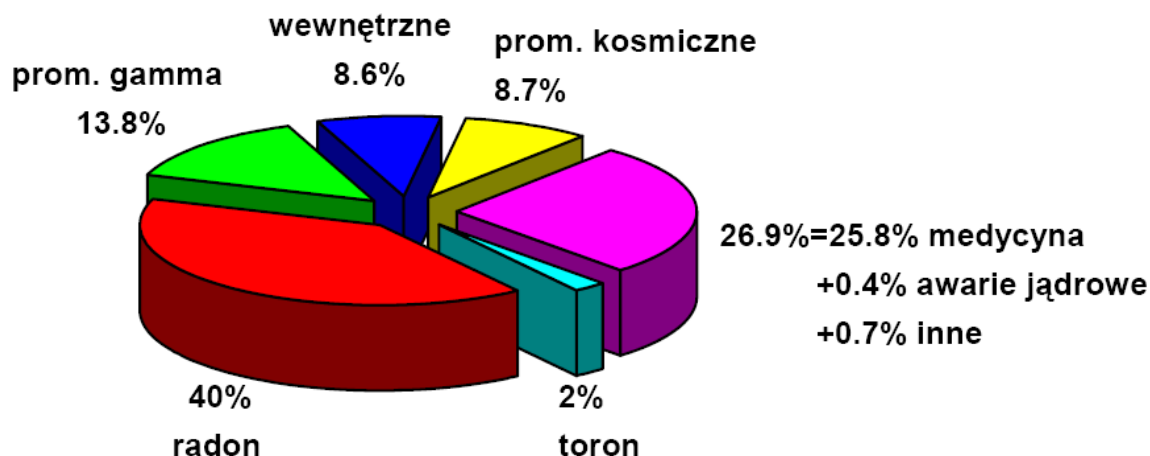


## Ćwiczenie 121 BADANIE ZAWARTOŚCI RADONU W POWIETRZU Instrukcja dla studenta

### I. WSTĘP

W skorupie ziemskiej znajduje się promieniotwórczy uran-238 ( $^{238}\text{U}$ ), wytworzony wiele miliardów lat temu. Przetrwał on do dnia dzisiejszego dzięki długiemu czasowi połowicznego rozpadu, który wynosi  $T_{1/2} = 4.5 \times 10^9$  lat, co jest porównywalne z wiekiem Układu Słonecznego. Rozpad  $^{238}\text{U}$  prowadzi do powstania promieniotwórczego izotopu radonu-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) [1], który będąc gazem, dyfunduje poprzez glebę i miesza się z powietrzem. Dalsze rozpady  $^{222}\text{Rn}$  prowadzą do powstania krótkożyciowych izotopów promieniotwórczych, m.in. polonu-218 ( $^{218}\text{Po}$ ), ołowiu-214 ( $^{214}\text{Pb}$ ), bizmutu-214 ( $^{214}\text{Bi}$ ) i polonu-214 ( $^{214}\text{Po}$ ).

Celem ćwiczenia jest pomiar stężenia  $^{218}\text{Po}$ , znajdującego się w naszym otoczeniu, a gromadzącego się w zamkniętych pomieszczeniach. Ważnym elementem zajęć jest również zapoznanie się z zasadą działania licznika scyntylicyjnego oraz fotopowielacza, jako najprostszych urządzeń stosowanych do pomiaru promieniowania w fizyce jądrowej.



**Rysunek 1. Wkład do dawki promieniowania jonizującego od różnych źródeł.** Wewnętrzne – oznacza wkład od pierwiastków promieniotwórczych obecnych w naszym ciele, np. od potasu-40 ( $^{40}\text{K}$ ); toron - wkład od  $^{220}\text{Rn}$  i produktów jego rozpadu; radon - wkład od  $^{222}\text{Rn}$  i produktów jego rozpadu; prom. gamma - promieniowanie od gruntu i budynków (materiały budowlane). Dane dotyczą sytuacji w Polsce w 1998 r [2].

### Źródła promieniowania jonizującego

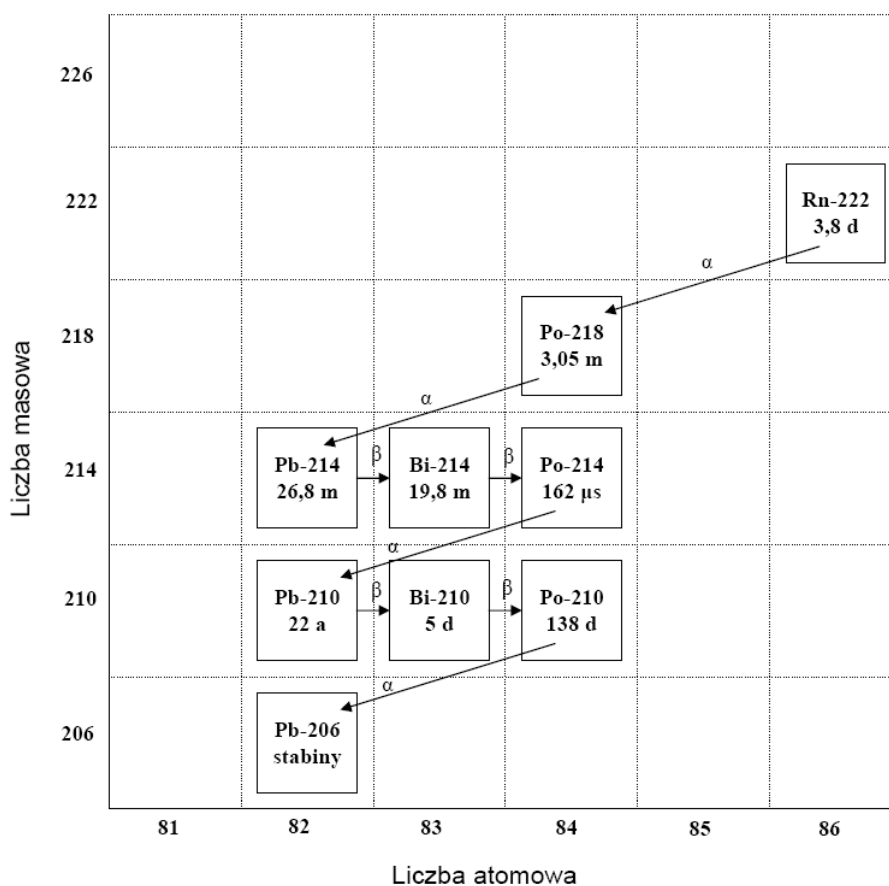
Promieniowanie jonizujące (wywołujące jonizację ośrodka materialnego), przechodząc przez wybrany obiekt, np. ciało człowieka, zostaje częściowo lub całkowicie pochłonięte, oddając mu swoją energię. Źródła promieniowania jonizującego w naszym środowisku to:

- 1) Naturalne promieniowanie środowiska, związane np. z obecnością uranu czy potasu-40 ( $^{40}\text{K}$ ) w skorupie ziemskiej;
- 2) Promieniowanie kosmiczne i wytwarzane przez nie, w atmosferze lub na powierzchni Ziemi, izotopy promieniotwórcze;
- 3) Źródła sztuczne, np. związane z diagnostyką medyczną.

Rys.1 pokazuje, że najbardziej istotnym źródłem promieniowania jonizującego jest radon (40%). Zwróć również uwagę na duży udział diagnostyki medycznej (26%).

### Radon

Radon – gaz szlachetny, bezbarwny, bezwonny; o liczbie atomowej  $Z = 86$ . Wszystkie izotopy radonu są promieniotwórcze. Zajmiemy się jedynie izotopem  $^{222}\text{Rn}$  i jego krótkożyciowymi produktami rozpadu ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , i  $^{214}\text{Po}$  – patrz rys.2), gdyż ich wkład do dawki pochodzącej od radonu jest największy.



**Rysunek 2. Schemat rozpadu  $^{222}\text{Rn}$ .** W kwadratach podany jest okres połowicznego rozpadu. Strzałki poziome oznaczają rozpad  $\beta$ , zaś ukośne rozpad  $\alpha$ . Pozostałe oznaczenia: Rn – radon, Po – polon, Bi – bizmut, Pb – ołów, m – minuty, d – dni, a – lata.

Produkty rozpadu  $^{222}\text{Rn}$  "przylepiają się" do unoszących się w powietrzu aerozoli (patrz dalej - tekst w ramce); wdychamy je z powietrzem do płuc. Rozpadające się jądra emitują cząstki  $\alpha$ ,  $\beta$  oraz kwanty  $\gamma$ . Wiemy, że promieniowanie  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ , przechodząc przez materię powoduje jonizację. W przypadku wdychania radonu i produktów jego rozpadu, jonizacja może spowodować uszkodzenie komórek płuc, co może prowadzić do zwiększenia prawdopodobieństwa wystąpienia choroby nowotworowej.

*Aktywność źródeł promieniotwórczych* – liczba rozpadów jąder w jednostce czasu. W układzie SI mierzona jest w bekerelach (Bq); 1 Bq = 1 rozpad/s.

*Aerozole atmosferyczne* – ciała stałe lub ciecze rozproszone w powietrzu. Średnica cząstek aerozoli jest rzędu  $10^{-9}$  –  $10^{-5}$  m. Przykłady aerozoli: dymy, mgły.

*Jonizacja* – powstawanie jonów dodatnich, w wyniku oderwania elektronu od obojętnego atomu lub cząsteczki, pod wpływem promieniowania, wysokiej temperatury, bombardowania elektronami, itp.

Izotop  $^{222}\text{Rn}$  powstaje w łańcuchu rozpadów  $^{238}\text{U}$ , zawartego w skorupie ziemskiej. Do pomieszczeń radon przenika z gleby poprzez nieszczelności w fundamentach. Stąd szczególnie duże stężenie Rn możemy spotkać w piwnicach. Drugim źródłem Rn w pomieszczeniach mogą być materiały budowlane, jeśli zawierają rad, uran lub tor. Takim materiałem jest np. granit oraz bloki produkowane w oparciu o żużle i popioły powstałe ze spalania węgla kamiennego.

Stężenie radonu w polskich mieszkaniach wynosi średnio ok.  $50 \text{ Bq/m}^3$ . Według polskich norm, w budynkach oddawanych do użytku po 01.01.1998 r., nie powinno ono przekraczać  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Koncentracja radonu w zamkniętych pomieszczeniach jest na ogół większa od koncentracji na otwartej przestrzeni (patrz Tabela 1).

W przypadku jakichkolwiek wątpliwości, odnośnie zagrożenia substancjami radioaktywnymi, należy zwracać się do Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR).

Tabela 1. Aktywność radonu w naszym otoczeniu [3].

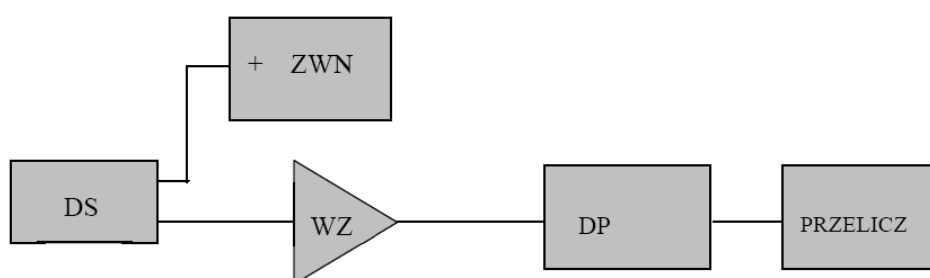
Miejsce pomiaru	Aktywność radonu [ $\text{Bq/m}^3$ ]
powietrze przy gruncie	10
wietrzony pokój	40
zamknięty pokój	80
piwnica	400

## II. APARATURA POMIAROWA

Układ pomiarowy (rys. 3) składa się z:

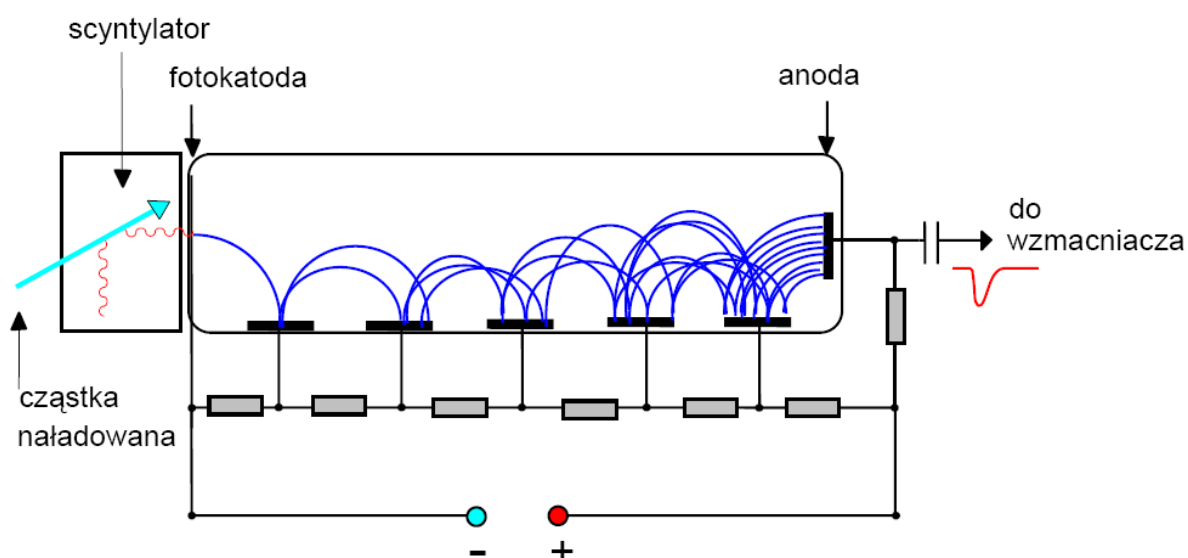
- detektora scyntylacyjnego (DS),
- zasilacza wysokiego napięcia (ZWN), zasilającego dzielnik napięcia fotopowielacza
- wzmacniacza (WZ) sygnałów z fotopowielacza,
- dyskryminatora progowego (DP), który generuje impuls, gdy na jego wejściu pojawi się sygnał, którego amplituda przekracza poziom zadany przez eksperymentatora,
- przelicznika.

Próbkę aerozoli pobieramy za pomocą odkurzacza i odpowiedniej nasadki z filtrem (specjalna tkanina).



**Rysunek 3. Schemat aparatury współpracującej z detektorem scyntylacyjnym.**

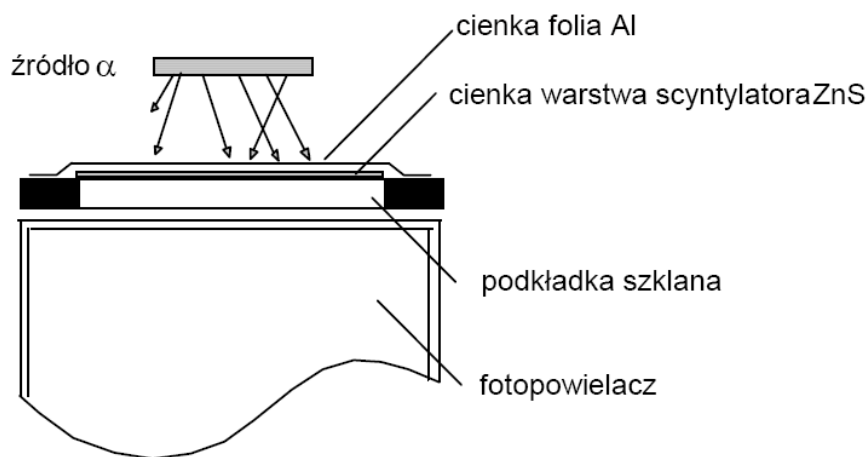
Zasadniczym elementem układu jest detektor scyntylacyjny, który składa się ze scyntylatora i fotopowielacza (rys.4).



**Rysunek 4. Scyntylator wraz z fotopowielaczem.**

### **Zasada rejestracji cząstek naładowanych**

Cząstki naładowane (np. cząstki  $\alpha$ ) wpadając do scyntylatora (rys. 4), jonizują i wzbudzają atomy lub cząsteczki scyntylatora. Wzbudzone atomy lub cząsteczki emitują następnie fotony, które rejestrowane są za pomocą fotopowielacza.



**Rysunek 5. Budowa scyntylatora ZnS**

### **Scyntylatory**

Do detekcji cząstek  $\alpha$  wykorzystujemy siarczek cynku (ZnS), w postaci cienkiej, polikrystalicznej warstwy osadzonej na płytce szklanej, przez którą błyski światła ze scyntylatora przechodzą do fotopowielacza (rys. 5). Warstwa scyntylatora przykryta jest bardzo cienką folią aluminiową (ok.  $4 \mu\text{m}$ ), aby osłonić fotopowielacz od światła zewnętrznego oraz odbijać wytworzone w scyntylatorze fotony w kierunku fotopowielacza. Grubość folii Al jest tak dobrana, aby badane cząstki  $\alpha$  mogły przez nią przejść i dotrzeć do scyntylatora.

### **Fotopowielacze**

Fotopowielacz (patrz rys. 4) jest lampą elektronową składającą się z fotokatody, dynod i anody. Fotony ze scyntylatora padając na fotokatodę mogą z niej wybić w wyniku zjawiska fotoelektrycznego elektrony. Wybite elektrony przyspieszane są w polu elektrycznym wytworzonym przez napięcie (z zasilacza wysokonapięciowego), przyłożone między fotokatodą a 1-szą dynodą. Padając na powierzchnię dynody, w wyniku emisji wtórnej, wyrzucają z niej kilka elektronów. Z kolei te elektrony, przyspieszane w polu elektrycznym wytworzonym pomiędzy 1-szą a 2-gą dynodą, padając na powierzchnię dynody, wybijają następne elektrony. Proces ten powtarza się na kolejnych dynodach. Mamy do czynienia z procesem lawinowego narastania (postęp geometryczny) liczby elektronów. Jeden elektron wybity z fotokatody może w drodze do anody zostać powielony o czynnik  $10^5 - 10^9$ . Pojawiający się na anodzie ładunek powoduje powstanie impulsu napięciowego. Impuls napięciowy po wzmocnieniu może być zarejestrowany przelicznikiem.

### III. POMIARY WRAZ Z OPISEM METODY

#### III.1. Ocena zasięgu cząstek $\alpha$

Wykorzystaj źródło  $\alpha$ -promieniotwórcze. Jak zmieni się liczba cząstek  $\alpha$ , gdy między źródłem  $\alpha$ -promieniotwórczym a detektorem umieścisz kartkę papieru? Dlaczego?

#### III.2. Pomiar aktywności $^{218}\text{Po}$ zawartego w powietrzu

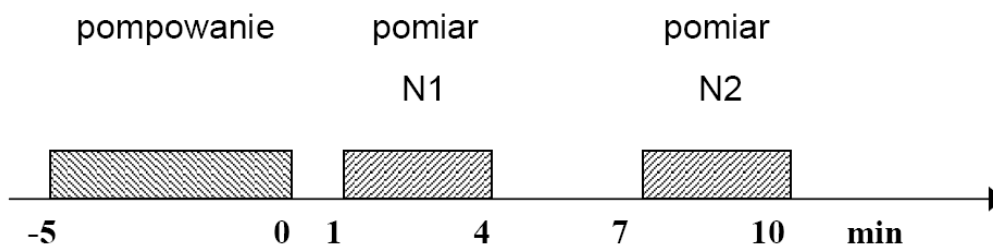
Wyznacz aktywność  $1\text{ m}^3$  powietrza, w sali na Pracowni oraz w piwnicy. Zastosuj metodę Markova [5], opisaną poniżej.

1. Pomiar prędkości  $v$  pompowania powietrza przez filtr.

Do pompowania powietrza użyj odkurzacza (z zamontowanym filtrem!). Zmierz czas pompowania worka. Do pomiaru objętości przepompowanego powietrza wykorzystaj duży worek plastikowy. Zmierz odpowiednie wielkości potrzebne do wyznaczenia objętości worka.

2. Przez 5 min pompuj powietrze przez filtr, na którym osadzają się aerozole z "przyklepionymi" do nich promieniotwórczymi produktami rozpadu  $^{222}\text{Rn}$ .

3. Filtr przenieś na detektor i wykonaj dwa pomiary liczby cząstek  $\alpha$ . Każdy pomiar trwa 3 minuty. W wyniku pomiarów uzyskujemy liczby zliczeń  $N1$  i  $N2$ . Cykl pomiarowy przedstawia rys. 6.



Rysunek 6. Cykl pomiarowy w metodzie Markova.

W cyklu pomiarowym, jak na rys. 6, aktywność  $^{218}\text{Po}$  znajdującego się w  $1\text{ m}^3$  powietrza wynosi:

$$C_A = \frac{7,3 \times 10^{-5} (N1 - N2)}{\varepsilon v \eta} \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$$

gdzie:

$C_A$  – stężenie  $^{218}\text{Po}$  w powietrzu, w jednostkach  $[\text{Bq}/\text{m}^3]$ ,

$\varepsilon$  – wydajność rejestracji cząstek  $\alpha$ . Czynnikiem ten trzeba uwzględnić w obliczeniach, gdyż nie każda cząstka  $\alpha$ , wylatująca z filtra, trafia do detektora. Dla naszej geometrii pomiaru  $\varepsilon = 0,4$ ,

$v$  – prędkość pompowania powietrza, w jednostkach  $[\text{m}^3/\text{s}]$ , wyznaczana doświadczalnie,

$\eta$  – efektywność zatrzymywania produktów rozpadu radonu na filtrze. Nie wszystkie produkty rozpadu muszą być zatrzymane na filtrze. Dla naszego pomiaru przyjmij  $\eta = 1$ .

Współczynnik liczbowy  $7,3 \times 10^{-5}$  obliczony został dla cyklu pomiarowego z rys. 6.

**Aby korzystać z powyższego wzoru należy używać podanych jednostek dla  $C_A$  i  $v$ .**

## **IV. RAPORT KOŃCOWY**

*Raport końcowy należy oddać na kolejnych zajęciach.*

Raport końcowy powinien zawierać:

1. Właściwe dla raportu rozdziały: Streszczenie, Wstęp, Materiały i metody, Wyniki, Wnioski, Bibliografię.
2. Surowe wyniki pomiarów w odpowiednio zaprojektowanych i czytelnych tabelach.
3. Wzory na wyznaczone wielkości i ich niepewności.
4. Odpowiedź na pytanie, jak zmieni się liczba cząstek  $\alpha$ , gdy między źródłem  $\alpha$ -promieniotwórczym a detektorem umieścić kartkę papieru? Dlaczego?
5. Wyniki pomiarów aktywności  $^{218}\text{Po}$  w  $1\text{ m}^3$  powietrza, wraz z niepewnościami.
6. Porównanie wyników pomiaru aktywności  $^{218}\text{Po}$  w sali na Pracowni i w piwnicy, z podaniem przyczyny zaobserwowanej różnicy, jeśli wystąpiła.

### **Pamiętaj:**

- O jednostkach!
- Niepewność końcowego wyniku pomiaru zaokrąglamy do dwóch cyfr znaczących, zaś wynik końcowy zaokrąglamy, tak aby ostatnia cyfra znacząca wypadła na tym samym miejscu, co ostatnia cyfra znacząca niepewności, przy czym, wartość i jej niepewność muszą być wyrażone w tych samych jednostkach;
- Podczas obliczeń nie zaokrąglamy wyników pośrednich;
- Raport nie powinien zawierać szczegółów obliczeń numerycznych wynikających z zastosowanych wzorów;
- Jeśli zdecydujesz się na wykorzystanie procesora tekstów, jesteś zobowiązany do przestrzegania zasad typograficznych dla publikacji naukowych.

## **LITERATURA**

- [1] T. Mayer-Kuckuk, „Fizyka jądrowa”, PWN 1983
- [2] „Atomistyka oraz bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna w Polsce w 1998 r.” PAA, Warszawa 1999.
- [3] L. Dobrzyński i E. Droste, „Promieniotwórczość a życie: problem ryzyka związanego z promieniowaniem jonizującym”, Raport Nr 12, Dział Szkolenia IPJ, Warszawa 1999
- [4] Z. Jaworowski, Wiedza i Życie, Nr 3 (1997)
- [5] K.P. Markov, N.W. Rijabov, K.N. Stas, Atomnaja Energia 12 (1962) 315

Zagadnienia dot. ćwiczenia omówione są także w książce P. Jaracza "Promieniowanie jonizujące w środowisku człowieka", Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, 2001.