

Podstawy nukleoniki

*zbiór zadań
sprawdzających wiedzę*

opracowany przez

*zespół Działu Edukacji i Szkoleń
Narodowego Centrum Badań Jądrowych
pod kierunkiem prof. Ludwika Dobrzyńskiego*

wydanie I

*Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Otwock 2014*

Zespół redakcyjny i autorzy tekstów:

prof. dr hab. Ludwik Dobrzyński
mgr inż. Łukasz Adamowski
mgr Ewa Droste
dr Marek Kirejczyk
mgr Maja Marcinkowska-Sanner
mgr inż. Maciej Pylak
mgr Marcin Paweł Sadowski
Robert Wołkiewicz
mgr Katarzyna Żuchowicz

Skład komputerowy:

mgr Marcin Paweł Sadowski

Copyright © 2012-2014 by Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autorzy dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autorzy nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Skład niniejszego wydania ukończono w dn. 14 września 2014.

Książka przygotowana w ramach projektu „Szkoła z przyszłością” (POKL.09.02.00-14-058/11) współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego. Projekt realizowany w ramach priorytetu IX „Rozwój wykształcenia i kompetencji w regionach” działanie 9.2 „Podniesienie atrakcyjności i jakości szkolnictwa zawodowego”



Adres strony projektu: <http://szkolazprzyszloscia.ncbj.pl>

Spis treści

Rozdział 1. Energia i jej przemiany.....	5
Rozdział 2. Promieniowanie i jego rodzaje.....	7
Rozdział 3. Widmo promieniowania elektromagnetycznego.....	8
Rozdział 4. Budowa atomu i jego promieniowanie.....	9
Rozdział 5. Jądro atomowe	11
Rozdział 6. Źródła i właściwości promieniowania jonizującego	13
Rozdział 7. Podstawy ochrony radiologicznej	15
Rozdział 8. Biologiczny wpływ promieniowania na organizmy	17
Rozdział 9. Promieniowanie środowiska	18
Rozdział 10. Detektory promieniowania jonizującego	19
Rozdział 11. Pomiar promieniowania jonizującego	20
Rozdział 12. Opracowywanie danych pomiarowych	21
Rozdział 13. Urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące.....	24
Rozdział 14. Reakcje jądrowe i sztuczna promieniotwórczość	25
Rozdział 15. Reakcja rozszczepienia.....	26
Rozdział 16. Reaktor jądrowy i jego działanie	27
Rozdział 17. Reaktory w energetyce jądrowej.....	29
Rozdział 18. Postępowanie z wypalonym paliwem jądrowym	30
Rozdział 19. Synteza jądrowa	31
Rozdział 20. Zastosowania medyczne.....	32
Rozdział 21. Zastosowania w badaniach naukowych.....	33
Rozdział 22. Zastosowania przemysłowe	34
Rozdział 23. Odpady promieniotwórcze i ich transport. Likwidacja elektrowni jądrowej	35
Rozdział 24. Porównanie różnych źródeł energii elektrycznej	36

Rozdział 1.

Energia i jej przemiany

- 1.1 Znana zabawka „kołyska Newtona” (pięć uderzających o siebie kul) wprowadzona w ruch po jakimś czasie zatrzymuje się. Jak wyjaśnisz takie zachowanie? Na jakie inne formy energii przekształciła się początkowa energia kinetyczna (ruchu) kul?
- 1.2 Sprawność wszystkich, możliwych do wybudowania przez człowieka maszyn, jest zawsze mniejsza od 100%. Dlaczego? Jakie warunki musiałyby spełnione, aby sprawność wynosiła 100%?
- 1.3 Kelner trzymając na tacy posiłek podszedł do gościa restauracji. Czy niosąc tacę wykonał pracę w fizycznym sensie tego pojęcia?
- 1.4 Typowa moc kuchenki mikrofalowej wynosi $P = 1 \text{ kW}$. Oszacuj moc telefonu komórkowego podczas rozmowy wiedząc, że jego 3,7 woltowa bateria o pojemności 1 500 mAh pozwala na 10 godzin rozmowy.
- 1.5 Nominalna moc cieplna polskiego reaktora badawczego MARIA (30 MW) w porównaniu z mocą wyścigowego bolidu z silnikiem o mocy 700 KM (koni mechanicznych) jest (w przybliżeniu):
 - a) taka sama,
 - b) 20 razy mniejsza,
 - c) 20 razy większa,
 - d) 60 razy większa.
- 1.6 Podgrzanie (bez strat) 1 szklanki wody (250 g) od temperatury 15°C do temperatury 95°C wymaga dostarczenia pewnej porcji energii. Taką samą porcję energii dostarczamy do podnośnika w ZOO, aby podnieść dorodną żyrafę (samiec o wadze ok. 1 tony). Na jaką (w przybliżeniu) wysokość można podnieść żyrafę:
 - a) 0,8 cm,
 - b) 8 cm,
 - c) 80 cm,
 - d) 800 cm?
- 1.7 Ile energii produkuje silnik samochodu o mocy 100 KM (koni mechanicznych) w ciągu sekundy jazdy z pełną mocą:
 - a) ok. 74 J,
 - b) ok. 74 kJ,
 - c) ok. 74 kWh,
 - d) ok. 740 J?

- 1.8 Bojler z grzałką elektryczną o mocy 1,5 kW włącza się średnio co godzinę na 5 minut. Ile energii zużyje taki podgrzewacz wody w ciągu doby:
- a) 3 KM,
 - b) 3 kW,
 - c) 3 kJ,
 - d) 3 kWh?
- 1.9 Woda w czasie gotowania w czajniku zmienia swą temperaturę od 20°C do 100°C. Ile energii pochłania litr tej wody:
- a) 80 cal,
 - b) 80 kWh,
 - c) 80 kcal,
 - d) 800 J?
- 1.10 Z jaką prędkością można by wystrzelić litrową butelkę wody, gdyby całą energię potrzebną do zagotowania tej wody można było zamienić na energię kinetyczną (założyć, że masa butelki jest mała w porównaniu z masą wody):
- a) ok. 3 cm/s,
 - b) ok. 3 m/s,
 - c) ok. 30 km/h,
 - d) ok. 3000 km/h?
- 1.11 Na jaką wysokość doleciałby litrowa butelka wody wystrzelona pionowo do góry z energią równą energii potrzebnej do zagotowania tej wody (założyć, że masa butelki jest mała w porównaniu z masą wody, a opór powietrza pomijamy):
- a) ok. 33 km,
 - b) ok. 1 km,
 - c) ok. 33 m,
 - d) ok. 1 cm?
- 1.12 Jaka moc wydzielą się na oporniku o rezystancji 1 Ω wetkniętym do gniazdka sieciowego o napięciu skutecznym 230 V:
- a) ok. 53 mW,
 - b) ok. 53 W,
 - c) ok. 53 kW,
 - d) ok. 53 MW?
- 1.13 Wyjaśnij pojęcie „odnawialne źródła energii”.

Rozdział 2.

Promieniowanie i jego rodzaje

- 2.1 Co to jest promieniowanie?
- 2.2 W pewnym mieszkaniu pomiędzy salonem a kuchnią jest ściana z drzwiami. Jakie zjawisko (zjawiska) fizyczne przyczyniły się do tego, że gospodyni siedząc w salonie przed telewizorem usłyszała gwizd czajnika?
- 2.3 Foton o pewnej długości fali ma w próżni energię E . Inny foton ma taką samą długość fali w wodzie o współczynniku załamania n . Jaka jest energia tego fotonu:
- a) E/n ,
 - b) nE ,
 - c) E ?
- 2.4 Nadajnik stacji radiowej o mocy 200 kW nadaje z częstotliwością 98 MHz. Ile fotonów emituje stacja w ciągu 1 sekundy
- a) ok. $3 \cdot 10^{30}$,
 - b) ok. $3 \cdot 10^{20}$,
 - c) ok. $3 \cdot 10^{40}$?
- 2.5 Oblicz długość fali ultrawysokoenergetycznego fotonu pochodzącego z promieniowania kosmicznego, którego energia równa jest $E = 1$ J.
- 2.6 W wodzie o współczynniku załamania światła $n = 1,33$ długość światła wynosi $\lambda = 450$ nm. Oblicz jaka będzie długość tego światła w powietrzu? Wyznacz jaka będzie odpowiadała temu światłu energia fotonów E_f wyrażona w dżulach (J)?
- 2.7 Oblicz długość fali materii odpowiadającej myszy o masie $m = 3$ g biegnącej z prędkością $v = 1$ m/s. Porównaj ją z promieniem atomu wodoru $r = 5,3 \cdot 10^{-11}$ m.
- 2.8 Oblicz długość fali materii związanej z szybko idącym człowiekiem (z prędkością 6 km/h). Przyjmij masę tej osoby na 50 kg.
- 2.9 Badając zjawisko fotoelektryczne stwierdzono, że:
- a) energia fotoelektronów zależy od częstotliwości, a ich liczba od natężenia promieniowania wywołującego to zjawisko;
 - b) energia fotoelektronów zależy od natężenia, a ich liczba od częstotliwości promieniowania powodującego to zjawisko;
 - c) praca wyjścia nie zależy od rodzaju metalu;
 - d) praca wyjścia zależy od natężenia i częstotliwości promieniowania padającego na metal.

Rozdział 3.

Widmo promieniowania elektromagnetycznego

- 3.1 Co jest źródłem fal elektromagnetycznych?
- 3.2 Poprawnie uszeregowane zakresy fal elektromagnetycznych w kolejności o najmniejszej energii do największej energii, to:
- a) ultrafiolet – światło widzialne – podczerwień – promieniowanie γ ,
 - b) fale radiowe – mikrofae – podczerwień – promieniowanie X,
 - c) fale radiowe – światło widzialne – promieniowanie γ – promieniowanie X,
 - d) światło widzialne – promieniowanie X – mikrofae – promieniowanie γ .
- 3.3 Wymień znane Ci zastosowania w życiu codziennym promieniowania ultrafioletowego i wyjaśnij ideę wykorzystania tego zakresu fal elektromagnetycznych?
- 3.4 Oblicz, jaka będzie zmiana procentowa długości fali świetlnej, odpowiadającej maksimum w promieniowaniu ciała doskonale czarnego, gdy temperatura tego ciała zmaleje z 6 000 K do 4 500 K? Czy ta długość fali wzrośnie, czy zmaleje?
- 3.5 W jaki sposób zmieni się całkowita moc wysyłanego promieniowania, gdy temperatura ciała zmieni się jak w poprzednim zadaniu?
- 3.6 Długość fali światła czerwonego $\lambda_{cz} = 600 \text{ nm}$, a fioletowego $\lambda_f = 400 \text{ nm}$. Fotony którego promieniowania mają większą energię?
- 3.7 Niech długość fali promieniowania elektromagnetycznego zmniejszy się dwukrotnie. W jaki sposób zmieni się energia fotonów tego promieniowania? (Zakładamy, że prędkość fali pozostaje stała.)
- 3.8 Moc żarnika żarówki została szesnastokrotnie zwiększona. Jak musi zmienić się średnica drutu żarnika, aby jego temperatura nie zmieniła się? (Zakładamy, że długość drutu nie zmienia się.)
- 3.9 Omów znane ci zastosowania fal elektromagnetycznych.
- 3.10 Na fotografii wykonanej teleskopem astronom zaobserwował dwie gwiazdy: jednak bardziej żółtawa, druga bardziej błękitna. Zakładając, że odległość tych gwiazd od obserwatora nie zmienia się, wskaż która z nich ma większą temperaturę. Odpowiedź uzasadnij.

Rozdział 4.

Budowa atomu i jego promieniowanie

- 4.1 Korzystając z układu okresowego pierwiastków opisz budowę atomów: helu, węgla i srebra.
- 4.2 Wyznacz, jaka jest średnia odległość pomiędzy cząsteczkami powietrza i cząsteczkami wody? Zakładamy, że cząsteczki powietrza i wody są kuleczkami.
- 4.3 W warunkach normalnych ($T = 273,15 \text{ K}$; $p = 1013,25 \text{ hPa}$) gęstość powietrza wynosi $1,293 \text{ g/dm}^3$. Wiedząc, że liczba Avogadro wynosi $6,022 \cdot 10^{23}$ molekuł na mol, oszacować średnią masę drobinową powietrza. Przyjmij objętość połową powietrza w tych warunkach na $V_{mol} = 22,40 \text{ dm}^3/\text{mol}$.
- 4.4 Ile atomów znajduje się w 1 litrze wody?
- 4.5 Atom wodoru porusza się w próżni z prędkością 2 km/s . Oblicz zmianę jego prędkości po emisji fotonu o długości fali $\lambda = 300 \text{ nm}$.
- 4.6 Przy osadzaniu bardzo cienkich warstw materiałów pewnych substancji na powierzchniach innych substancji ciśnienie w komorach roboczych wynosi 10^{-14} tr . „Tr” to techniczna jednostka ciśnienia o nazwie tor (jednostka nie należy do Układu SI!). 1 tor równa się ciśnieniu 1 mm słupa rtęci, czyli $133,322 \text{ Pa}$ (paskala). Ile cząsteczek powietrza znajduje się w 1 m^3 takiej komory?
- 4.7 Ile warstw „jedno-atomowych” jest w foliach aluminiowych, używanych do pakowania czekolady – grubość folii $d = 30 \mu\text{m}$, przyjmując gęstość aluminium $2,7 \text{ g/cm}^3$.
- 4.8 Wzbudzony atom wodoru emituje promieniowanie związane z przejściem elektronu z powłoki trzeciej na drugą. Oblicz energię wyemitowanego kwantu i długość fali uzyskanej linii widmowej. Czy linia ta wypada w zakresie światła widzialnego, jeśli światło widzialne zawiera fale w przedziale od 380 nm do 760 nm ? Energia stanu podstawowego atomu wodoru $E_0 = -13,6 \text{ eV}$.
- 4.9 Wyjaśnij, czy atom wodoru może pochłaniać światło ultrafioletowe o długości fali mniejszej niż 100 nm ?
- 4.10 Czy spodziewasz się, że atomy wodoru w stanie podstawowym pochłaniają falę elektromagnetyczną o energii fotonów:
- 5 eV ,
 - 15 eV ?
- Odpowiedź uzasadnij.

4.11 (doświadczalne) Jak można w warunkach szkolnych oszacować grubość folii aluminiowej (wyrażoną w μm lub mg/cm^2), stosowanej w gospodarstwach domowych? Która z poniższych propozycji postępowania jest najbardziej odpowiednia:

- użycie wagi sklepowej i miarki krawieckiej,
- użycie wagi analitycznej i linijki szkolnej,
- skorzystanie z suwmiarki,
- skorzystanie ze śruby mikrometrycznej,
- porównanie badanej folii z papierem do kserokopiarki (na paczkach takiego papieru podana jest tzw. „gramatura papieru”, zazwyczaj $80 \text{ g}/\text{m}^2$), papier to głównie celuloza $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$.
- e-mail do producenta folii?

Rozdział 5.

Jądro atomowe

- 5.1 W jaki sposób porusza się naładowana cząstka w polu elektrycznym? Spróbuj rozważyć ruch cząstki, gdy wpada ona ukośnie w stosunku do kierunku pola elektrycznego.
- 5.2 W jaki sposób porusza się cząstka, gdy wpada do pola magnetycznego? Rozpatrz dwa przypadki: gdy wpada prostopadle i gdy wpada pod kątem do kierunku pola.
- 5.3 Izotopy to:
- a) pierwiastki promieniotwórcze,
 - b) jądra określonego pierwiastka o różnej liczbie neutronów,
 - c) inna nazwa radiofarmaceutyków,
 - d) jądra o tej samej masie.
- 5.4 Okres połowicznego zaniku promieniowania ^{218}Po wynosi 3 min. Początkowo w próbce mieliśmy 1000 atomów tego izotopu. Po 6 minutach pozostanie:
- a) 750 atomów,
 - b) 500 atomów,
 - c) 250 atomów,
 - d) 125 atomów.
- 5.5 Okres połowicznego zaniku pewnego nuklidu wynosi 5 min. Czy 25% z początkowej liczby atomów tego nuklidu uzyskamy po czasie:
- a) 5 min,
 - b) 10 min,
 - c) 20 min?
 - d) Nie jest to określone.
- 5.6 Okres połowicznego zaniku pewnego nuklidu wynosi 7 godzin. Początkowa aktywność preparatu promieniotwórczego wynosiła 10 kBq. Ile wyniesie on po upływie 5 godz.?
- 5.7 Najpopularniejszy na Ziemi izotop radu ^{226}Ra ma okres połowicznego zaniku $T_{1/2} = 1\,600$ lat. Wyjaśnij, dlaczego rad jeszcze istnieje na Ziemi, mimo tego że uformowała się ona przed ok. 4 miliardami lat?
- 5.8 Izotop radonu ^{222}Rn rozpada się wysyłając cząstkę α . Podaj nuklid, do którego się rozpada wraz z jego pełną nazwą.

- 5.9 Izotop fluoru ^{18}F jest stosowany powszechnie w medycynie nuklearnej w tzw. technice PET. Jest on emiterym β^+ . Podaj nuklid, do którego się rozpada wraz z jego pełną nazwą.
- 5.10 Oblicz energię wiązania nukleonów w cząstce α , jeśli wiesz, że jej masa wynosi 4,00151 u. Wynik podaj także w jednostkach MeV. Pamiętaj, że $m_p = 1,0072765$ u, $m_n = 1,0086649$ u.
- 5.11 Znając masę cząstki α (patrz poprzednie zadanie) i korzystając ze wzoru na promień jądra $R = R_0 A^{1/3}$, oblicz gęstość materii jądrowej.
- 5.12 Ile warstw „jedno-atomowych” było w foliach ze złota w doświadczeniu Rutherforda – przyjąć gęstość złota $19,3 \text{ g/cm}^3$, grubość folii $6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.
- 5.13 Mamy warstwę materiału (tylko jeden pierwiastek) o danej gęstości, $\rho \text{ [g/cm}^3\text{]}$, znamy też A tego pierwiastka. Jaka musi być grubość warstwy tego materiału, aby linia prosta, prostopadła do płaszczyzny materiału, trafiła w jądro atomowe? Zakładamy, że promień jądra możemy opisać wzorem: $R_j = A^{1/3} \cdot 10^{-15} \text{ m}$.
- 5.14 Masa protonu jest około 1 840 razy większa od masy elektronu. Jeżeli w polu elektrycznym elektron i proton uzyskają takie same prędkości, to długość fali de Broglie’a będzie
- jednakowa dla obu cząstek, bo prędkości są jednakowe,
 - większa dla protonu, bo ma on większą masę,
 - mniejsza dla elektronu, bo ma on mniejszą masę,
 - mniejsza dla protonu, bo ma on większą masę?
- 5.15 Okres połowicznego zaniku izotopu ^{14}C wynosi 5730 lat. Ile atomów ^{14}C znajduje się w źródle promieniotwórczym o aktywności 1 Bq?
- 5.16 Naturalny rozpad promieniotwórczy izotopu ^{238}U kończy się osiągnięciem stabilnego izotopu ołowiu ^{206}Pb . Oblicz, ile rozpadów alfa i beta wymaga taka przemiana? Odpowiedź: $Z_{\text{Pb}} = 82$, $Z_{\text{U}} = 92$.

Rozdział 6.

Źródła i właściwości promieniowania jonizującego

6.1 W wyniku wyemitowania cząstki α z izotopu ^{212}Bi otrzymamy:

- a) ^{212}Po ,
- b) ^{208}Tl ,
- c) ^{212}Bi ,
- d) ^{208}Pb .

6.2 Jakiego rodzaju promieniowania (α , β czy γ) należałoby użyć do pomiaru grubości blachy na puszkach do napojów, a jakiego – do bardzo cienkiej folii do żywności? Odpowiedź uzasadnij.

6.3* Półempiryczna zależność zasięgów elektronów o energiach kinetycznych E_{kin} od 10 keV do 3 MeV wyraża się wzorem $R = 0,412 \cdot E^{1,265 - 0,954 \ln E}$, natomiast dla elektronów o wysokiej energii z zakresu 3 – 20 MeV – wzorem $R = 0,53 E - 0,106$ (zasięg R wyrażany jest w mg/cm^2 , a energia E podana jest w MeV). Korzystając z poniższej tabeli oraz wskazanych wzorów oceń zasięg elektronów o energiach 1, 3 i 5 MeV w aluminium.

Zasięgi elektronów o przykładowych energiach

Energia kinetyczna elektronu E_{kin} [keV]	Prędkość elektronu w próżni v [ułamek prędkości światła]	Zasięg elektronu w powietrzu R [cm]	Zasięg elektronu w wodzie L [cm]	Przybliżona całkowita liczba jonów na drodze R w powietrzu	Średnia liczba jonów w powietrzu [jon/cm]
0,15	0,024	0,0006	$< 8 \cdot 10^{-7}$	ok. 5	7 700
2,55	0,1	0,04	$0,5 \cdot 10^{-4}$	ok. 84	2 100
10,5	0,2	0,23	$2,9 \cdot 10^{-4}$	ok. 230	1 000
24,7	0,3	1	$12,7 \cdot 10^{-4}$	ok. 400	400
46,6	0,4	3,4	$43,2 \cdot 10^{-4}$	ok. 850	250
79,1	0,5	7,3	$92,7 \cdot 10^{-4}$	ok. 1 300	180
127,8	0,6	17,9	0,023	ok. 2 300	130
204,7	0,7	37,5	0,048	ok. 3 600	95
341	0,8	83	0,105	ok. 5 800	70
662	0,9	214	0,27	ok. 10 700	50
1 127	0,95	437	0,55	ok. 20 000	45
3 114	0,99	1 300	1,65	ok. 53 000	41

- 6.4 Oblicz grubość połówkową aluminium dla promieniowania β o maksymalnej energii 8 MeV?
- 6.5 Wiedząc, że energia jonizacji atomów helu wynosi 24,6 eV oblicz pęd elektronów, które mogą taką jonizację wywołać.
- 6.6 Zbadano, że przez płytkę o grubości 2 cm przechodzi dwa razy mniej fotonów niż przez płytkę o grubości 1 cm, wykonaną z tego samego materiału. Oblicz liniowy współczynnik pochłaniania tych fotonów w płytce.
- 6.7 Jak bardzo (ile razy) należy zwiększyć odległość detektora od punkтового źródła, aby mierzone natężenie promieniowania zmalało dziewięciokrotnie?
- 6.8 Korzystając z poniższej tabeli wykonaj wykres i oceń grubość ołowiu potrzebną dla stukrotnego osłabienia promieniowania γ o energii 2 MeV.

Grubości osłabienia połówkowego $d_{1/2}$ i stukrotnego $d_{1/100}$ w wodzie (1 g/cm³) i ołowiu (11,7 g/cm³) dla różnych energii fotonów

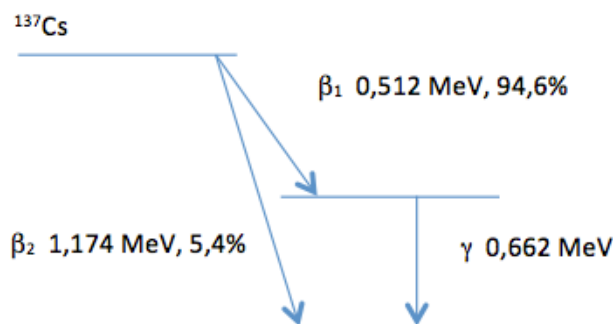
Energia fotonu gamma [keV]	Osłabienie dwukrotne $d_{1/2}$		Osłabienie stukrotne $d_{1/100}$	
	woda	ołów	woda	ołów
	grubość [cm]	grubość [cm]	grubość [cm]	grubość [cm]
20	0,86	0,00071	5,69	0,0047
60	3,37	0,0122	22,73	0,081
100	4,06	0,011	26,98	0,073
150	4,61	0,0303	30,60	0,201
300	5,84	0,152	38,83	1,01
600	7,74	0,49	51,42	3,25
1 000	9,80	0,86	65,12	5,71
1 250	10,96	1,04	72,83	6,91
3 000	17,46	1,44	116,03	9,58

- 6.9 Emisja izotopu ^{137}Cs w wyniku awarii w elektrowni w Czarnobylu wynosiła 38 PBq. Oblicz uwolnioną masę tego izotopu. Liczba Avogadro $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- 6.10 W przyrodzie występują tylko dwa nuklidy, które zawierają w jądrze więcej protonów niż neutronów. Wskaż je korzystając ze znanych Ci źródeł i wytłumacz, dlaczego nie obserwuje się więcej takich nuklidów.

Rozdział 7.

Podstawy ochrony radiologicznej

- 7.1 Promieniowaniem najbardziej przenikliwym jest:
- α – dodatnio naładowane jony He,
 - β – ujemnie naładowane elektrony,
 - γ – fotony.
 - Wszystkie wymienione typy promieniowania są równie silnie przenikliwe.
- 7.2 Trzy zasady bezpiecznej pracy z promieniowaniem jonizującym to:
- skrócić czas narażenia – odwrócić się plecami – osłonić się,
 - odsunąć się – włączyć lepsze oświetlenie stanowiska pracy – skrócić czas narażenia,
 - osłonić się – włączyć lepsze oświetlenie stanowiska pracy – odwrócić się plecami,
 - odsunąć się – osłonić się – skrócić czas narażenia.
- 7.3 Uszereguj rodzaje promieniowania ze względu na ich efekty biologiczne (od najsilniejszych do najsłabszych): fotony, elektrony, protony, neutrony o energii od 10 do 100 keV, neutrony o energii od 1 do 2 MeV, cząstki α .
- 7.4 Neutrony o energii 1 keV jonizują 2 cm³ materiału o gęstości 2 g/cm³. Jaką dawkę pochłoniętą i równoważną przyjmuje materiał na każdy neutron?
- 7.5 W procedurze terapeutycznej napromieniono promieniowaniem γ pęcherz pacjenta dawką 10 Gy. Jaką dawkę efektywną przyjął pacjent?
- 7.6 Źródło punktowe o aktywności 1 MBq wysyła promieniowanie γ o energii 1 MeV. Jaka będzie moc dawki w odległości 1 m od źródła, jeśli pominiemy pochłanianie w powietrzu (gęstość powietrza to 0,0013 g/cm³).
- 7.7 W wyniku awarii reaktora w Czarnobylu nastąpiło skażenie gleby izotopem ¹³⁷Cs. W Norwegii, gdzie wykryto znaczące skażenia na terenach, na których pasą się zwykle renifery, wybito wiele ich stad, gdyż obawiano się skutków radiologicznych spożywania ich skażonego mięsa. Znając schemat rozpadu izotopu ¹³⁷Cs (rys. poniżej) oraz zmierzoną aktywność właściwą mięsa reniferów 10 kBq/kg oblicz dawkę, jaką otrzymasz spożywając 200 g tego mięsa, jeśli ważysz 60 kg. Ile kg tego mięsa należałoby zjeść, aby przekroczyć dawkę 1 mSv? Biologiczny okres połowicznego zaniku ¹³⁷Cs wynosi ok. 70 dni. Jądrowy okres połowicznego zaniku ¹³⁷Cs – 30 lat.



- 7.8 Stała rozpadu promieniotwórczego izotopu ^{226}Ra wynosi $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$. Ile rozpadów tego izotopu zachodzi w próbce o masie 1 mg?
- 7.9 Skażenie laboratorium izotopem ^{24}Na miało aktywność 100 razy większą od dopuszczalnej. Po ilu dniach będzie można znów korzystać z laboratorium? Okres połowicznego zaniku ^{24}Na wynosi 15 godzin.
- 7.10 Awaria reaktora skutkuje m.in. znaczną emisją izotopu ^{131}I , który może być wchłaniany przez tarczycę bezpośrednio lub drogą pośrednią, gdy pije się mleko skażone tym izotopem. Zastanówmy się więc, jaką dawkę otrzyma tarczyca przy założeniu, że przez 20 dni wypijasz dziennie 1,2 l skażonego mleka o aktywności ^{131}I wynoszącej 1000 Bq/l? (Dla porównania: mleko nieskażone jodem ma aktywność rzędu 40 Bq/l, wynikającą z zawartości naturalnego promieniotwórczego izotopu potasu ^{40}K – ta niewielka aktywność wchłaniana jest przez całe ciało, a nie przez lekką tarczycę.) Przyjmij, że izotop ^{131}I jest w całości pochłaniany w tarczycy, a jego efektywny okres połowicznego zaniku to 8 dni. Tarczyca ma masę ok. 25 g. Wiemy, że ^{131}I emituje cząstki β o energii maksymalnej 0,6 MeV i kwanty γ o energii 0,36 MeV.

Rozdział 8. Biologiczny wpływ promieniowania na organizmy

- 8.1 Średnia roczna dawka promieniowania pochłonięta przez statystycznego Polaka podczas badań rentgenowskich to około 0,5 mSv, a dawka pochłonięta w wyniku działania energetyki jądrowej i próbnych wybuchów jądrowych to 0,01 mSv. Przyjmij, że te dwie dawki wspólnie z dawką pochodzącą od tła (2,5 mSv/rok) stanowią całkowitą roczną dawkę pochłoniętą. Jaki jest procentowy udział każdej z wymienionych dawek w pochłoniętej rocznej dawce promieniowania? Przedstaw wynik w formie graficznej.
- 8.2 Wymień charakterystyczne uszkodzenia DNA.
- 8.3 Jaki jest główny mechanizm uszkodzeń DNA promieniowaniem jonizującym?
- 8.4 Od jakich czynników zależą efekty napromieniania?
- 8.5 Który organizm będzie bardziej radioczuły: skorupiaka czy owada? Uzasadnij swą odpowiedź.
- 8.6 Czym się różnią efekty deterministyczne od stochastycznych?
- 8.7 Opisz jakie objawy chorobowe zaliczamy do efektów deterministycznych, a jakie do statystycznych?
- 8.8 Dawka powyżej 20 Gy na całe ciało skutkuje tzw. zespołem mózgowo-naczyniowym. Opisz jego objawy.
- 8.9 Jaki wpływ na organizm ma zastąpienie jednorazowej, dużej dawki promieniowania wieloma, mniejszymi rozłożonymi w czasie (ale o sumarycznej takiej samej wartości)? Wyjaśnij, dlaczego występują różnice.
- 8.10 Poszukaj informacji, dlaczego w minionych latach u pracowników malujących wskazówki zegarków farbą radową często obserwowano objawy choroby popromiennej?

Rozdział 9.

Promieniowanie środowiska

- 9.1 Wyjaśnij, na czym polega zjawisko promieniotwórczości naturalnej?
- 9.2 Które z poniższych zdań jest prawidłowe?
- Wszędzie na Ziemi promieniowanie tła jest jednakowe.
 - Zazwyczaj w górach promieniowanie tła jest większe niż na nizinach (z powodu większej ilości odsłoniętych skał granitowych i mniejszej warstwy atmosfery chroniącej przed promieniowaniem kosmicznym).
 - Zazwyczaj na nizinach jest większe promieniowanie tła niż w górach (z powodu mniejszej odległości do środka Ziemi).
 - Poziom promieniowania tła jest podobny na terenach górskich i na nizinach, i zależy jedynie od fauny i flory.
- 9.3 Jaka jest wielkość średniej dawki pochodzącej od promieniowania naturalnego w Polsce?
- 9.4 Co stanowi główny składnik tego promieniowania i ile wynosi w przybliżeniu jego wkład do dawki?
- 9.5 Czym się różni dozymetria od spektrometrii?
- 9.6 Jakie znasz przyczyny skażeń?
- 9.7 Jaki jest największy możliwy zasięg w powietrzu promieniowania β z naturalnych izotopów? Wskazówka proszę sprawdzić w tablicach promieniowanie β nuklidów z szeregu ^{232}Th .
- 9.8 A jaki jest zasięg w powietrzu promieniowania alfa z uranu i radu?
- 9.9 Wyjaśnij pojęcie „izotopy promieniotwórcze starsze niż świat”. Podaj przykłady takich izotopów.

Rozdział 10.

Detektory promieniowania jonizującego

- 10.1 Wymień znane ci rodzaje detektorów promieniowania jonizującego.
- 10.2 Czym różni się komora jonizacyjna od detektora Geigera-Müllera?
- 10.3 Korzystając z licznika Geigera-Müllera możemy:
 - a) dowiedzieć się tylko o fakcie zaistnienia jonizacji,
 - b) poznać energię zarejestrowanej cząstki,
 - c) zidentyfikować konkretny izotop promieniotwórczy,
 - d) określić skład chemiczny badanej próbki.
- 10.4 Czym musi się zasadniczo różnić detektor promieniowania α od detektora promieniowania β ?
- 10.5 Co rozumiemy przez czas martwy detektora?
- 10.6 Jaki jest typowy czas martwy detektora Geigera-Müllera?
- 10.7 Komora pęcherzykowa jest detektorem, który umożliwia zarejestrowanie toru ruchu cząstek stanowiących promieniowanie jonizujące. Zaproponuj doświadczenie umożliwiające rozróżnienie dwóch źródeł promieniowania, gdy jedno emituje tylko cząstki α , zaś drugie – tylko promieniowanie β .
- 10.8 Opisz charakterystykę impulsowo-napięciową detektora Geigera-Müllera i podaj jej wyjaśnienie.
- 10.9 Które izotopy mogą być zastosowane do detekcji neutronów?
- 10.10 Wyjaśnij jaka jest zasada działania detektora scyntylacyjnego?

Rozdział 11.

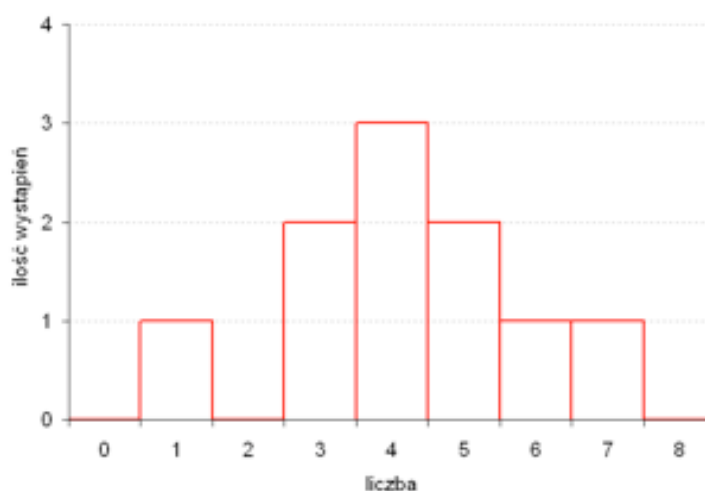
Pomiar promieniowania jonizującego

- 11.1 Do czego służy dyskryminator impulsów?
- 11.2 W jaki sposób możemy obniżyć szumy elektroniki?
- 11.3 Który z opisów propagacji sygnału w układzie pomiarowym jest błędny:
- a) detektor → wzmacniacz → dyskryminator → licznik,
 - b) detektor → przedwzmacniacz → wzmacniacz → analizator wielokanałowy,
 - c) detektor → przedwzmacniacz → wzmacniacz → analizator jednokanałowy → licznik,
 - d) detektor → dyskryminator → wzmacniacz → licznik?
- 11.4 Jaką funkcję spełnia element układu pomiarowego o nazwie analizator jednokanałowy i czym różni się od analizatora wielokanałowego?
- 11.5 Co to jest układ koincydencyjny?
- 11.6 Jakiego rodzaju kalibracje przyrządu należy przeprowadzić przed przystąpieniem do precyzyjnego pomiaru widma energetycznego?
- 11.7 Opisz wpływ czynników zewnętrznych na jakość pomiarów promieniowania jonizującego.
- 11.8 Jak działa analizator wielokanałowy?
- 11.9 Wyjaśnij zasadę kalibracji energetycznej układu pomiarowego.

Rozdział 12.

Opracowywanie danych pomiarowych

- 12.1 W wyniku pewnego losowania otrzymujemy różne liczby. 1, 6 i 7 wypadają z prawdopodobieństwami równymi po 10%, 3 i 5 z prawdopodobieństwami po 20%, a 4 z prawdopodobieństwem 30% (odpowiada to rozkładowi prawdopodobieństwa z rysunku poniżej). Przyjmując prawdopodobieństwo jako wagę obliczyć średnią ważoną z tego rozkładu.



- 12.2 [zadanie do wykonania w klasie] Zaopatrzcie się w porcję fasoli „Jaś” ważącą ok. 1 kg. Za pomocą linijki szkolnej wykonajcie pomiary długości wszystkich ziaren w tej porcji (możecie podzielić się na 2-3 osobowe zespoły, z którego każdy będzie mierzył niewielką część wszystkich ziaren). Z otrzymanych wyników sporządźcie wspólny histogram. Co możecie powiedzieć o swojej fasoli na jego podstawie?
- 12.3 Rzucamy dwiema sześciennymi kostkami i jako wynik losowania bierzemy sumę oczek z obu kostek. Otrzymane wartości mogą więc zawierać się w przedziale od 2 do 12 włącznie.
- Obliczyć, z jakim prawdopodobieństwem wypada każda z tych wartości.
 - Wykonać histogram takiego teoretycznego rozkładu prawdopodobieństwa.
 - Jak można nazwać taki rozkład? Czy bardziej przypomina on rozkład jednorodny, czy normalny?
 - Przy pomocy prawdziwych kostek do gry sprawdzić, jak w praktyce wygląda taki histogram po 10, 36 i 100 losowaniach. Po ilu zaczyna on przypominać obliczony wcześniej rozkład teoretyczny?

- 12.4 Zmierz długość ławki szkolnej za pomocą 5-metrowej miary budowlanej oraz za pomocą linijki szkolnej. Porównaj otrzymane wyniki. Uwzględnij niepewności pomiarowe.
- 12.5 Zmierz długość sali szkolnej korzystając z jednostki, jaką jest twoja własna stopa. Otrzymany wynik przelicz na metry. Pamiętaj o niepewności pomiaru długości swojej stopy i propagacji błędów.
- 12.6 Z dokładnego woltomierza odczytano napięcie U równe 15,529786 V. Ze wskazówek w instrukcji obsługi wyliczono, że niepewność graniczna tego wyniku to 0,035875 V. W jaki sposób należy zapisać wynik pomiaru?
- 12.7 Wykonano serię 10 pomiarów przyspieszenia ziemskiego i uzyskano wartości przedstawione w tabeli:

numer pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
g [m/s ²]	10,5	9,6	9,9	10,4	9,9	9,5	9,9	10,1	10,2	10,0

Zakładając, że wszystkie pomiary zostały dokonane z tą samą dokładnością, znajdź średnią wartość przyspieszenia ziemskiego oraz odchylenie standardowe tej średniej.

- 12.8 Wyznaczoną w poprzednim zadaniu wartość przyspieszenia ziemskiego porównać z wartością tablicową ($g = 9,81$ m/s²).
- Czy wynik ten należy odrzucić jako błędny, uwzględniając przedział ufności 1σ (jeden sigma)?
 - A jak jest w przedziale ufności 2σ (dwa sigma)?
- 12.9 Doświadczenie polegało na badaniu zmian napięcia U na rezystorze w zależności od natężenia prądu I przez niego przepływającego. Uzyskano wyniki, które przedstawia tabela:

I [mA]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U [V]	0,2	5,0	5,1	9,2	6,9	10,1	13,4	12,0	16,7	18,3

Niepewności zmierzonych napięć w kolejnych pomiarach wynoszą 1 V i są jednakowe dla wszystkich punktów pomiarowych. Oblicz opór rezystora stosując do wyników metodę najmniejszych kwadratów.

- 12.10 Dokonano pomiarów promieniowania jonizującego w różnych odległościach od próbki materiału promieniotwórczego. Wyniki przedstawia tabela:

odległość [cm]	50	45	40	34	30	25	20	15	10	5
liczba zliczeń	9	11	14	18	25	36	56	100	225	900

- Przedstaw na wykresie zależność liczby zliczeń detektora od odległości od próbki.
- Przeanalizuj otrzymaną wartość i wyznacz liczbę zliczeń zarejestrowanych przez detektor w odległości 80 cm od próbki.
- Jaki rodzaj promieniowania – α czy β – badali studenci? Odpowiedź uzasadnij.

12.11 Prędkość mionu w próżni wynosi $0,99c$. Oblicz błąd względny jaki zostanie popełniony, jeśli energię kinetyczną mionu obliczylibyśmy według wzorów mechaniki klasycznej. Masa mionu $0,1134 \text{ u}$, $m_0c^2 = 105,66 \text{ MeV}$.

Rozdział 13.

Urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące

- 13.1 Lampa kineskopowa zasilana jest napięciem 15 kV.
- Oblicz prędkość elektronów.
 - Czy można stosować do nich przybliżenie nierelatywistyczne?
 - Elektrony te przechodzą przez pole elektryczne o natężeniu 10 kV/m i długości 20 cm. Jakie będzie odchylenie wiązki elektronów w pionie na wyjściu z pola?
- 13.2 Oblicz promień okręgu, po którym będzie poruszała się cząstka α wpadająca z prędkością $9 \cdot 10^7$ m/s w pole magnetyczne o indukcji 7 T. Cząstka porusza się w kierunku prostopadłym do wektora indukcji pola magnetycznego.
- 13.3 Oblicz, z jaką prędkością będą poruszał się proton opuszczający cyklotron, w którym wytworzone jest pole magnetyczne o indukcji 0,9 T? Średnica duantów wynosi 2 m.
- 13.4 Do lampy rentgenowskiej przyłożono napięcie 30 kV.
- W jakim zakresie energii będzie zmieniało się widmo promieniowania hamowania?
 - Ile elektronów znajduje się w wiązce, jeśli natężenie prądu lampy wynosi 1 mA?
 - Zakładając, że na antykatodę lampy pada 10^9 elektronów na sekundę, a 99% ich energii zamienia się w ciepło, oblicz moc promieniowania hamowania emitowanego z tej lampy.
- 13.5 Opisz działanie lampy rentgenowskiej.
- 13.6 Czy w lampie rentgenowskiej znajdują się elementy akceleratora cząstek naładowanych?
- 13.7 Czym różni się cyklotron od synchrotronu?
- 13.8 Wyjaśnij pojęcie promieniowania charakterystycznego.
- 13.9 Jakie badania wykonuje się z użyciem akceleratora zespołu akceleratorów LHC?

Rozdział 14.

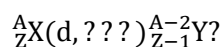
Reakcje jądrowe i sztuczna promieniotwórczość

14.1 Czy promieniowanie naturalnego izotopu, występującego w naszym środowisku, różni się od promieniowania izotopu o identycznych liczbach Z i A , wytworzonego w cyklotronie?

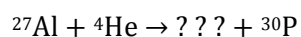
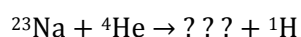
14.2 Co oznacza termin „przekrój czynny na reakcję”?

14.3 Wyobraźmy sobie, że mamy materiał o gęstości atomowej $N = 10^{23}$ atomów/cm³. Na próbkę tego materiału o grubości $2\text{ }\mu\text{m}$ i powierzchni 1 cm^2 pada strumień neutronów $2 \cdot 10^7$ neutronów/(cm²s). Przekrój czynny na wywołanie reakcji, w której powstaje z jądra tego materiału nuklid X wynosi 2 mb . Ile jąder materiału X powstanie w trakcie napromieniania trwającego 2 godziny? Załóż, że okres połowicznego zaniku nuklidu X jest wielokrotnie dłuższy od czasu naświetlania materiału.

14.4 Jaka cząstka powstanie w reakcji



14.5 Uzupełnij zapisy poniższych reakcji:



14.6 Okres połowicznego zaniku izotopu ${}^{60}\text{Co}$ to 5,3 lat. Izotop ten otrzymujemy w drodze wychwytu radiacyjnego ${}^{59}\text{Co} + n \rightarrow {}^{60}\text{Co} + \gamma$. Ile atomów powinno być w próbce, aby uzyskać aktywność 1 Ci ($3,7 \cdot 10^{10}$ Bq)?

14.7 Wyjaśnij na czym polega spalacja?

14.8 Korzystając z dostępnej literatury opisz procesy i reakcje zachodzące na Słońcu.

Rozdział 15.

Reakcja rozszczepienia

- 15.1 Co to jest reakcja rozszczepienia i czym różni się od emisji promieniowania α ?
- 15.2 Dlaczego rozszczepienie jądra uranu ^{235}U może powodować zachodzenie reakcji łańcuchowej?
- 15.3 Z rozszczepienia jednego jądra atomowego ^{235}U w porównaniu ze spalaniem w tlenie jednego atomu węgla otrzymujemy:
- a) 50 milionów razy więcej energii,
 - b) 100 razy więcej energii,
 - c) tyle samo energii,
 - d) o połowę mniej energii.
- 15.4 Zakładając, że rozszczepienie ^{235}U zachodzi w czasie 10^{-15} s, oblicz moc w pojedynczym rozszczepieniu tego nuklidu.
- 15.5 Korzystając z mas nuklidów oceń wartość defektu masy w procesie rozszczepienia jądra ^{235}U na ^{94}Sr i ^{140}Xe . Ile neutronów powstaje przy takim rozszczepieniu (należy uwzględnić ich obecność w obliczeniach)?
- 15.6 Wyjaśnij pojęcie masy krytycznej.
- 15.7 Co to są neutrony opóźnione? Zastanów się, jaką rolę (pozytywną czy negatywną, o ile w ogóle) mogą one odgrywać w reaktorze jądrowym?
- 15.8 Wyjaśnij, dlaczego izotop ^{238}U nie jest obecnie powszechnie stosowany jako paliwo jądrowe?

Rozdział 16.

Reaktor jądrowy i jego działanie

- 16.1 Ile badawczych reaktorów jądrowych działa obecnie w Polsce (stan na rok 2014)?
- a) 0,
 - b) 1,
 - c) 2,
 - d) 3.
- 16.2 W reaktorach jądrowych wykorzystywana jest reakcja:
- a) syntezy,
 - b) rozszczepienia,
 - c) podstawienia,
 - d) utleniania.
- 16.3 Pręty bezpieczeństwa w reaktorze służą do:
- a) kontroli temperatury rdzenia,
 - b) spowalniania neutronów,
 - c) sterowania mocą reaktora,
 - d) bezpiecznego wyłączenia reaktora.
- 16.4 W wyniku awarii w elektrowni jądrowej może dojść do wybuchu:
- a) chemicznego,
 - b) jądrowego,
 - c) termojądrowego.
 - d) Każdego z powyższych rodzajów.
- 16.5 Co oznacza stwierdzenie, że reaktor jest w stanie krytycznym?
- 16.6 Jakie zasadnicze czynniki należy uwzględnić, aby obliczyć efektywny współczynnik mnożenia neutronów w reaktorze?
- 16.7 Co to jest zatrucie reaktora?
- 16.8 Co rozumiemy przez proces sterowania reaktorem?
- 16.9 Czym jest reaktywność i w jakich jednostkach ją mierzymy?
- 16.10 Jaką rolę pełnią w reaktorze neutrony opóźnione?
- 16.11 Jaki w przybliżeniu procent bilansu neutronów w reaktorze stanowią neutrony opóźnione?

- 16.12 Jednostką czego jest dolar w technice reaktorowej?
- 16.13 Jaka musi być wartość reaktywności, aby reaktor pracował w stanie krytycznym?
- 16.14 Zastanów się, czy reaktor bez reflektora w rdzeniu mógłby pracować?
- 16.15 Po upływie roku pracy reaktora wypalenie paliwa w reaktorze wynosi 40 MWd/kg. Całkowita masa paliwa w rdzeniu wynosi 1 t. Jaka jest moc cieplna tego reaktora?
- 16.16 Wiedząc, że okres połowicznego zaniku ^{235}U wynosi ok. 700 milionów lat, a ^{238}U 4,5 miliarda lat oraz wiedząc, że dzisiejsza koncentracja ^{235}U w skorupie ziemskiej wynosi 0,72 %, oblicz koncentrację tego izotopu 2 miliardy lat temu.

Rozdział 17.

Reaktory w energetyce jądrowej

- 17.1 Omów przemiany energii zachodzące podczas pracy elektrowni jądrowej.
- 17.2 Ile elektrowni jądrowych działało lub działa w Polsce?
- 0,
 - 1,
 - 2,
 - 3.
- 17.3 Jakie cechy wyróżniają różne typy reaktorów?
- 17.4 Czym różni się reaktor PWR od BWR?
- 17.5 Jakie są zasadnicze różnice między reaktorami badawczymi a energetycznymi?
- 17.6 Na czym polega reakcja spalacji i jak można do niej doprowadzić?
- 17.7 W jaki sposób działa reaktor impulsowy?
- 17.8 Niech moc cieplna reaktora wynosi 3 000 MW, elektryczna zaś 1 000 MW. Rdzeń reaktora zawiera 60 000 prętów paliwowych, w których łączna masa tlenku uranu (UO_2) wynosi 90 000 kg, sam uran zaś ma wzbogacenie 3 % ^{235}U . Oblicz
- sprawność elektrowni,
 - szybkość reakcji rozszczepienia w rdzeniu reaktora,
 - ile kg ^{235}U zostanie rozszczepionych w ciągu roku pracy elektrowni? Zinterpretuj otrzymany wynik.
- Przypominamy, że energia wyzwolana w procesie rozszczepienia to ok. 200 MeV.
- 17.9 Omów budowę reaktora RBMK. Wyjaśnij, jakie jego cechy przyczyniły się do awarii w elektrowni jądrowej w Czarnobylu?

Rozdział 18.

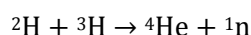
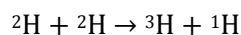
Postępowanie z wypalonym paliwem jądrowym

- 18.1 Podaj zasadnicze etapy cyklu paliwowego.
- 18.2 Dlaczego wypalone paliwo jądrowe, przed oddaniem do składowania lub przerobu, musi być przez pewien czas przechowywane pod wodą w basenie przechowawczym.
- 18.3 Który z etapów cyklu paliwowego nie stwarza problemu odpadów promieniotwórczych?
- 18.4 Czym się różni otwarty cykl paliwowy od zamkniętego?
- 18.5 Wymień wady i zalety cyklu zamkniętego?
- 18.6 Czym się różni transmutacja od spalania odpadów promieniotwórczych?
- 18.7 Wymień, jakie warunki powinno spełniać składowisko wypalonego paliwa?
- 18.8 Opisz koncepcję instalacji ADS.

Rozdział 19.

Synteza jądrowa

- 19.1 Reakcje syntezy jądrowej we wnętrzu Słońca nie wymagają obecności pól magnetycznych. W jaki sposób silne pole magnetyczne pozwala realizować syntezę w warunkach ziemskich?
- 19.2 Wyjaśnij dlaczego do przeprowadzenia syntezy w warunkach ziemskich wymagana jest wyższa temperatura niż temperatura, w której taka reakcja zachodzi na Słońcu.
- 19.3 Co to jest plazma? Jakie rodzaje plazmy wyróżniamy?
- 19.4 Wymień możliwe zastosowania plazmy.
- 19.5 Oblicz energię uwolnioną w reakcjach:



Potrzebne informacje: Masa jądra wodoru jest równa 1,007276 u, deuteru – 2,013553 u, trytu – 3,016049 u, ${}^4\text{He}$ – 4,002604 u, neutronu – 1,001506 u. 1 u odpowiada energii 931,494 MeV.

- 19.6 Podać ilość ciepła (w dżulach), które wydzieliliby się z reakcji syntezy gdy powstanie 1 gram helu. Porównaj znaną wartość z ilością ciepła, które zostanie wydzielone podczas całkowitego rozszczepienia 1 grama ${}^{235}\text{U}$ przyjmując, że podczas całkowitego rozszczepienia 1 jądra ${}^{235}\text{U}$ średnio wydzielą się energia $E = 200 \text{ MeV}$.
- 19.7 Na pelet zawierający takie same ilości atomów deuteru i trytu podziałano impulsowo laserem, w wyniku czego 2 000 razy wzrosła jego początkowa gęstość $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$.
- Określ liczbę cząstek na jednostkę objętości przy nowej gęstości. Masy molowe deuteru i trytu wynoszą odpowiednio $M_{\text{mol,d}} = 2 \text{ g/mol}$, $M_{\text{mol,t}} = 3 \text{ g/mol}$.
 - Jak długo musi być utrzymana taka koncentracja cząstek n , przy spełnieniu kryterium Lawsona $n\tau > 10^{20} \text{ s/m}^3$?
- 19.8 Omów projekt ITER.

Rozdział 20.

Zastosowania medyczne

- 20.1 Jaki mechanizm działania izotopów promieniotwórczych stosowany jest w diagnostyce, a jaki w terapii?
- 20.2 Gamma kamera to urządzenie diagnostyczne do badań narządów, w których zgromadził się radioizotop. Emiterami jakiego promieniowania (α , β czy γ) powinny być radioizotopy podawane pacjentowi, aby można było do badania użyć gamma kamery? Odpowiedź uzasadnij.
- 20.3 Na czym polega technika PET?
- 20.4 Jakie szczególne zalety ma technika PET?
- 20.5 Co to jest terapia hadronowa i na jakim mechanizmie jest ona oparta?
- 20.6 Opisz zasadę działania generatora molibdenowo-technetowego.
- 20.7 Jakie są różnice pomiędzy tomografią transmisyjną i emisyjną? Podaj przykłady ich zastosowania obu tych technik.
- 20.8 Jakie są różnice pomiędzy teleradioterapią i brachyterapią? Wskaż ich wady i zalety.

Rozdział 21.

Zastosowania w badaniach naukowych

- 21.1 Dlaczego do określania wieku skał używa się izotopów o długim czasie połowicznego zaniku?
- 21.2 Okres połowicznego zaniku izotopu ^{14}C wynosi 5 730 lat. Wszystkie materiały organiczne zawierają obecnie ten izotop w koncentracji 16 rozpadu/min/g (czyli $^{14}\text{C}/\text{C} \approx 10^{-10}$ atom/atom) czystego węgla. W wykopanym kawałku drewna o masie 2 g stwierdzono aktywność 11,8 rozpadów/min. Wiedząc, że zawartość węgla w drewnie wynosiła 44 % wagowych wyznacz wiek drewna.
- 21.3 W badaniach kości znalezionej w prehistorycznym grobie stwierdzono, że jej radioaktywność spowodowana jest rozpadem izotopu węgla ^{14}C . W detektorze zmierzono liczbę rozpadów na minutę przypadającą na 1 gram węgla, która była równa 12/min. Podobna kość, ale współczesna, wykazała liczbę zliczeń równą 16/min. Oszacuj, z jakiego okresu pochodzi to znalezisko?
- 21.4 Spróbuj wymienić czynniki, które mogą wpływać na niedokładność oceny wieku znalezisk metodą oceny liczby nuklidów izotopu węgla ^{14}C .
- 21.5 Która cecha promieniowania neutronowego jest wykorzystywana do badań struktury ciał stałych?
- 21.6 Jak zmieni się długość fali neutronów, jeśli ich energia kinetyczna wzrośnie 10 000 razy?
- 21.7 Do czego służy niskokątowe rozpraszanie neutronów?
- 21.8 Czym różni się technika tomografii od autotomografii?
- 21.9 Jakich technik używa się do badań rozkładów wewnętrznych pól magnetycznych w materii?
- 21.10 Opisz podstawowe cechy neutronowej analizy aktywacyjnej.
- 21.11 Na czym polega technika PIXE?

Rozdział 22.

Zastosowania przemysłowe

- 22.1 Które z wymienionych urządzeń wykorzystuje promieniowanie jonizujące:
- a) czujka dymu,
 - b) kuchenka mikrofalowa,
 - c) pilot do telewizora,
 - d) telefon komórkowy?
- 22.2 Które z przemysłowych zastosowań promieniowania jonizującego uważasz za najważniejsze.
- 22.3 Wymień zalety utrwalania żywności z wykorzystaniem promieniowania jonizującego.
- 22.4 Dla wyznaczenia masy rtęci w pojemniku wlano do niej izotop ^{203}Hg ($T_{1/2} = 47$ dni, aktywność właściwa 40 kBq/kg) o aktywności $0,1 \text{ kBq}$. Po całkowitym wymieszaniu się wyznaczono średnią aktywność właściwą 2 kBq/kg . Oblicz masę rtęci w pojemniku?
- 22.5 Grubość połówkowa ołowiu wynosi $1,5 \text{ mm}$ dla fotonów o energii 300 keV . Oblicz liniowy współczynnik absorpcji dla ołowiu.
- 22.6 Niech materiał o gęstości 730 kg/m^3 i grubości 4 mm zawiera 14% wagowych wodoru i 86% wagowych węgla. Masowe współczynniki pochłaniania wynoszą dla tych pierwiastków odpowiednio $1,50 \text{ m}^2/\text{kg}$ i $0,75 \text{ m}^2/\text{kg}$. Oblicz zmniejszenie natężenia promieniowania β po przejściu przez ten materiał.
- 22.7 Izotopowe źródło wytwarza 10 W mocy elektrycznej i zawiera izotop ^{210}Po o aktywności $2 \cdot 10^{14} \text{ Bq}$. Średnia energia cząstek α emitowanych w rozpadzie wynosi $5,3 \text{ MeV}$. Jaka jest wydajność źródła?
- 22.8 Pierścień żelazny o masie 50 g pracuje w silniczkach, w którym jest smarowany podczas pracy 3 litrami oleju. Chciano dowiedzieć się, jaka część żelaza ulega wytarciu. W tym celu napromieniono w pierścień w reaktorze, dzięki czemu uzyskano izotop ^{59}Fe o okresie połowicznego zaniku 45 dni. Aktywność pierścienia wynosiła $3,7 \cdot 10^5 \text{ Bq}$. Po 40 dniach jego pracy sprawdzono, że w 100 ml oleju aktywność wynosi 14 rozpadów/min. Ile żelaza zostało startych przez ten czas?

Rozdział 23.

Odpady promieniotwórcze i ich transport. Likwidacja elektrowni jądrowej

- 23.1 Jak klasyfikujemy odpady promieniotwórcze?
- 23.2 Jakimi podstawowymi zasadami kierujemy się w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi?
- 23.3 Gdzie znajduje się obecne (2014 r.) Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych?
- 23.4 O co należy zadbać przy wybieraniu lokalizacji składowiska odpadów promieniotwórczych?
- 23.5 W jaki sposób postępujemy z wypalonym paliwem jądrowym?
- 23.6 Wymień podstawowe typy pojemników na odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo.
- 23.7 Wymień miejsca powstawania odpadów promieniotwórczych.
- 23.8 Opisz postępowanie z ciekłymi odpadami promieniotwórczymi.

Rozdział 24.

Porównanie różnych źródeł energii elektrycznej

- 24.1 Zastanów się, jakie są przyczyny coraz wyższych cen energii pochodzącej z paliw kopalnych?
- 24.2 Wymień podstawowe rodzaje elektrowni.
- 24.3 Porównaj podstawowe zalety oraz wady elektrowni gazowych i węglowych.
- 24.4 Jakie są zalety i wady elektrowni wiatrowych w stosunku do węglowych?
- 24.5 Przedstaw w postaci tabeli korzyści i zagrożenia płynące z energetyki jądrowej.
- 24.6 Czy w Polsce budowanie elektrowni wodnych rozwiązałoby problem potrzebnej energii?
- 24.7 Jak byś oceniał(a) opłacalność różnych elektrowni – spróbuj uzasadnić swoją odpowiedź.
- 24.8 Poszukaj w dostępnych ci źródłach informacji nt. brytyjskiego i włoskiego modelu energetyki. Czy któryś z nich sprawdziłby się w Polsce?
- 24.9 Czy w skali gospodarki całego kraju elektrownie na biomasę mogą być uważane za główne źródło energii elektrycznej dla przemysłu? Uzasadnij swoją odpowiedź.
- 24.10 Zastanów się i uzasadnij, które ze znanych ci typów elektrowni lepiej nadają się do zasilania w energię elektryczną dużych okręgów przemysłowych lub metropolii, a które mogą być stosowane w niewielkich miejscowościach?