ K	
$1\text{ atmosfera} \equiv 101\,325$ Pa	$1\text{ G} \equiv 10^{-4}$ T	$1\text{ Å} = 0,1$ nm

$\pi = 3,141\,592\,653\,589\,793 \dots$ (liczba pi)

$e = 2,718\,281\,828\,459\,045 \dots$ (liczba Eulera)

Układ okresowy pierwiastków

1												18					
1H Wodór 1,01 2,2											2He Hel 4,00						
2												13	14	15	16	17	18
3Li Lit 6,94 1,0	4Be Beryl 9,01 1,6											5B Bor 10,81 2,0	6C Węgiel 12,01 2,6	7N Azot 14,01 3,0	8O Tlen 16,00 3,4	9F Fluor 19,00 4,0	10Ne Neon 20,18
11Na Sód 23,00 0,9	12Mg Magnez 24,31 1,3											13Al Glin 26,98 1,6	14Si Krzem 28,09 1,9	15P Fosfor 30,97 2,2	16S Siarka 32,06 2,6	17Cl Chlor 35,45 3,2	18Ar Argon 39,95
19K Potas 39,10 0,8	20Ca Wapń 40,08 1,0	21Sc Skand 44,96 1,4	22Ti Tytan 47,87 1,5	23V Wanad 50,94 1,6	24Cr Chrom 52,00 1,7	25Mn Mangan 54,94 1,6	26Fe Żelazo 55,85 1,8	27Co Kobalt 58,93 1,9	28Ni Nikiel 58,69 1,9	29Cu Miedź 63,55 1,9	30Zn Cynk 65,38 1,7	31Ga Gal 69,72 1,8	32Ge German 72,63 2,0	33As Arsen 74,92 2,0	34Se Selen 78,96 2,6	35Br Brom 79,90 3,0	36Kr Krypton 83,80
37Rb Rubid 85,47 0,8	38Sr Stront 87,62 1,0	39Y Itr 88,91 1,2	40Zr Cyrkon 91,22 1,3	41Nb Niob 92,91 1,6	42Mo Molibden 95,95 2,2	43Tc Technet 97,91 2,1	44Ru Ruten 101,07 2,2	45Rh Rod 102,91 2,3	46Pd Pallad 106,42 2,2	47Ag Srebro 107,87 1,9	48Cd Kadm 112,41 1,7	49In Ind 114,82 1,8	50Sn Cyna 118,71 2,0	51Sb Antymon 121,76 2,1	52Te Tellur 127,60 2,1	53I Jod 126,90 2,7	54Xe Ksenon 131,29
55Cs Cez 132,91 0,8	56Ba Bar 137,33 0,9	57La* Lantan 138,91 1,1	72Hf Hafn 178,49 1,3	73Ta Tantal 180,95 1,5	74W Wolfram 183,84 1,7	75Re Ren 186,21 1,9	76Os Osm 190,23 2,2	77Ir Iryd 192,22 2,2	78Pt Platyna 195,08 2,2	79Au Złoto 196,97 2,4	80Hg Rtęć 200,59 1,9	81Tl Tal 204,38 1,8	82Pb Ołów 207,2 1,8	83Bi Bizmut 208,98 1,9	84Po Polon 208,98 2,0	85At Astat 209,99 2,2	86Rn Radon 222,02
87Fr Frans 223,02 0,7	88Ra Rad 226,03 0,9	89Ac** Aktyn 227,03	104Rf Rutherford 267,12	105Db Dubn 268,13	106Sg Seaborg 271,13	107Bh Bohr 272,14	108Hs Has 270,13	109Mt Meitner 276,15	110Ds Darmsztadt 281,17	111Rg Roentgen 280,17	112Cn Kopernik 285,18	113Nh Nihon 284,18	114Fl Flerow 289,19	115Mc Moskow 288,19	116Lv Liwermor 293,20	117Ts Tenes 292,21	118Og Oganeson 294,21

Liczba atomowa (liczba porządkowa) — 20
 Symbol pierwiastka — Ca
 Nazwa — Wapń
 Masa atomowa — 40,08
 Elektryczność w skali Paulinga — 1,0

METALE
PÓŁMETALE
NIEMETALE
GAZY SZLACHETNE

*	58Ce Cer 140,12	59Pr Prazeodym 140,91	60Nd Neodym 144,24	61Pm Promet 144,91	62Sm Samar 150,36	63Eu Europ 151,96	64Gd Gadolin 157,25	65Tb Terb 158,93	66Dy Dysproz 162,50	67Ho Holm 164,93	68Er Erb 167,26	69Tm Tul 168,93	70Yb Iterb 173,04	71Lu Lutet 174,97
**	90Th Tor 232,04	91Pa Protaktyn 231,04	92U Uran 238,05	93Np Neptun 237,05	94Pu Pluton 244,06	95Am Ameryk 243,06	96Cm Kiur 247,07	97Bk Berkel 247,07	98Cf Kaliforn 251,08	99Es Einstein 252,08	100Fm Ferm 257,10	101Md Mendelew 258,10	102No Nobel 259,10	103Lr Lorens 262,11

Dla pierwiastków promieniotwórczych, które nie mają stabilnych izotopów, podano masę atomową najtrwalszego izotopu.

Na podstawie: CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Edition, CRC Press 2017 oraz

www.nist.gov/pml/atomic-weights-and-isotopic-compositions-relative-atomic-masses