

PTF

DWUMIESIĘCZNIK  
POŚWIĘCONY  
UPOWSZECHNIANIU  
WIEDZY  
FIZYCZNEJ

# POSTĘPY FIZYKI

TOM 44  
ZESZYT 5  
1993

---

# POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

## ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes:	Prof. dr STEFAN POKORSKI
Wiceprezysi:	Prof. dr JERZY NIEWODNICZAŃSKI Prof. dr TADEUSZ SKALIŃSKI
Sekretarz Generalny:	Dr ZYGMUNT AJDUK
Skarbnik:	Dr LUCJAN ZEMŁO
Członkowie Zarządu:	Dr ZOFIA GOŁĄB-MEYER Prof. dr STANISŁAW K. HOFFMANN Mgr BOŻENA MOLDENHAWER Prof. dr IRENEUSZ STRZAŁKOWSKI Prof. dr JERZY WADOWCZYK Prof. dr CECYLIA WESOŁOWSKA Mgr MARIA ZABOROWSKA-KUŚMIEREK

## Redaktorzy naczelni czasopism PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI – <i>Postępy Fizyki</i>
Prof. dr JERZY PROCHOROW – <i>Acta Physica Polonica A</i>
Prof. dr WIESŁAW CZYŻ – <i>Acta Physica Polonica B</i>
Prof. dr JAN KALINOWSKI – <i>Delta</i>
Prof. dr ANDRZEJ JAMIOŁKOWSKI – <i>Reports on Mathematical Physics</i>

## Przewodniczący Oddziałów Towarzystwa

Prof. dr MICHAŁ ŚWIĘCKI (Białystok)	Doc. dr BAZYLI BOŃCZAK (Łódź)
Dr ALEKSANDRA WRONKOWSKA (Bydgoszcz)	Dr hab. JÓZEF MUSIEŁOK (Opole)
Dr hab. ZYGMUNT BĄK (Częstochowa)	Prof. dr STANISŁAW K. HOFFMANN (Poznań)
Prof. dr CZESŁAW SZMYTKOWSKI (Gdańsk)	Prof. dr RYSZARD KĘPA (Rzeszów)
Dr TOMASZ GOSLAR (Gliwice)	Dr HENRYK WREMBEL (Słupsk)
Prof. dr WIESŁAWA ZAREK (Katowice)	Prof. dr TADEUSZ REWAJ (Szczecin)
Dr MAREK PAJEK (Kielce)	Prof. dr ANDRZEJ BIELSKI (Toruń)
Prof. dr ANDRZEJ SZYTUŁA (Kraków)	Prof. dr IRENEUSZ STRZAŁKOWSKI (Warszawa)
Prof. dr STANISŁAW HAŁAS (Lublin)	Prof. dr ZYGMUNT GALASIEWICZ (Wrocław)

## ADRES ZARZĄDU

00-681 Warszawa, ul. Hoża 69  
tel./fax 21 26 68

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

# POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU  
WIEDZY FIZYCZNEJ

TOM 44, ZESZYT 5  
1993

Zeszyt dofinansowany  
przez Komitet Badań Naukowych

Wydano pod patronatem  
Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Warszawa 1993

## RADA REDAKCYJNA

Iwo Białynicki-Birula, Jerzy Czerwonko, Marek Demiański,  
Adam Kujawski, Tadeusz Skaliński, Maciej Suffczyński, Józef Szudy

## KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny: Adam Sobiczewski  
Członkowie Redakcji: Krzysztof Burzyński, Tomasz Dietl, Mirosław Łukaszewski,  
Magdalena Staszal, Barbara Wojtowicz

Adres Redakcji: ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa  
adres elektroniczny: [postepy@fuw.edu.pl](mailto:postepy@fuw.edu.pl)

### Korespondenci Oddziałów PTF:

Mgr Piotr Malinowski (Białystok)  
Dr Jerzy J. Wysocki (Częstochowa)  
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)  
Doc. dr Eugeniusz Soczkiewicz (Gliwice)  
Dr Janusz Frąckowiak (Katowice)  
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)  
Dr Anna Kapuścik (Kraków)  
Prof. dr Tomasz Goworek (Lublin)  
Prof. dr Leszek Wojtczak (Łódź)  
Dr Bożena Pędzisz (Opole)  
Prof. dr Andrzej Graja (Poznań)  
Mgr Danuta Ficek (Słupsk)  
Dr Ewa Weinert-Rączka (Szczecin)  
Dr Józefina Turło (Toruń)  
Doc. dr Teresa Grycuk (Warszawa)  
Dr hab. Bernard Jancewicz (Wrocław)

**Andrzej Hrynkiewicz**

*Instytut Fizyki Jądrowej  
im. H. Niewodniczańskiego  
Kraków*

## Promieniotwórczość naturalna w środowisku

### Natural radioactivity in the environment

*Abstract:* The contribution of various natural sources of ionizing radiation to the exposure of living organisms is discussed. Series of radioactive elements and single long-lived elements in the earth core as well as cosmic rays and cosmogenic radioactive nuclides are taken into account. Main concepts of dosimetry are shortly reviewed.

#### 1. Pierwiastki promieniotwórcze w biosferze

W pyłe gwiazdny wybuchów gwiazd supernowych, z którego 4.6 mld lat temu powstało Słońce i nasz Układ Planetarny, była olbrzymia ilość nuklidów promieniotwórczych. Z upływem czasu większość pierwiastków promieniotwórczych rozpadła się, zmieniając się w pierwiastki trwałe, które stanowią obecnie główny składnik Układu Planetarnego Słońca. W skorupie ziemskiej pozostały jednak pewne ilości nuklidów promieniotwórczych, takich, których czas połowicznego zaniku jest porównywalny z wiekiem Ziemi lub od niego dłuższy, a więc dłuższy od 4.6 mld lat. Te nuklidy i promieniotwórcze produkty ich rozpadu są źródłem naturalnego promieniowania jonizującego, które działa na wszystkie istoty żywe. Innym źródłem promieniowania jonizującego w środowisku są promienie kosmiczne i pierwiastki radioaktywne wytwarzane przez nie w atmosferze i na powierzchni Ziemi.

Ciepło wytwarzane w wyniku rozpadu nuklidów promieniotwórczych, które nadal wchodzi w skład globu ziemskiego jest, obok energii grawitacyjnej, odpowiedzialne za wysoką temperaturę wnętrza Ziemi. Na przykład, moc ciepła wytwarzana przez rozpad czystego uranu o naturalnym składzie izotopowym wy-

nosi 8.7 mW na tonę.

### 1.1. Promieniotwórczość w skorupie ziemskiej

Łatwo obliczyć z prawa rozpadu promieniotwórczego

$$N = N_0 \exp\left[-(\ln 2)\frac{t}{T}\right], \quad (1)$$

jaki jest obecnie stosunek liczby atomów pierwiastka promieniotwórczego  $N$  do liczby jego atomów  $N_0$  4.6 mld lat temu, w zależności od czasu połowicznego zaniku  $T$ . Na przykład

$T$	$N/N_0$
$10^8$ lat	$1.4 \times 10^{-14}$
$10^9$ lat	$4.1 \times 10^{-2}$
$4.6 \times 10^9$ lat	0.50
$> 10^{10}$ lat	$> 0.73$ .

#### 1.1.1. Naturalne szeregi (rodziny) promieniotwórcze

Ciężkie pierwiastki promieniotwórcze wchodzi w skład trzech szeregów, których protoplastami są  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{235}\text{U}$ . Są to:

- szereg torowy, zaczynający się od  $^{232}\text{Th}$  ( $T = 1.41 \times 10^{10}$  lat,  $N/N_0 = 0.80$ ), a kończący się na  $^{208}\text{Pb}$ . Człony tego szeregu mają liczby masowe  $A = 4n$ , tzn. liczby, które są krotnością liczby 4;
- szereg uranowo-radowy, zaczynający się od  $^{238}\text{U}$  ( $T = 4.47 \times 10^9$  lat,  $N/N_0 = 0.49$ ), a kończący się na  $^{206}\text{Pb}$  ( $A = 4n + 2$ );
- szereg uranowo-aktynowy, zaczynający się od  $^{235}\text{U}$  ( $T = 7.04 \times 10^8$  lat,  $N/N_0 = 0.011$ ), a kończący się na  $^{207}\text{Pb}$  ( $A = 4n + 3$ ).<sup>1</sup>

Szeregi te zawierają 11 pierwiastków (Tl, Pb, Bi, Po, At, Ru, Ra, Ac, Th, Pa i U), reprezentowanych przez 43 izotopy promieniotwórcze. Wszystkie pochodne nuklidy należące do tych szeregów mają czasy połowicznego zaniku znacznie krótsze od wieku Ziemi, a więc w każdym z nich została osiągnięta równowaga promieniotwórcza. To oznacza, że aktywność wszystkich nuklidów danego szeregu jest taka sama (ta sama liczba rozpadów w jednostce czasu), a ponieważ aktywność jest

<sup>1</sup> Czwartym szeregiem promieniotwórczym  $A = 4n + 1$ , to szereg neptunowy. Jego śladów w skorupie ziemskiej już nie ma, gdyż najdłuższy żyjący członek tego szeregu  $^{237}\text{Np}$  ma czas połowicznego zaniku  $2.2 \times 10^6$  lat, a więc ok. 2000 razy krótszy od wieku Ziemi.

$$A = N\lambda = \frac{N}{\tau} = \frac{N \ln 2}{T}, \quad (2)$$

gdzie  $N$  jest liczbą atomów radioaktywnych,  $\lambda$  stałą rozpadu, a  $\tau$  i  $T$  odpowiednio czasem średnim i czasem połowicznego zaniku, to liczby atomów poszczególnych nuklidów są proporcjonalne do ich czasów połowicznego zaniku. I tak np. zawartość w skorupie ziemskiej  $^{226}\text{Ra}$  stanowi  $3.6 \times 10^{-7}$  zawartości  $^{238}\text{U}$ , bo czas życia  $^{226}\text{Ra}$  jest tyle razy krótszy od czasu życia  $^{238}\text{U}$ .

W tab. 1, 2 i 3 są podane wielkości charakteryzujące nuklidy należące do naturalnych szeregów promieniotwórczych. W pierwszej kolumnie podana jest względna zawartość (abundancja) danego izotopu w naturalnym składzie izotopowym odpowiedniego pierwiastka. W trzech ostatnich kolumnach tablic podane są średnie wartości energii na jeden rozpad [1]: cząstek alfa  $\langle \alpha \rangle$ , elektronów beta  $\langle \beta \rangle$  i elektronów atomowych (np. elektronów Augera)  $\langle e \rangle$ , fotonów  $\gamma$   $\langle \gamma \rangle$  i promieniowania hamowania wewnętrznego  $\langle \text{IB} \rangle$  (pominięto wartości mniejsze od 1 keV). Te wartości średnie są wykorzystywane w dozymetrii do obliczania dawek promieniowania jonizującego.

Tabela 1. Szereg torowy (4n)

Nuklid (zawartość względna)	Czas poł. rozpadu $T$	Typ rozpadu	Średnia energia na rozpad (keV)		
			$\langle \alpha \rangle$	$\langle \beta \rangle + \langle e \rangle$	$\langle \gamma \rangle + \langle \text{IB} \rangle$
$^{232}\text{Th}$ (100%)	$1.41 \times 10^{10}$ y	$\alpha$	4010	–	–
$^{228}\text{Ra}$	5.75 y	$\beta^-$	–	–	15
$^{228}\text{Ac}$	6.1 h	$\beta^-$	–	480	990
$^{228}\text{Th}$	1.91 y	$\alpha$	5400	20	3
$^{224}\text{Ra}$	3.7 d	$\alpha$	5680	2	10
$^{220}\text{Rn}$	56 s	$\alpha$	6290	–	–
$^{216}\text{Po}$	150 ms	$\alpha$	6780	–	–
$^{212}\text{Pb}$	10.6 h	$\beta^-$	–	175	145
$^{212}\text{Bi}$	1.01 h	$\beta^-$ (64%)	2170	510	105
		$\alpha$ (36%)			
$^{212}\text{Po}$	300 ns	$\alpha$	8780	–	–
$^{208}\text{Tl}$	3.05 min	$\beta^-$	–	600	3375
$^{208}\text{Pb}$ (52.4%)	trwały				

Tabela 2. Szereg uranowo-radowy ( $4n + 2$ )

Nuklid (zawartość względna)	Czas poł. rozpadu $T$	Typ rozpadu	Średnia energia na rozpad (keV)		
			$\langle\alpha\rangle$	$\langle\beta\rangle + \langle e\rangle$	$\langle\gamma\rangle + \langle\text{IB}\rangle$
$^{238}\text{U}$ (99.28%)	$4.47 \times 10^9$ y	$\alpha$	4190	10	1
$^{234}\text{Th}$	24.1 d	$\beta^-$	—	16	9
$^{234m}\text{Pa}$	1.2 min	$\beta^-$	—	820	14
$^{234}\text{Pa}$	6.7 h	$\beta^-$	—	480	1903
$^{234}\text{U}$ (0.0055%)	$2.45 \times 10^5$ y	$\alpha$	4770	—	—
$^{230}\text{Th}$	$7.5 \times 10^4$ y	$\alpha$	4670	—	—
$^{226}\text{Ra}$	1600 y	$\alpha$	4770	4	7
$^{222}\text{Rn}$	3.83 d	$\alpha$	5490	—	—
$^{218}\text{Po}$	3.1 min	$\alpha$ (99.98%) $\beta^-$ (0.02%)	6000	—	—
$^{218}\text{At}$	1.6 s	$\alpha$ (99.9%) $\beta^-$ (0.1%)	6690	—	—
$^{214}\text{Pb}$	27 min	$\beta^-$	—	295	250
$^{214}\text{Bi}$	20 min	$\beta^-$ (99.98%) $\alpha$ (0.02%)	— 1.4	660	1510
$^{214}\text{Po}$	164 $\mu\text{s}$	$\alpha$	7690	—	—
$^{210}\text{Tl}$	1.3 min	$\alpha$	1200	95	2700
$^{210}\text{Pb}$	22.3 y	$\beta^-$	—	34	5
$^{210}\text{Bi}$	5.01 d	$\beta^-$	—	390	—
$^{210}\text{Po}$	138.38 d	$\alpha$	5300	—	—
$^{206}\text{Tl}$	4.2 min	$\beta^-$	—	540	—
$^{206}\text{Pb}$ (24.1%)	trwały				



Tabela 3. Szereg uranowo-aktynowy ( $4n + 3$ )

Nuklid (zawartość względna)	Czas poł. rozpadu $T$	Typ rozpadu	Średnia energia na rozpad (keV)		
			$\langle\alpha\rangle$	$\langle\beta\rangle + \langle e\rangle$	$\langle\gamma\rangle + \langle IB\rangle$
$^{235}\text{U}$ (0.71%)	$7.04 \times 10^8$ y	$\alpha$	4380	43	155
$^{231}\text{Th}$	1.06 d	$\beta^-$	—	173	29
$^{231}\text{Pa}$	$3.3 \times 10^4$ y	$\alpha$	4920	48	40
$^{227}\text{Ac}$	21.3 y	$\beta^-$ (98.6%)	—	—	—
		$\alpha$ (1.4%)	67	12	—
$^{227}\text{Th}$	18.7 d	$\alpha$	5900	54	110
$^{223}\text{Fr}$	22 min	$\beta^-$	—	395	63
$^{223}\text{Ra}$	11.4 d	$\alpha$	5700	73	135
$^{219}\text{Rn}$	4.0 s	$\alpha$	6810	6	56
$^{215}\text{Po}$	1.78 ms	$\alpha$	7390	—	—
$^{211}\text{Pb}$	36 min	$\beta^-$	—	450	68
$^{215}\text{At}$	100 $\mu\text{s}$	$\alpha$	8020	—	—
$^{211}\text{Bi}$	2.1 min	$\alpha$ (99.7%)	6550	—	—
		$\beta^-$ (0.3%)	—	10	47
$^{211}\text{Po}$	520 ms	$\alpha$	7440	—	8
$^{207}\text{Tl}$	4.8 min	$\beta^-$	—	494	3
$^{207}\text{Pb}$ (22.1%)	trwały				

### 1.1.2. Pojedynczo występujące nuklidy promieniotwórcze

Oprócz ciężkich pierwiastków wchodzących w skład naturalnych szeregów promieniotwórczych, w skorupie ziemskiej występuje 16 pierwiastków, reprezentowanych przez 18 izotopów o tak długim czasie zaniku, że nie zdążyły się rozpaść w czasie istnienia Ziemi. Są one zestawione w tab. 4.

Tabela 4. Pojedynczo występujące nuklidy promieniotwórcze

Nuklid	zawartość względna (%)	Czas poł. rozpadu $T$ (y)	Typ rozpadu	Średnia energia na rozpad (keV)		
				$\langle\alpha\rangle$	$\langle\beta\rangle + \langle e\rangle$	$\langle\gamma\rangle + \langle\text{IB}\rangle$
$^{40}\text{K}$	0.0117	$1.28 \times 10^9$	$\beta^-$ 89% $\epsilon$ 11%	—	455	157
$^{50}\text{V}$	0.250	$1.3 \times 10^{19}$	$\epsilon$ >70% $\beta^-$ <30%	—	?	~1100
$^{82}\text{Se}$	9.2	$1.4 \times 10^{20}$	$\beta^- \beta^-$	—	?	?
$^{87}\text{Rb}$	27.84	$4.8 \times 10^{20}$	$\beta^-$	—	82	—
$^{113}\text{Cd}$	12.2	$9 \times 10^{15}$	$\beta^-$	—	91	—
$^{115}\text{In}$	95.7	$4.4 \times 10^{14}$	$\beta^-$	—	153	—
$^{123}\text{Te}$	0.91	$1.3 \times 10^{13}$	$\epsilon$	—	3	—
$^{130}\text{Te}$	33.8	$2.5 \times 10^{21}$	$\beta^- \beta^-$	—	?	?
$^{138}\text{La}$	0.1	$1.1 \times 10^{11}$	$\epsilon$ 67% $\beta^-$ 33%	—	28	1240
$^{144}\text{Nd}$	23.8	$2.1 \times 10^{15}$	$\alpha$	1830	—	—
$^{147}\text{Sm}$	15.0	$1.1 \times 10^{11}$	$\alpha$	2230	—	—
$^{148}\text{Sm}$	11.2	$7 \times 10^{15}$	$\alpha$	1960	—	—
$^{152}\text{Gd}$	0.2	$1.1 \times 10^{14}$	$\alpha$	2140	—	—
$^{176}\text{Lu}$	2.6	$3.6 \times 10^{10}$	$\beta^-$	—	115	490
$^{174}\text{Hf}$	0.16	$2 \times 10^{15}$	$\alpha$	2500	—	—
$^{187}\text{Re}$	62.6	$5 \times 10^{10}$	$\beta^-$	—	10	—
$^{186}\text{Os}$	1.6	$2 \times 10^{15}$	$\alpha$	2800	—	—
$^{190}\text{Pt}$	<0.02	$6 \times 10^{11}$	$\alpha$	3180	—	—

W tab. 4 podane są nuklidy, których czasy połowicznego zaniku są zmierzone. Oprócz nich występuje kilka nuklidów, które prawdopodobnie ulegają rozpadowi, ale dotychczas udało się jedynie wyznaczyć dolną granicę ich czasów życia, przekraczającą  $10^{13}$  lat. Są to:  $^{96}\text{Zr}$ ,  $^{128}\text{Te}$ ,  $^{142}\text{Ce}$ ,  $^{148}\text{Nd}$ ,  $^{149}\text{Sm}$ ,  $^{156}\text{Dy}$  i  $^{180}\text{Ta}$ . W przypadku  $^{128}\text{Te}$ , precyzyjne pomiary, mające na celu zbadanie podwójnego rozpadu  $\beta^-$  pozwoliły podać dolną granicę połowicznego czasu zaniku:  $5.5 \times 10^{24}$  lat, co stanowi rekord w tym zakresie. Wymienione wyżej nuklidy oraz większość nuklidów w tab. 4 mają tak małą aktywność, że mogą być zaniedbane przy rozpatrywaniu naturalnej promieniotwórczości w środowisku. Wynika to albo z

ich bardzo małej koncentracji w skorupie ziemskiej albo z bardzo długiego czasu życia, a więc z niskiej aktywności właściwej.

W tab. 5 zestawione są pierwiastki, których aktywność w uśrednionym materiale skorupy ziemskiej przekracza 100 Bq na tonę. Aktywność właściwa (w drugiej kolumnie) jest aktywnością, wzór (2), obliczoną na jednostkę masy materiału próbki. Dane o koncentracji różnych pierwiastków w skorupie ziemskiej i o względnej zawartości poszczególnych nuklidów pozwalają obliczyć aktywność w uśrednionym materiale skorupy ziemskiej. Należy pamiętać, że lokalne zawartości tego samego pierwiastka mogą się różnić o kilka rzędów wielkości (na czym zresztą polega sens kopalnictwa różnych minerałów). Druga uwaga dotyczy aktywności  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{238}\text{U}$ , które dają początek naturalnym szeregom promieniotwórczym. Produkty ich rozpadu dzięki osiągnięciu równowagi promieniotwórczej posiadają tę samą aktywność co protopląści szeregów. Dotyczy to jednak aktywności w skali całego globu ziemskiego. Lokalne aktywności kolejnych członów naturalnych szeregów promieniotwórczych mogą się znacznie różnić, gdyż w ciągu historii Ziemi wiele czynników powodowało wybiórcze przemieszczanie się pierwiastków. Przykładem jest ucieczka do atmosfery radonu lub wymywanie przez wodę łatwo rozpuszczalnych związków chemicznych niektórych pierwiastków.

Tabela 5. Nuklidy promieniotwórcze o najwyższej aktywności w skorupie ziemskiej

Nuklid promieniotw.	Aktywność właściwa (Bq/g)	Średnia zawartość nuklidu w skorupie ziemskiej (% wagowy)	Aktywność w uśrednionym mat. skorupy ziemskiej (Bq/t)
$^{40}\text{K}$	$2.58 \times 10^5$	$2.84 \times 10^{-4}$	$7.3 \times 10^5$
$^{87}\text{Rb}$	$3.17 \times 10^3$	$6.40 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^5$
$^{232}\text{Th}$	$4.06 \times 10^3$	$9.7 \times 10^{-4}$	$3.94 \times 10^4$
$^{235}\text{U}$	$8.00 \times 10^4$	$2.06 \times 10^{-6}$	$1.65 \times 10^3$
$^{238}\text{U}$	$1.24 \times 10^4$	$2.88 \times 10^{-4}$	$3.57 \times 10^4$

### 1.1.3. Nuklidy promieniotwórcze wytwarzane przez promieniowanie kosmiczne

Promieniowanie kosmiczne nie tylko samo jest źródłem zagrożenia jako promieniowanie jonizujące, ale także wytwarza w atmosferze lub na powierzchni

Ziemi wiele nuklidów promieniotwórczych. Pierwotne promieniowanie kosmiczne, docierające do górnych warstw atmosfery składa się z przenikliwych cząstek o średnich energiach rzędu  $10^{10}$  eV, przy czym maksymalne energie cząstek sięgają  $10^{20}$  eV. W skład pierwotnego promieniowania kosmicznego w stratosferze na wysokości ponad 25 km wchodzi protony (87%), cząstki  $\alpha$  (11%), ciężkie jony od Be do Fe (ok. 1%) i elektrony (ok. 1%). Oddziaływanie pierwotnego promieniowania z atmosferą wytwarza wtórne promieniowanie w postaci elektronów, mionów, fotonów  $\gamma$ , mezonów i neutronów. Na poziomie morza 80% stanowią miony a 20% elektrony. Tylko ok. 0.05% pierwotnych protonów dociera do powierzchni Ziemi. W reakcjach jądrowych ze składnikami atmosfery, zawartymi w niej pyłami i powierzchniowymi warstwami litosfery powstaje wiele pierwiastków promieniotwórczych. W różnych opracowaniach (np. [2]) wymienia się ponad 30 izotopów dwudziestu kilku pierwiastków, od  $^3\text{H}$  do  $^{205}\text{Bi}$ ; 25 nuklidów ma czas połowicznego rozpadu dłuższy od 1 miesiąca a 15 nuklidów dłuższy od 1 roku. Tylko cztery z nich:  $^3\text{H}$ ,  $^3\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  i  $^{22}\text{Na}$  grają znaczącą rolę w napromienieniu żywych organizmów. Nuklid  $^3\text{H}$  powstaje głównie w wyniku oddziaływań neutronów promieniowania kosmicznego z azotem i tlenem atmosfery. Głównym źródłem  $^7\text{Be}$  są reakcje kruszenia (spalacji) w atmosferze, a  $^{14}\text{C}$  jest produktem reakcji  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ .  $^{22}\text{Na}$  jest wytwarzany w tarczach Mg, Al i Si. Własności tych nuklidów są podane w tab. 6.

Tabela 6. Najważniejsze kosmopochodne nuklidy promieniotwórcze

Nuklid	Czas poł. rozp.	Typ rozpadu	Średnia energia na rozpad (keV)	
			$\langle\beta\rangle + \langle e\rangle$	$\langle\gamma\rangle + \langle\text{IB}\rangle$
$^3\text{H}$	12.3 y	$\beta^-$	5.7	—
$^7\text{Be}$	53.3 d	$\epsilon$	—	50
$^{14}\text{C}$	5700 y	$\beta^-$	50	—
$^{22}\text{Na}$	2.60 y	$\beta^+$	195	1274

## 2. Wielkości i jednostki dozymetryczne

Przed omówieniem zagrożeń jakie stwarzają substancje promieniotwórcze w środowisku, przypomnijmy elementarne wiadomości z zakresu dozymetrii promieniowania jonizującego.

### 2.1. Aktywność

Przez aktywność źródła rozumiemy liczbę rozpadów promieniotwórczych w jednostce czasu. Jednostką aktywności w układzie SI jest

$$1 \text{ Bq (bekerel)} = 1 \text{ rozpad/s.}$$

Historyczną jednostką jeszcze dotychczas używaną jest

$$1 \text{ Ci (kiur)} = 3.70 \times 10^{10} \text{ rozpadów/s,}$$

czyli

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi.}$$

### 2.2. Dawki promieniowania

Średnią *dawką pochłoniętą*  $D_T$  w tkance lub narządzie nazywamy energię pochłoniętą w jednostce masy i mierzymy ją w grejach

$$1 \text{ Gy (grej)} = 1 \text{ J/kg.}$$

Poprzednio używaną jednostką dawki pochłoniętej był

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g,}$$

czyli

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad.}$$

### 2.3. Biologiczne działanie promieniowania

Skutek działania na żywe organizmy tej samej dawki pochłoniętej zależy od rodzaju promieniowania i od rodzaju narządów poddanych napromienieniu. Aby to uwzględnić wprowadzane są pojęcia *dawki równoważnej* i *dawki skutecznej*, które obliczamy stosując odpowiednie współczynniki wagowe promieniowania  $w_R$  i współczynniki wagowe napromienionych tkanek  $w_T$  [3].

Dawka równoważna

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}, \quad (3)$$

a dawka skuteczna

$$E = \sum_T w_T H_T. \quad (4)$$

Sumowanie przeprowadza się po rodzajach pochłoniętego promieniowania i po rodzajach napromienionych tkanek. Dla fotonów, elektronów i mionów wszystkich energii przyjmuje się  $w_R = 1$ . Wartości  $w_R$  dla ciężkich cząstek podane są w tab. 7.

Tabela 7. Współczynniki wagowe promieniowania  $w_R$  [3]

Cząstka	Energia	$w_R$
Neutrony	< 10 keV	5
	10 keV – 100 keV	10
	100 keV – 2 MeV	20
	2 MeV – 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Protony	> 2 MeV	5
Cząstki $\alpha$ i ciężkie jądra	—	20

Współczynniki wagowe tkanek podane są w tab. 8. Zawarte są one w granicach od 0.01 (skóra) do 0.2 (gonady).

Tabela 8. Współczynniki wagowe tkanek  $w_T$  [3]

Tkanka lub narząd	$w_T$
Gonady	0.20
Czerwony szpik kostny	0.12
Jelito grube	0.12
Płuca	0.12
Żołądek	0.12
Pęcherz moczowy	0.05
Gruzoły sutkowe	0.05
Wątroba	0.05
Przelyk	0.05
Tarczyca	0.05
Skóra	0.01
Powierzchnia kości	0.01
Pozostałe	0.05
Całe ciało	1.00

Jednostką dawki równoważnej i skutecznej jest 1 Sv (siwert). Znając dawkę pochłoniętą  $D$  wyrażoną w grejach, dawkę równoważną lub skuteczną obliczamy

ze wzorów (3) i (4), wyrażając ją w siwertach. Na przykład dawka skuteczna w płucach ( $w_T = 0.12$ ) wywołana napromienieniem cząstkami  $\alpha$  ( $w_R = 20$ ) jest

$$E(\text{Sv}) = 2.4D(\text{Gy}).$$

Dawka skuteczna obliczona na podstawie wzorów (3) i (4), jest wartością przybliżoną, nawet wówczas gdy średnia dawka pochłonięta w danej tkance jest dokładnie znana. Wynika to z grubego oszacowania współczynników  $w_R$  i  $w_T$ .

#### 2.4. Prawdopodobieństwo stochastycznych skutków napromienienia

Zmiany w komórkach wywołane dawkami promieniowania mogą powodować skutki zwane stochastycznymi. Są nimi nowotwory złośliwe i zmiany dziedziczne. Według [3], dla całej populacji współczynnik prawdopodobieństwa nowotworu złośliwego, powodującego zgon, wynosi  $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ , a współczynnik prawdopodobieństwa znacznego uszkodzenia genetycznego, prowadzącego do poważnych skutków dziedzicznych w pierwszym pokoleniu jest równy  $0.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ .

#### 2.5. Limity dawek

Zalecany przez Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej ICRP [3] limit dawek skutecznych wynosi dla osób zawodowo narażonych na napromienienie 20 mSv na rok, jako wartość średnia z pięciu lat, z zastrzeżeniem, że dawka nie przekroczy 50 mSv w pojedynczym roku. Dla ogółu ludności za limit dawek skutecznych przyjęto 1 mSv/rok, również jako średnią z pięciu kolejnych lat. Limit dawek zdaniem Komisji określa poziom dawek, który jest uznany za możliwy do przyjęcia. Dla niektórych tkanek podane są odrębne limity dawek. W przypadku osób narażonych zawodowo limit rocznej dawki równoważnej dla soczewek oczu wynosi 150 mSv a dla skóry 500 mSv. Dla ogółu ludności odpowiednie limity wynoszą 15 mSv i 50 mSv.

### 3. Zagrożenia wywołane promieniotwórczością naturalną w środowisku

Istoty żywe ulegają napromienieniu zewnętrznemu i wewnętrznemu. Napromienienie zewnętrzne jest spowodowane promieniowaniem  $\gamma$  nuklidów promieniotwórczych znajdujących się w otoczeniu oraz składową jonizującą i neutronową promieniowania kosmicznego. Źródłem napromienienia wewnętrznego są nuklidy promieniotwórcze zawarte w organizmie. Są to zarówno nuklidy pochodzenia ziemskiego jak i nuklidy wytworzone przez promieniowanie kosmiczne.

### 3.1. Napromienienie zewnętrzne

#### 3.1.1. Promieniowanie $\gamma$ ziemskich źródeł promieniotwórczych

Pomiary, które dotychczas objęły obszary, na których żyje ok. połowa ludności świata wykazują dla różnych krajów średnie moce dawek pochłoniętych na wysokości 1 m nad powierzchnią Ziemi od 20 do 150 nGy/h [4]. Średnia z tych wyników ważona zaludnieniem poszczególnych krajów wynosi 55 nGy/h, co odpowiada średniej rocznej dawce skutecznej 0.41 mSv. Rozpiętość wartości dla poszczególnych krajów jest duża, gdyż np. średnia roczna dawka skuteczna w USA jest równa 0.28 mSv, a w Szwecji 0.64 mSv. Znacznie większe dawki otrzymują mieszkańcy obszarów o anomalnej promieniotwórczości (zob. 3.1.3.). Główny udział w dawce promieniowania  $\gamma$  ziemskich radionuklidów mają:  $^{40}\text{K}$  (35%), nuklidy szeregu uranowo-radowego (25%) i nuklidy szeregu torowego (40%).

#### 3.1.2. Promieniowanie kosmiczne

Głównym źródłem dawki jest promieniowanie galaktyczne. Promieniowanie kosmiczne ze Słońca ma znacznie niższe energie i jego udział w dawce na poziomie morza jest do zaniedbania. Wtórne promieniowanie kosmiczne docierające do powierzchni Ziemi zawiera składową jonizującą i składową neutronową. Składowa jonizująca daje na poziomie morza moc dawki pochłoniętej 27 nGy/h, co odpowiada rocznej dawce skutecznej 240  $\mu\text{Sv}$ . Dawka ta rośnie z wysokością, w pobliżu poziomu morza o ok. 4  $\mu\text{Sv}$  na 100 m wzniesienia. Na większych wysokościach wzrost jest szybszy, a powyżej 25 km zostaje osiągnięte nasycenie na poziomie 8  $\mu\text{Gy/h}$ . Powyżej 5 km zaczyna grać rolę efekt geomagnetyczny, który powoduje, że na wysokości 25 km dawka pochłonięta nad biegunami jest ok. 6 razy większa niż nad równikiem.

Strumień składowej neutronowej na poziomie morza  $8 \times 10^{-3}$  n/cm<sup>2</sup>s daje moc dawki pochłoniętej  $4 \times 10^{-10}$  Gy/h co odpowiada rocznej dawce skutecznej 20  $\mu\text{Sv}$ . Udział składowej neutronowej w dawce również rośnie z wysokością. Dawka składowej neutronowej osiąga maksimum  $2 \times 10^{-7}$  Gy/h na wysokości ok. 20 km.

Zależność mocy dawki równoważnej obu składowych od wysokości nad poziomem morza, dla wysokości  $z < 2$  km, dość dobrze opisują wzory empiryczne [5]:

dla składowej jonizującej:

$$H_I(z) = H_I(0)[0.21 \exp(-1.65z) + 0.80 \exp(0.45z)],$$

a dla składowej neutronowej:



$$H_n(z) = H_n(0) \exp(1.04z),$$

gdzie  $z$  jest wysokością w km, a  $H_I(0)$  i  $H_n(0)$  wynoszą odpowiednio  $240 \mu\text{Sv/rok}$  i  $20 \mu\text{Sv/rok}$ .

Ludność żyjąca na wysokości 1000 m otrzymuje dawkę promieniowania kosmicznego o 40%, a na wysokości 2000 m 2.4 razy wyższą niż mieszkańcy terenów nadmorskich. Przeloty samolotem powodują dodatkowe dawki. Na przykład, przelot samolotem zwykłym na trasie Paryż – Nowy Jork (czas 7.4 godz., wys. 11 km) powoduje dawkę dodatkową  $16 \mu\text{Sv}$ , a samolotem naddźwiękowym (czas 2.6 godz., wys. 19 km) dawkę  $12 \mu\text{Sv}$ .

Średniona po wszystkich grupach mieszkańców kuli ziemskiej roczna dawka skuteczna wynosi  $355 \mu\text{Sv}$ , w tym  $300 \mu\text{Sv}$  pochodzi od składowej jonizującej, a  $55 \mu\text{Sv}$  od składowej neutronowej promieniowania kosmicznego.

### 3.1.3. Obszary o anomalnej radioaktywności

Obszary o znacznie podwyższonej zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, na których żyje ok. 5% ludności świata, znajdują się we Włoszech, Brazylii, Francji, Indiach, Chinach, Iranie, Nigerii i na Madagaskarze [4]. W Indiach w południowo-zachodnim pasie brzegowym prowincji Kerała i Tamil Naru, o szerokości 500 m i długości 250 km, znajdują się złoża monazytu<sup>2</sup> zawierającego domieszki toru sięgające 10%. Około 70 000 mieszkańców tego pasa otrzymuje dawki promieniowania kilkadziesiąt razy wyższe niż na obszarach o normalnej aktywności. W Brazylii na wybrzeżu stanów Espirito Santo i Rio de Janeiro, na czarnych plażach piasku monazytowego, lokalne dawki promieniowania do 400 razy przekraczają wartość normalną. Około 12 000 stałych mieszkańców miasteczka Guarapari i 30 000 gości wakacyjnych otrzymuje moc dawek 50 do 100 razy wyższą niż średnia światowa. W stanie Minas Gerais na Górze Żelaza (Morro do Ferro), koło Pocos de Caldas, złoża apatytów o dużej zawartości uranu i toru powodują, że moc dawki jest prawie 1000 razy wyższa od normalnej. Również w Chinach, w prowincji Guandong, złoża monazytu są odpowiedzialne za znacznie podwyższony poziom dawki. W mieście Ramsar w Iranie, na obszarze kilku km<sup>2</sup> dawki pochłonięte w powietrzu są do 1000 razy wyższe od normalnych z powodu bijących tam źródeł wody bogatej w <sup>226</sup>Ra.

---

<sup>2</sup> Monazyt jest to fosforan ziem rzadkich, głównie ceru i lantanu, któremu domieszki ilmenu nadają czarne zabarwienie.

$$H_n(z) = H_n(0) \exp(1.04z),$$

gdzie  $z$  jest wysokością w km, a  $H_I(0)$  i  $H_n(0)$  wynoszą odpowiednio  $240 \mu\text{Sv/rok}$  i  $20 \mu\text{Sv/rok}$ .

Ludność żyjąca na wysokości 1000 m otrzymuje dawkę promieniowania kosmicznego o 40%, a na wysokości 2000 m 2.4 razy wyższą niż mieszkańcy terenów nadmorskich. Przeloty samolotem powodują dodatkowe dawki. Na przykład, przelot samolotem zwykłym na trasie Paryż – Nowy Jork (czas 7.4 godz., wys. 11 km) powoduje dawkę dodatkową  $16 \mu\text{Sv}$ , a samolotem naddźwiękowym (czas 2.6 godz., wys. 19 km) dawkę  $12 \mu\text{Sv}$ .

Uśredniona po wszystkich grupach mieszkańców kuli ziemskiej roczna dawka skuteczna wynosi  $355 \mu\text{Sv}$ , w tym  $300 \mu\text{Sv}$  pochodzi od składowej jonizującej, a  $55 \mu\text{Sv}$  od składowej neutronowej promieniowania kosmicznego.

### 3.1.3. Obszary o anomalnej radioaktywności

Obszary o znacznie podwyższonej zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, na których żyje ok. 5% ludności świata, znajdują się we Włoszech, Brazylii, Francji, Indiach, Chinach, Iranie, Nigerii i na Madagaskarze [4]. W Indiach w południowo-zachodnim pasie brzegowym prowincji Kerała i Tamil Naru, o szerokości 500 m i długości 250 km, znajdują się złoża monazytu<sup>2</sup> zawierającego domieszki toru sięgające 10%. Około 70 000 mieszkańców tego pasa otrzymuje dawki promieniowania kilkadziesiąt razy wyższe niż na obszarach o normalnej aktywności. W Brazylii na wybrzeżu stanów Espirito Santo i Rio de Janeiro, na czarnych plażach piasku monazytowego, lokalne dawki promieniowania do 400 razy przekraczają wartość normalną. Około 12 000 stałych mieszkańców miasteczka Guarapari i 30 000 gości wakacyjnych otrzymuje moc dawek 50 do 100 razy wyższą niż średnia światowa. W stanie Minas Gerais na Górze Żelaza (Morro do Ferro), koło Pocos de Caldas, złoża apatytów o dużej zawartości uranu i toru powodują, że moc dawki jest prawie 1000 razy wyższa od normalnej. Również w Chinach, w prowincji Guandong, złoża monazytu są odpowiedzialne za znacznie podwyższony poziom dawki. W mieście Ramsar w Iranie, na obszarze kilku km<sup>2</sup> dawki pochłonięte w powietrzu są do 1000 razy wyższe od normalnych z powodu bijących tam źródeł wody bogatej w <sup>226</sup>Ra.

---

<sup>2</sup> Monazyt jest to fosforan ziem rzadkich, głównie ceru i lantanu, któremu domieszki ilmenu nadają czarne zabarwienie.

### 3.2. Napromienienie wewnętrzne

Naturalne pierwiastki promieniotwórcze są wchłaniane przez organizmy żywe drogą pokarmową lub oddechową. Znaczna część wchłoniętej aktywności zostaje szybko wydalona. Pozostała aktywność gromadzi się w wyniku procesów metabolicznych w pewnych tkankach lub organach. W ciągu życia organizmu, z jednej strony wchłaniane są stale nowe ilości nuklidu promieniotwórczego, z drugiej zaś następuje jego rozpad a także wydalanie na drodze wymiany chemicznej.

#### 3.2.1. Naturalne szeregi promieniotwórcze

W przypadku nuklidów o czasie rozpadu znacznie dłuższym od czasu życia organizmu wydalanie powodowane wymianą chemiczną jest jedyną drogą pozbywania się wewnętrznej promieniotwórczości. W naturalnych szeregach promieniotwórczych torowym i uranowo-radowym do takich nuklidów należą  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$  i  $^{226}\text{Ra}$ . Stężenie ich aktywności (aktywność właściwa) w organizmie osiąga stan nasycenia i np. w przypadku uranu w kośćcu dorosłego człowieka wynosi ok. 150 mBq/kg [6]. Jeżeli proces wydalania jest bardzo powolny to stężenie pierwiastka promieniotwórczego rośnie z wiekiem. Tak jest np. z torem, którego związki są słabo rozpuszczalne i który wobec tego gromadzi się w ciągu całego życia w kośćcu.

Drugi graniczny przypadek stanowią nuklidy, których czas połowicznego rozpadu jest bardzo krótki, krótszy od kilku dni. Takie człony naturalnych szeregów promieniotwórczych powstające z rozpadu długożyciowego nuklidu są w organizmie w równowadze promieniotwórczej ze swym prekursorem i ich aktywność w tkankach i organach jest rządzona przez zachowanie się tego prekursora. Przykładem może być część szeregu uranowo-radowego od  $^{226}\text{Ra}$  ( $T = 1600$  lat) do  $^{214}\text{Po}$ , w której kolejne produkty rozpadu mają krótkie czasy życia. Ich aktywność w poszczególnych tkankach i narządach dodaje się do aktywności zawartego w nich radu.

W przypadku nuklidów promieniotwórczych, których czas rozpadu jest porównywalny z czasem życia organizmu, zmiana aktywności w czasie zależy od szybkości rozpadu, przy czym metabolizm każdego z nich rządzi się w organizmie swoimi własnymi prawami. Przykładem jest  $^{210}\text{Pb}$  o czasie połowicznego rozpadu  $T = 22.3$  lat. Jako produkt rozpadu  $^{222}\text{Rn}$  jest wdychany z pyłami, na których osiada i lokalizuje się w tkankach, które selektywnie wiążą ołów i jego związki.

Szczególnym przypadkiem jest  $^{222}\text{Rn}$  o czasie połowicznego rozpadu 3.83 dnia. Stężenie jego aktywności w przyziemnej warstwie atmosfery wynosi kilka Bq na  $\text{m}^3$ . Wdychany radon i krótkożyciowe produkty jego rozpadu wnoszą największy udział do napromienienia wewnętrznego. Aktywność właściwa w powietrzu

$^{220}\text{Rn}$ , o  $T = 56$  s, jest co prawda znacznie mniejsza, ale wnosi on również liczący się udział do napromienienia wewnętrznego.

Analiza przedstawionej, skomplikowanej sytuacji, z jaką mamy do czynienia przy rozpatrywaniu napromienienia wewnętrznego wywołanego nuklidami naturalnych szeregów promieniotwórczych, prowadzi do wniosku, że wygodnie jest podzielić te szeregi na kilka części:

- szereg uranowo-radowy:  $^{228}\text{U}$  –  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  –  $^{214}\text{Po}$  i  $^{210}\text{Pb}$  –  $^{210}\text{Po}$ ;
- szereg torowy:  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{220}\text{Th}$  i  $^{220}\text{Rn}$  –  $^{208}\text{Pb}$ .

Obliczaniem średnich rocznych dawek skutecznych spowodowanych napromienieniem wewnętrznym zajmują się Naukowy Komitet Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Skutków Promieniowania Atomowego UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) i Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej ICRP (International Commission on Radiological Protection). Opracowania tych organizacji [4,6-8] są głównym źródłem podanych niżej informacji. Obliczenia dawek oparte są na danych dotyczących zawartości radionuklidów w różnych rodzajach pożywienia, w wodzie i w powietrzu. W tab. 9 zestawione są typowe wartości aktywności właściwej w produktach żywnościowych, a w tab. 10 typowe wartości tej aktywności w powietrzu. Dane te dotyczą poszczególnych części naturalnych szeregów promieniotwórczych

Tabela 9. Typowe wartości aktywności właściwej w produktach żywnościowych i w wodzie

Rodzaj żywności	Aktywność właściwa w Bq/kg						
	$^{231}\text{U}$ – $^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$ – $^{210}\text{Po}$	$^{232}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{228}\text{Th}$
Produkty mleczne	1	0.5	5	90	0.3	5	0.3
Produkty mięsne	2	2	15	120	1	10	1
Produkty zbożowe	20	10	80	320	3	60	3
Warzywa liściaste	20	20	50	50	15	40	15
Warzywa korzenne i owoce	3	0.5	30	50	0.5	20	0.5
Ryby	30	—	100	5000	—	—	—
Woda	1	0.1	0.5	5	0.05	0.5	0.05

z wyjątkiem  $^{222}\text{Rn}$  i  $^{220}\text{Rn}$  oraz krótkożyciowych produktów ich rozpadu, gdyż zagadnienie radonu wymaga szczególnego potraktowania. Przyjmując dla osób dorosłych typowe spożycie produktów żywnościowych podane w tab. 11 oraz szybkość oddychania  $8000\text{ m}^3/\text{rok}$ , można obliczyć wchłaniane aktywności różnych radionuklidów, a rozporządzając danymi o metabolizmie pierwiastków można wyznaczyć dawki pochłonięte przez różne narządy i tkanki. Następnym krokiem jest obliczenie średniej dawki skutecznej. W tab. 12 podane jest typowe roczne wchłanianie radionuklidów z szeregu uranowo-radowego i torowego oraz wywołane tym roczne dawki skuteczne dla osób dorosłych.

Tabela 10. Typowe wartości aktywności właściwej w powietrzu

Nuklid	$^{238}\text{U}$ – $^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$	$^{232}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{228}\text{Th}$
Aktywność właściwa ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	1	0.5	0.5	500	50	1	1	1

Tabela 11. Konsumpcja żywności przez osoby dorosłe (wartości typowe)

Rodzaj żywności	konsumpcja roczna (kg/rok)
Produkty mleczne	105
Produkty mięsne	50
Produkty zbożowe	140
Warzywa liściaste	60
Warzywa korzenne i owoce	170
Ryby	15
Woda	500

Tabela 12. Roczne wchłanianie radionuklidów i skuteczne dawki równoważne dla osób dorosłych (wartości typowe)

Radionuklid	Wchłanianie (mBq)		Dawka ( $\mu\text{Sv}$ )
	spożycie	wdychanie	
$^{238}\text{U}$ – $^{234}\text{U}$	$1.0 \times 10^4$	14	0.8
$^{230}\text{Th}$	$2.5 \times 10^3$	3.5	0.4
$^{226}\text{Ra}$	$1.9 \times 10^4$	4	5.7
$^{210}\text{Pb}$ – $^{210}\text{Po}$	$9 \times 10^4$	$3.9 \times 10^3$	47
$^{232}\text{Th}$	$1.3 \times 10^3$	7	1.9
$^{228}\text{Ra}$	$1.4 \times 10^4$	7	3.5
$^{228}\text{Th}$	$1.3 \times 10^3$	7	0.6

### 3.2.1.1. Radon i krótkożyciowe produkty jego rozpadu

Ekspozycja ludności na  $^{222}\text{Rn}$  i krótkożyciowe produkty jego rozpadu ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  i  $^{214}\text{Po}$ ) następuje wskutek wdychania radonu, którego koncentracja w powietrzu na otwartej przestrzeni, nad powierzchnią Ziemi waha się w granicach  $0.1 - 10 \text{ Bq/m}^3$  (średnio  $3 \text{ Bq/m}^3$ ). Radon wnika z podłoża i z materiałów budowlanych do wnętrza budynków co powoduje, że jego koncentracja w zamkniętych pomieszczeniach jest o wiele wyższa. Stwierdzenie, w drugiej połowie lat osiemdziesiątych, wielkich różnic stężenia radonu w pomieszczeniach wywołało olbrzymie zainteresowanie tym problemem. Zaczęto przeprowadzać pomiary stężenia radonu w tysiącach domów oraz przywiązywać wagę do wentylacji pomieszczeń. Okazało się jednak, że systemy wentylacyjne, które wywołują obniżenie wewnętrznego ciśnienia, wzmagają dopływ radonu spod fundamentów [9]. Między ziarnami gruntu typowe stężenia radonu w zawartym tam powietrzu są rzędu  $10\,000 \text{ Bq/m}^3$ , a przepuszczalność gruntu zmienia się o czynnik milion przy przejściu od zwartej gliny do gruboziarnistego piasku. Radon wnika do piwnic przez pęknięcia fundamentów, przez nieszczelności w osadzeniu rur wodociągowych i kanalizacyjnych oraz przez systemy odwadniania. Małe różnice ciśnień między gruntem pod fundamentem i wnętrzem pomieszczeń, wywołane przez wiatry i różnicę temperatur wewnątrz i na zewnątrz domu powodują, że dom „wsysa” radon z podłoża. Można zapobiec powstawaniu nadciśnienia pod fundamentami przez rurę wentylacyjną łączącą podłoże z atmosferą zewnętrzną.

Innym źródłem radonu wewnątrz pomieszczeń może być rad zawarty w materiałach budowlanych i dyfuzja z nich powstającego radonu.

Pomiary średniej dobowej koncentracji radonu w domach przeprowadzane na wielką skalę w różnych krajach świata pokazały, że poprzednio podawane dane były zaniżone. W Europie średnia koncentracja jest zawarta w przedziale 20–50 Bq/m<sup>3</sup>, a w Skandynawii osiąga nawet 100 Bq/m<sup>3</sup>. W Stanach Zjednoczonych średnie stężenie wynosi 55 Bq/m<sup>3</sup>, ale w 1-3% domów jednorodzinnych, a więc w kilku milionach domów przekracza 300 Bq/m<sup>3</sup>. Takie stężenia radonu są przyczyną zwiększonej śmiertelności na raka płuc. Mieszkanie przez całe życie w domu o stężeniu radonu 150 Bq/m<sup>3</sup> pociąga za sobą dodatkowe ryzyko 1-3% zachorowania na raka płuc. Jest to porównywalne z ryzykiem śmierci w USA w wypadkach samochodowych.

W strefie umiarkowanej, w której żyje ok. 2/3 mieszkańców kuli ziemskiej, średnia roczna dawka skuteczna od radonu i jego krótkotrwałych produktów rozpadu jest oceniana<sup>3</sup> na 1160 μSv i stanowi najwyższy przyczynek do dawki jaką otrzymuje ludność z naturalnych źródeł promieniotwórczych.

Nuklid <sup>220</sup>Rn (toron) ma czas połowicznego rozpadu  $T = 56$  s. Ma wobec tego bardzo małe szanse wydostania się z podłoża i jego stężenie w powietrzu jest kilkaset tysięcy razy mniejsze od stężenia <sup>222</sup>Rn. Ponieważ jednak jego aktywność właściwa jest 500 000 razy większa od aktywności właściwej <sup>222</sup>Rn, stężenie aktywności toronu w przyziemnej warstwie atmosfery na zewnątrz budynków jest dwukrotnie większe niż stężenie aktywności <sup>222</sup>Rn. Wewnątrz budynków aktywność toronu w 1 m<sup>3</sup> powietrza jest ok. 15 razy mniejsza od aktywności <sup>222</sup>Rn. W regionach o umiarkowanym klimacie średnia roczna dawka skuteczna pochodząca od wdychanego toronu wynosi ok. 100 μSv.

### 3.2.2. Pojedyncze długożyciowe nuklidy promieniotwórcze

Do lżejszych długożyciowych nuklidów promieniotwórczych, które wnoszą znaczący wkład do dawki wewnętrznego napromienienia należy <sup>40</sup>K i <sup>87</sup>Rb.

Średnie stężenie potasu w organizmie ludzkim wynosi ok. 2 g na kg wagi ciała. Stężenie to zależy od wieku i płci. Jest większe u mężczyzn niż u kobiet, a u osób dorosłych maleje z wiekiem z szybkością ok. 10 mg rocznie. Ponieważ względna zawartość <sup>40</sup>K w naturalnym potasie jest równa 0.0117%, a czas połowicznego rozpadu  $T = 1.28 \times 10^9$  lat, aktywność właściwa <sup>40</sup>K w ciele ludzkim wynosi ok. 60 Bq/kg [4]. Największe stężenie <sup>40</sup>K występuje w czerwonym szpiku kostnym (dając 130 Bq/kg), który otrzymuje największą dawkę pochłoniętą. Średnia roczna dawka skuteczna pochodząca od <sup>40</sup>K jest oceniana na 165 μSv.

---

<sup>3</sup> Wartość ta również wydaje się zaniżona. W opracowaniu [9] szacuje się roczną dawkę skuteczną od radonu na 2-3 mSv. Według pracy [10] przyczynek radonu do rocznej dawki skutecznej wynosi ok. 50 μSv na 1 Bq w 1 m<sup>3</sup> powietrza.

Średnia aktywność właściwa  $^{87}\text{Rb}$  w ciele ludzkim wynosi 8.5 Bq/kg, a średnia roczna dawka skuteczna jest szacowana na 6  $\mu\text{Sv}$  [4].

### 3.2.3. Radionuklidy kosmopochodne

Do nuklidów wytwarzanych przez promieniowanie kosmiczne, które wnoszą mierzalny wkład do dawki napromienienia wewnętrznego, należą:  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  i  $^{22}\text{Na}$ , ale tylko wkład  $^{14}\text{C}$  jest znaczący. Aktywność właściwa węgla biologicznego wynosi 227 Bq/kg, co odpowiada aktywności w ciele ludzkim 50 Bq/kg i daje średnią roczną dawkę skuteczną 12  $\mu\text{Sv}$  [4].

### 3.2.4. Anomalie wchłaniania radionuklidów

W tab. 9-12 podano wartości typowe, dotyczące obszarów o normalnym poziomie występowania w otoczeniu i w spożywanych pokarmach radionuklidów naturalnych szeregów promieniotwórczych. W niektórych rejonach świata wchłanianie radionuklidów jest znacznie większe. Oto kilka przykładów.

Populacje, których podstawowym pożywieniem jest mięso reniferów i karibu, odżywiających się w ciągu zimy porostami kumulującymi  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{210}\text{Po}$ , wchłaniają drogą pokarmową rocznie do 140 Bq  $^{210}\text{Pb}$  i do 1400 Bq  $^{210}\text{Po}$ , co powoduje, że średnia roczna dawka skuteczna wywołana tymi radionuklidami przekracza 0.4 mSv dla osób dorosłych.

W zachodniej Australii odżywanie się mięsem owiec i kangurów pasących się na terenach bogatych w uran prowadzi do podobnie wysokich dawek skutecznych wywołanych  $^{210}\text{Pb}$ .

W Brazylii i w Indiach na obszarach o zwiększonym stężeniu pierwiastków radioaktywnych w glebie występuje zwiększona aktywność w mleku, zbożach i warzywach. Stężenie aktywności  $^{228}\text{Th}$  bywa 100 a nawet 1000 razy wyższe od stężenia typowego, co powoduje odpowiedni wzrost dawek skutecznych. Ciekawostką jest wyjątkowo duże stężenie radu w orzeszkach brazylijskich (*Bertholletia excelsa*), które selektywnie absorbują bar, odpowiednik chemiczny radu. Ich aktywność osiąga 50 kBq/kg, a więc, formalnie rzecz biorąc, powinny być traktowane podobnie jak niskoaktywne odpady przemysłu jądrowego.

Stężenie aktywności radonu w zamkniętych pomieszczeniach zależy od wielu czynników i zmienia się w bardzo szerokich granicach. Maksymalne stężenie aktywności radonu zmierzone w Czecho-Słowacji osiąga 26 kBq/m<sup>3</sup>. W 1984 r. w domu mieszkalnym w Pensylwanii, na formacji geologicznej Reading Prong stwierdzono stężenie aktywności radonu 100 kBq/m<sup>3</sup>, a więc 2000 razy wyższe niż średnie stężenie w domach amerykańskich.



### 3.2.5. Podsumowanie dawek wywołanych promieniotwórczością naturalną w środowisku

W tab. 13 podane są roczne dawki skuteczne wywołane naturalnymi źródłami promieniowania na obszarach o normalnej radioaktywności, otrzymywane przez osoby dorosłe.

Tabela 13. Roczne dawki skuteczne ( $\mu\text{Sv}$ )

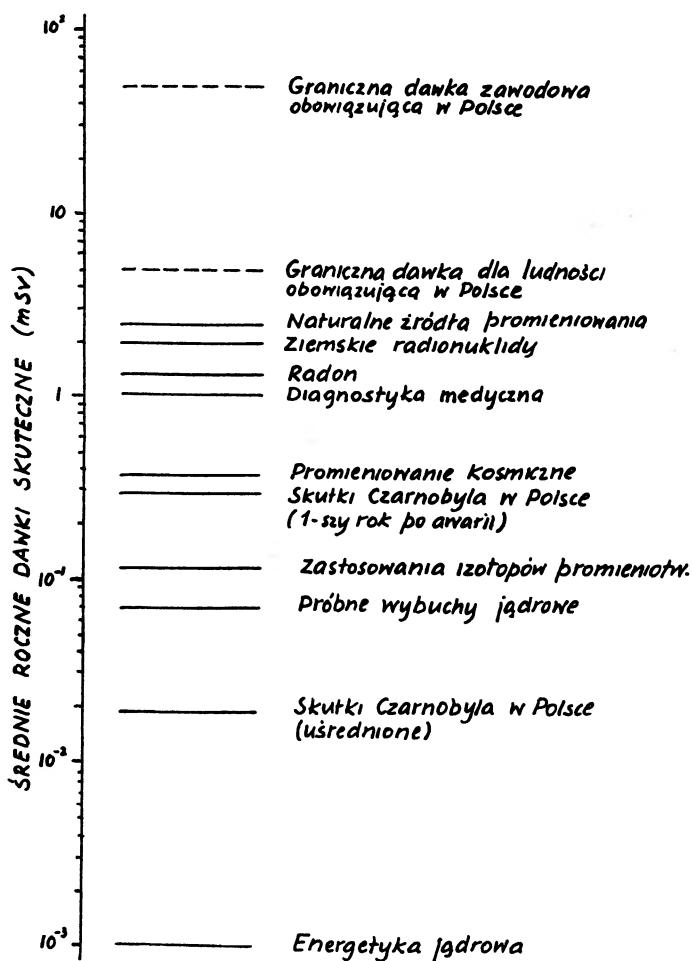
Źródło napromienienia	Napromienienie		
	zewnątrzne	wewnętrzne	całkowite
Promieniowanie kosmiczne			
składowa jonizująca	300	—	300
składowa neutronowa	55	—	55
Radionuklidy kosmopochodne	—	15	15
Szereg uranowo-radowy (bez radonu)	100	60	160
Szereg torowy (bez radonu)	160	6	166
Radon i krótkożyciowe produkty jego rozpadu	—	1260	1260
— $^{40}\text{K}$	150	165	315
— $^{87}\text{Rb}$	—	6	6
Suma (zaokrąglona)	770	1510	2280

Dawki od naturalnych źródeł promieniowania są porównane na rys. 1 z tzw. dawkami cywilizacyjnymi, z których główny wkład wnosi diagnostyka medyczna.

## 4. Naturalny reaktor jądrowy Oklo

We francuskich zakładach produkcji paliwa jądrowego Pierelatte, w maju 1972 r., stwierdzono w próbce z kopalni rudy uranowej w Oklo, w Gabonie, obniżoną koncentrację  $^{235}\text{U}$  w uranie naturalnym. Zmierzona względna zawartość  $^{235}\text{U}$  0.7171% była nieznacznie niższa od dokładnie znanej normalnej zawartości 0.7202%.

Ta różnica koncentracji wywołała zrozumiałe zainteresowanie specjalistów. Pobrane poprzednio próbki rudy z sieci odwiertów w rejonie kopalni Oklo zostały



Rys. 1. Średnie roczne dawki skuteczne pochodzące z różnych źródeł

zbadane. W jednej z nich zawartość  $^{235}\text{U}$  w naturalnym uranie wynosiła zaledwie 0.44%. Oprócz tego stwierdzono w próbkach obecność pierwiastków, które są produktami rozszczepienia uranu. Okazało się przy tym, że co najmniej połowa z trzydziestukilku pierwiastków – produktów rozszczepienia została unieruchomiona w rudzie. Nie ulega wątpliwości, że w złożach rudy uranu w Okło przebiegała łańcuchowa reakcja rozszczepienia w co najmniej sześciu miejscach. Wiele argumentów przemawia za tą hipotezą. Okazało się m.in., że rozkład względnej zawartości 7 izotopów neodymu wyznaczony w obszarach pracy naturalnych reaktorów jest, po uwzględnieniu poprawek, identyczny z rozkładem zawartości względnej tych izotopów w wypalonym paliwie reaktorowym, a znacznie się różni

od rozkładu ich zawartości względnej w naturalnym neodymie [6]. Analiza zawartości różnych pierwiastków w rudzie wskazuje na to, że naturalne reaktory działały w ciągu kilkuset tysięcy lat ok. 2 miliardy lat temu. Ponieważ czas połowicznego rozpadu  $^{235}\text{U}$  jest równy 24 400 lat, a  $^{238}\text{U}$  4.5 mld lat, dwa miliardy lat temu koncentracja  $^{235}\text{U}$  w naturalnym uranie wynosiła 3.5%. Jest to wzbogacenie uranu w izotop  $^{235}\text{U}$  zbliżone do wzbogacenia paliwa jądrowego w budowanych obecnie reaktorach jądrowych, w których moderatorem neutronów jest zwykła woda. Warunki jakie musiały być spełnione, żeby mogła rozpocząć się w złożu rudy łańcuchowa reakcja rozszczepienia uranu to, oprócz kilkuprocentowej względnej zawartości  $^{235}\text{U}$ , koncentracja uranu w rudzie przekraczająca 10%, odpowiedni kształt i zwartość obszarów o takiej koncentracji uranu i przekraczająca 6% wagowych domieszka wody, spełniającej rolę moderatora neutronów. Ważna jest również jak najmniejsza domieszka nuklidów wychwytyjących neutrony, tzw. trucizn neutronowych.

Najbardziej prawdopodobny scenariusz wydarzeń, które doprowadziły do spełnienia tych warunków w Oklo, jest następujący [6]. Ciężkie ziarna uranitu wymywane ze skał pochodzenia wulkanicznego osiadły na dnie strumieni. Pojawienie się ok. 2 mld lat temu organizmów, wytwarzających tlen w procesie fotosyntezy, spowodowało wystarczającą koncentrację tlenu w wodzie, żeby uran przechodził w lepiej rozpuszczalną postać tlenków i przenoszony przez ciekłe wodne gromadził się w warstwach osadowych delty rzeki wpadającej do oceanu. Duża zawartość rozkładającego się materiału organicznego w osadach zubożała je w tlen, co powodowało redukcję tlenków uranu do mniej rozpuszczalnych związków. Grubość skał osadowych rosła i złoża uranu znajdowały się coraz głębiej. Wypiętrzenia płyt granitowych podłoża spowodowały zsuwanie się warstw piaskowca co sprzyjało tworzeniu się kieszeni, w których gromadziła się ruda uranu o wysokiej koncentracji. W czasie przebiegu reakcji łańcuchowej naturalne reaktory znajdowały się na głębokości ok. 4 km pod powierzchnią ziemi. Zawartość wody krystalizacyjnej i gruntowej nasycającej rudę z nadwyżką wystarczała do spełnienia roli moderatora neutronów. Temperatura wrzenia wody na głębokości złóż przekraczała przypuszczalnie  $300^{\circ}\text{C}$ . Ciepło wytwarzane przez reakcję łańcuchową powodowało stopniowe wyparowanie wody. Wytworzyły się warunki termiczne stabilizujące przebieg reakcji w ciągu setek tysięcy lat. W sześciu naturalnych reaktorach jądrowych zostało wypalonych ok. 6 ton  $^{235}\text{U}$  i wytworzono energię 15 000 MW lat. W ciągu następnych 2 mld lat erozja powierzchni Ziemi spowodowała, że obecnie pozostałość reaktorów znalazła się na małej głębokości i stała się dostępna w kopalni uranu.

Przekonanie, że rozszczepienie uranu jest osiągnięciem cywilizacji okazało się niesłuszne. Przyroda realizowała je miliardy lat temu.

**Literatura**

- [1] E. Brown, R.B. Firestone, *Table of Radioactive Isotopes*, red. V.S. Shirley (Wiley-Interscience, New York 1986).
- [2] R.C. Reedy, J.R. Arnold, D. Lal, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* **33**, 505 (1983).
- [3] *1990 Recommendations of the ICRP*, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP (Pergamon Press, Oxford 1991).
- [4] *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects*, UNSCAER 1982 Report to the General Assembly (UN, New York 1982).
- [5] A. Bouville, W.M. Lowder, *Radiat. Prot. Dosim.* **24**, 293 (1988).
- [6] *International Commission on Radiological Protection. Report of the Task Group on Reference Man*, ICRP Publication 23 (Pergamon Press, Oxford 1975).
- [7] *International Commission on Radiological Protection. Data for Use in Protection Against External Radiation*, ICRP Publication 51, Annals of the ICRP (Pergamon Press, Oxford 1987).
- [8] *Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation*, UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly (UN, New York 1990).
- [9] A. Nero, *Phys. Today*, April 1989, s. 32.
- [10] H. Vanmarcke, P. Berkvens, A. Poffijn, *Health Phys.* **56**, 229 (1989).

**Brian W. Petley**

*Centre for Basic Metrology  
National Physical Laboratory  
Teddington, Wielka Brytania*

## Podstawowe stałe fizyki i spektroskopii\*

### The fundamental constants of physics and spectroscopy

*Abstract:* The paper discusses some of the recent measurements of the fundamental physical constants and their „constancy” (particularly of those measurements relating to Lamb shifts, the fine structure constant, the Planck constant, the Rydberg constant, and the speed of light), and their implications for physics and spectroscopy.

#### 1. Wstęp

Zestaw wielkości zwanych podstawowymi stałymi fizycznymi przedstawiony jest w tab. 1. Elementy tego zbioru, bez wielkości  $k$  i  $G$ , nazywają się podstawowymi stałymi atomowymi i odgrywają bardzo ważną rolę w fizyce atomowej i kwantowej [1]. Istnieją jeszcze inne wielkości, których rola może być ukryta w jednych układach, a w innych nie. Tak więc w układzie SI musimy uważać, by do zespołu podstawowych stałych włączyć jawnie przenikalność elektryczną, przenikalność magnetyczną i impedancję próżni, podczas gdy ich rola w układzie cgs jest mniej widoczna.

Istnieją inne ważne wielkości, które stanowią kombinacje powyższych stałych; niektóre z nich występują tak często, że nadano im własne nazwy. Dwie najważniejsze to stała struktury subtelnej  $\alpha = \mu_0 c e^2 / 2h$  i stała Rydberga  $R_\infty = m_e c \alpha^2 / 2h$ . Jest oczywiste, że pierwsza z tych stałych ma bardzo głę-

---

\*Wykład wygłoszony, na zaproszenie organizatorów, na 23. Konferencji Europejskiej Grupy Spektroskopii Atomowej (EGAS) w Toruniu w lipcu 1991 r. i opublikowany w *Physica Scripta* T40, 5 (1992), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy. [Translated with permission. Copyright ©1992 by the Royal Swedish Academy of Sciences] (przyp. Red.).

bokie znaczenie w fizyce i chciałoby się traktować ją jako wielkość podstawową w miejsce którejś ze zbioru wyjściowego (tab. 1). Istnieje również grawitacyjna stała struktury subtelnej  $\alpha_G = Gm_p^2/\hbar c \cong 5 \times 10^{-39}$ . Odgrywa ona ważną rolę w rozważaniach kosmologicznych dotyczących wczesnych stadiów Wszechświata.

Tabela 1a. Podstawowe stałe fizyczne

Stała	Symbol	Wartość rekomendowana
prędkość światła w próżni	$c$	299 792 458 m s <sup>-1</sup>
masa spoczynkowa elektronu	$m_e$	9.109 389 7(54) $\times 10^{-31}$ kg
masa spoczynkowa protonu	$m_p$	1.672 623 1(10) $\times 10^{-27}$ kg
ładunek elementarny	$e$	1.602 177 33(49) $\times 10^{-19}$ C
stała Plancka	$h$	6.626 075 5(40) $\times 10^{-34}$ J s
stała Avogadry	$N_A, L$	6.022 136 7(36) $\times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>
stała Boltzmanna, $R/N_A$	$k$	1.380 658(12) $\times 10^{-23}$ J s mol <sup>-1</sup>
stała grawitacji Newtona	$G$	6.672 59(85) $\times 10^{-11}$ m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup>

Tabela 1b. Trzy ważne kombinacje podstawowych stałych atomowych

Wielkość	Symbol	Kombinacja	Wartość rekomendowana 1986
stała struktury subtelnej	$\alpha$	$\mu_0 c e^2 / 2h$	0.007 297 353 08(33)
stała Rydberga	$R_\infty$	$m_e c \alpha^2 / 2h$	10 973 731.534(13) m <sup>-1</sup>
grawitacyjna stała struktury subtelnej	$\alpha_G$	$G m_p^2 / \hbar c$	$\approx 5 \times 10^{-39}$

Abstrahując od tego, jaki byłby optymalny zbiór stałych podstawowych, zestaw z tab. 1 dobrze nam służył przez ok. 80 lat. Stałe nie są już dziwactwami fizyki teoretycznej, nie należą też już jedynie do obszaru fizyki, lecz coraz bardziej są potrzebne nowoczesnej technice. W ciągu mniej więcej ostatnich 20 lat dokładność, z jaką znamy wiele ze stałych podstawowych, stała się ograniczona jedynie przez dokładność z jaką można praktycznie realizować jednostki SI, aż do tego stopnia, że czasami można ich używać do definicji jakiejś jednostki, a przynajmniej do utrzymywania stałej wartości jednostki. Dla niektórych celów opłaca

się wyrażać wielkości raczej w jednostkach atomowych (tab. 2) niż w jednostkach SI. To właśnie w spektroskopii stosuje się ten sposób.

Tabela 2. Jednostki atomowe, tzn. układ, w którym wielkościom  $e$ ,  $\hbar$  i  $m_e$  przypisano wartość 1. Wartość prędkości światła w jednostkach atomowych jest równa odwrotności stałej struktury subtelnej 137.035 989 5(61). Dane wzięte z pracy [16] i informacji prywatnej Cohena (1991)

Wielkość	Jednostka	Wartość jednostki
masa	$m_e$	$9.109\,389\,7(54) \times 10^{-31}$ kg
ładunek	$e$	$1.602\,177\,33(49) \times 10^{-19}$ C
działanie	$\hbar$	$1.054\,572\,66(63) \times 10^{-34}$ J s
długość	$a_0$ (promień Bohra)	$5.291\,772\,49(24) \times 10^{-11}$ m
energia	$E_h = \hbar^2/m_e a_0^2$ („hartree”)	$4.359\,748\,2(26) \times 10^{-18}$ J
czas	$\hbar/E_h$	$2.418\,884\,334\,1(29) \times 10^{-17}$ s
prędkość	$a_0 E_h/\hbar$	$2.187\,691\,42(10) \times 10^6$ m s <sup>-1</sup>
siła	$E_h/a_0$	$8.238\,729\,5(25) \times 10^{-8}$ N
pęd	$\hbar/a_0$	$1.992\,853\,4(12) \times 10^{-24}$ N s
natężenie prądu		
elektrycznego	$e E_h/\hbar$	$6.623\,621\,1(20) \times 10^{-3}$ A
natężenie pola		
elektrycznego	$E_h/ea_0$	$5.142\,208\,2(15) \times 10^{11}$ V m <sup>-1</sup>
moment dipolowy		
elektryczny	$ea_0$	$8.478\,357\,9(26) \times 10^{-30}$ C m
gęstość strumienia		
magnetycznego	$\hbar/ea_0^2$	$2.350\,518\,08(71) \times 10^5$ T m
moment dipolowy		
magnetyczny	$e\hbar/m_e$ ( $= 2\mu_B$ )	$1.854\,803\,08(62) \times 10^{-23}$ J T <sup>-1</sup>

## 2. Stała Rydberga i ograniczenia naszej wiedzy o metrze

Przyjęło się wyrażać stałą Rydberga w jednostkach odwrotności długości, mimo że w teorii kwantowej częstota jest wielkością podstawową. Stało się tak częściowo dlatego, że pomiary spektroskopowe dają zwykle długość fali a nie częstota, ale również dlatego, że (ze względu na niedostatecznie dokładną znajomość

prędkości światła) przy konwersji z długości fali do częstości traciło się nieco na dokładności. Jest interesujące, że dokładność najlepszych pomiarów  $c$  polepszała się przez stulecia mniej więcej jak pierwiastek kwadratowy z częstości modulacji pomiaru, aż do widzialnego zakresu widma.

Dziś w zasadzie ten problem nie istnieje. Prędkość światła jest zawarta w naszej definicji metra, a więc jest niejawnie znana z dokładnością równą dokładności realizacji sekundy.

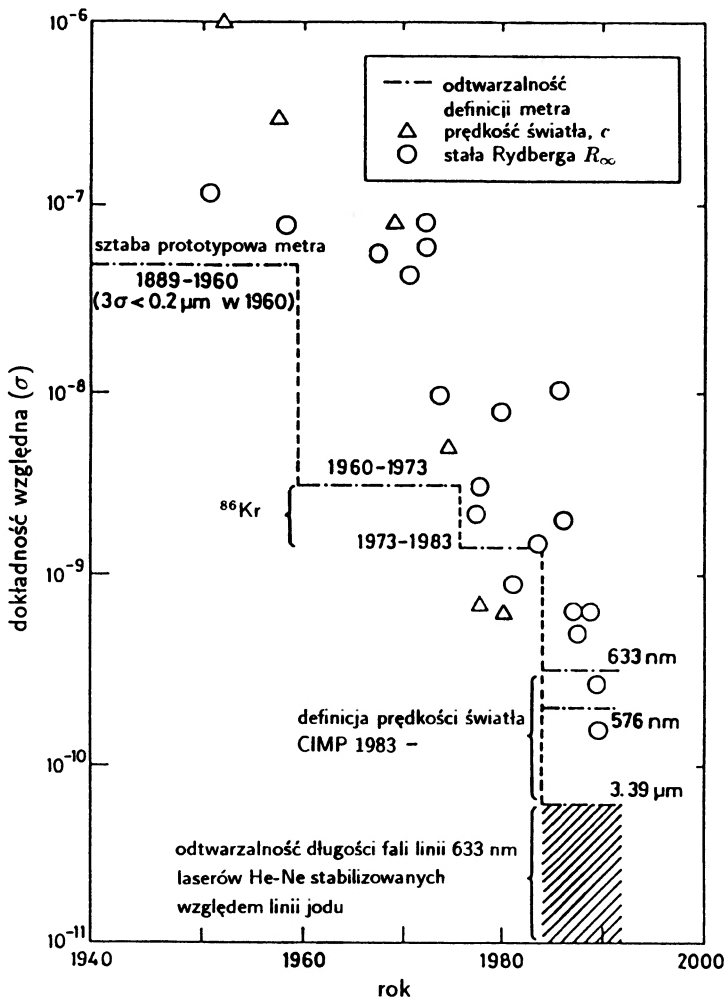
Do chwili obecnej metrologia nie są w stanie rutynowo powiązać pomiarów częstości z mikrofalowego i widzialnego obszaru widma z dokładnością wystarczającą, aby móc wprost stosować definicję metra. Zamiast tego, od 1983 r. metr uzyskuje się przez praktyczną realizację tego co jest zawarte w definicji. Wynika stąd teraz pewien chaos w wynikach o najwyższym stopniu dokładności, co usprawiedliwia używanie w spektroskopii raczej  $\text{cm}^{-1}$  (lub  $\text{m}^{-1}$ ) niż hertza, chociaż niektórzy są na tyle ostrożni, że stosują obie jednostki.

Przez większą część obecnego stulecia pomiary stałej Rydberga i prędkości światła były częściowo ograniczone dokładnością realizacji metra (rys. 1). Tak jest nadal i pewnie będzie w przyszłości, co pozwala spodziewać się, że za kilkanaście lat stałą Rydberga będziemy mierzyć (w hertzach!) z dokładnością względną  $10^{-11}$ . Niedługo odbędzie się spotkanie Komitetu Doradczego Definicji Metra (Consultative Committee for the Definition of the Metre – CCGM) i pewnie znowu dokładność realizacji tej stałej zostanie powiększona.

Jedną z dróg obejścia tej trudności jest pomiar stałej Rydberga w przejściach w obszarze mikrofalowym, a nie widzialnym. Dla wodoru odpowiadałoby to przejściom pomiędzy poziomami o  $n \cong 30$  – właśnie Biraben, Kleppner i in. próbują to robić w Paryżu, w MIT [2] i gdzie indziej. Pomiar taki ma tę dodatkową zaletę, że te elektrony, których przejścia się obserwuje, są dostatecznie daleko od jądra aby można było obliczyć pewne ważne wielkości z dużą dokładnością. Są jednak też strony ujemne tego sposobu – poziomy energetyczne łatwiej podlegają przesunięciu pod wpływem czynników zewnętrznych. Można jednak uzyskać lepsze informacje o przesunięciu Lamba i innych wielkościach kombinując pomiary w obszarze mikrofalowym z pomiarami w obszarze widzialnym widma.

Można sobie wyobrazić, że dostatecznie dobrze zrozumiemy teorię aby posługiwać się stałą Rydberga w celu sprawdzenia dokładności z jaką można powiązać pomiary częstości z obszaru mikrofal i z obszaru widzialnego. To wprawdzie może być fascynujące dla metrologii, ale dla spektroskopii jest mniej interesujące. Fizycy zajmujący się spektroskopią stwierdzili, że ich marzenie wykazania iż wykonali najlepsze pomiary zostało zniszczone przez nieprecyzyjność stosowanej przez nich jednostki długości, a co ważniejsze nie są oni w stanie szukać w teorii niedokładności mogących prowadzić do ważnych odkryć.





Rys. 1. Dokładność pomiarów stałej Rydberga i realizacji metra w ciągu bieżącego stulecia

Z wielu punktów widzenia, mimo uniwersalnej roli jaką odgrywa w spektroskopii stała Rydberga, nie jest rzeczą ważną, by znać jej wartość bezwzględną z najwyższą dokładnością. Ciekawe jest natomiast porównanie wartości uzyskanych dla różnych układów wodoropodobnych, jak wodór, deuter, atom mionowy (mionium), atom pozytonowy (pozytonium) czy pojedynczo zjonizowany hel. Pomocne w takich porównaniach są wyniki bezwzględnych pomiarów długości fal linii telluru, które traktuje się jako linie odniesienia [3,4]. Dokładność wyznaczenia tych długości jest jednak znacznie ograniczona dokładnością realizacji metra i przypuszczalnie będzie się je wykorzystywać tylko przez pewien czas. Dzięki nim

jednak fizycy w laboratoriach uniwersyteckich nie muszą używać wzorca metra i robić pomiarów bardzo różnych długości fal.

Ostatni wielki postęp w pomiarach stałej Rydberga nastąpił wraz z pojawieniem się absorpcyjnej spektroskopii nasyceniowej z użyciem laserów barwnikowych o pracy ciągłej wprowadzonej przez Schawlowa i Hänscha [5-8]. Duża widzialność prążków interferencyjnych wytworzonych przez promieniowanie lasera w interferometrach Fabry'ego-Pérot'a umożliwiła wykorzystanie długich dróg optycznych i uzyskanie rozdzielczości aż do małego ułamka (ok.  $10^{-4}$ ) prążka, a więc w ten sposób doprowadziła do zwiększenia dokładności pomiaru długości fali. Wyznaczanie stałej Rydberga metodami spektroskopii laserowej postępowało od początkowych pomiarów długości fali dla linii  $\alpha$  serii Balmera i serii Lymana aż do wyższych linii serii Balmera, zarówno dla wodoru jak i dla deuteru. W większości przypadków szerokość linii fabrycznych laserów barwnikowych (500 kHz) wystarczała, gdyż czasy życia stanów atomowych ograniczają rozdzielczość. W badaniach przejścia 1S-2S metodą dwufotonową linie o mniejszej szerokości niż podana wyżej mogą być przydatne i w przyszłości może będzie się używać promieniowania laserowego o szerokości linii mniejszej od 1 Hz, uzyskanego już przez Halla i in. [9].

Imponującą dokładność uzyskaną w pomiarach stałej Rydberga można właściwie ocenić na podstawie wartości stosunków  $m_p/m_e$ , które otrzymuje się z pomiarów różnicy długości fal dla wodoru, deuteru itd., tzn. z przesunięć izotopowych. Uzyskano już wartości  $m_p/m_e$  leżące w granicach ośmiokrotnej dokładności bardziej bezpośrednich pomiarów w pułapkach jonowych, będące w dobrej zgodności z nimi (por. tab. 3). Ta zgodność prawie wyklucza możliwość, że przy obecnym poziomie dokładności pozostaje w atomie wodoru jakaś nieznaną jeszcze fizyka.

Jedną z wielkich niespodzianek w spektroskopii było przed kilku dziesiątkami lat przewidzenie i zaobserwowanie przesunięć Lamba. Wzięcie pod uwagę tych przesunięć jest konieczne do wyznaczenia z dużą dokładnością wartości stałej Rydberga z pomiarów długości fali. Pomiary przesunięć Lamba w układach jedno- i dwuelektronowych prowadzone są nadal w uniwersytetach Harvarda, Yale i gdzie indziej [10-11] z coraz większą dokładnością. Ponieważ przesunięcie Lamba zmienia się jak  $Z^4$ , więc korzystnie jest robić pomiary tych przesunięć dla wielokrotnie zjonizowanych atomów znacznie cięższych od wodoru (np. dla wodoropodobnego fosforu [12] i helopodobnego boru [13]). Prawdopodobnie w bliskiej przyszłości dojdziemy tu do  $U^{+91}$  [14]. Na ogół pomiary przesunięcia Lamba, mimo że w niektórych przypadkach osiągają względną dokładność  $10^{-9}$ , uważa się raczej za precyzyjny sprawdzian elektrodynamiki kwantowej (QED) niż za źródło informacji o wartości stałej struktury subtelnej. Można być jednak pewnym, że gdyby

pojawiły się większe różnice w wynikach pomiarów, to spowodowałyby to ponowną ocenę wszystkich źródeł informacji o stałej struktury subtelnej.

Tabela 3. Podsumowanie wyników pomiarów stałej Rydberga od 1978 r. Pomiarom podlegały linie  $\alpha$ ,  $\beta$  itd. serii Balmera i przejście 1S–2S (dane z gwiazdką) wodoru i deuteru

Rok	Grupa	$R_\infty - 10\,973\,731\text{ m}^{-1}$
1978	Goldsmith <i>et al.</i>	0.500(32)
1980	Petley <i>et al.</i>	0.521(64)
1981	Amin <i>et al.</i>	0.544(11)
1986	Hildum <i>et al.</i> *	0.492(21)
1986	Barr <i>et al.</i> *	0.500(100)
1986	Biraben <i>et al.</i>	0.569(6)
1986	Zhao <i>et al.</i>	0.569(6)
1987	Zhao <i>et al.</i>	0.573(3)
1987	Beausoleil <i>et al.</i> *	0.571(7)
1989	Boshier <i>et al.</i> *	0.573(3)
1990	Garreau <i>et al.</i>	0.5709(17)
	Obecnie rekomendowana wartość, CODATA (1986)	0.534(13)

### 3. Struktura nadsubtelna atomów wodoropodobnych

Rozszczepienie nadsubtelne  $\Delta\nu_n$  wodorowego stanu  $s$  o głównej liczbie kwantowej  $n$  można wyrazić jako

$$\Delta\nu_n = (\Delta\nu_0/n^3)[M/(M + m_e)]^3(1 + b_n + q_n + \delta_n),$$

gdzie  $M$  jest masą jądra,  $m_e$  masą elektronu,  $\Delta\nu_0$  jest nierelatywistycznym wyrazem kontaktowym Fermiego struktury nadsubtelnej dla punktowego jądra o nieskończonej masie, zaś  $b_n$ ,  $q_n$ ,  $\delta_n$  są różnymi składnikami relatywistycznymi:  $b_n$  jest relatywistyczną poprawką Breita, która jest rzędu  $(Z\alpha)^2$ ,  $q_n$  oznaczają poprawki radiacyjne, z których największa jest związana z anomalnym momentem magnetycznym elektronu ( $g_e - 2 \cong \alpha/2\pi$ ),  $\delta_n$  opisuje efekty struktury jądra

i zawiera różne wkłady pochodzące z odrzutu i struktury nadsubtelnej, które są rzędu  $(Z\alpha)^2 m_e/m_p$ . Rozszczepienie  $\Delta\nu_0$  dane jest wyrażeniem

$$\Delta\nu_0 = \frac{8}{3} Z^3 \alpha^2 R_\infty c g_I (m_e/m_p) (I + \frac{1}{2}),$$

gdzie  $g_I$  jest jądrowym czynnikiem Landégo dla jądra o spinie  $I$ ,  $m_p$  jest masą protonu,  $R_\infty$  – stałą Rydberga dla nieskończonej masy.

Dominująca niepewność rozszczepienia nadsubtelnego stanu podstawowego 1S atomowego wodoru wynika z kombinacji efektów wielkości jądra i polaryzowalności elektromagnetycznej, co wynosi ok. 34.6 części na milion. Oznacza to, że wprawdzie rozszczepienie  $\Delta\nu_1$  dla atomowego wodoru zostało zmierzone ze względną dokładnością  $10^{-12}$  i w ten sposób jest najdokładniej znaną stałą fizyczną, to jednak pomiar tej wielkości wnosi niewiele do naszej znajomości stałej struktury subtelnej, gdyż teoretyczna niepewność jest rzędu  $10^{-6}$ . Polaryzowalność protonu jest dość interesująca, tym bardziej że obecne wyniki na poziomie dokładności 1 część na milion (dla  $\alpha^{-1}$ ) dają się pogodzić z założeniem, że polaryzowalność ta jest bliska zeru. W każdym razie elektryczna i magnetyczna polaryzowalność protonu została ostatnio zmierzona przez Federspiela i in. [15], warto więc znowu przyjrzeć się dokładności, z którą wartość stałej struktury subtelnej można otrzymać z rozszczepienia nadsubtelnego podstawowego stanu wodoru.

Wiele błędów wynikających z efektów jądrowych i innych można zmniejszyć biorąc różnice między rozszczepieniem nadsubtelnym stanu podstawowego i odpowiedniego stanu wzbudzonego. Ze względów praktycznych robi się to tylko dla stanu podstawowego i stanu metatrwałego 2S. Tworzy się albo różnicę  $D_{21}$  albo stosunek  $R_{21}$ , tzn.  $D_{21} = 8\Delta\nu_2 - \Delta\nu_1$  albo  $R_{21} = 8\Delta\nu_2/\Delta\nu_1 - 1$ . Chociaż w literaturze częściej spotyka się stosunek, nieraz trudno go otrzymać z teorii z taką samą dokładnością. Porównania teorii z doświadczeniem zrobiono dla H, D,  $^3\text{He}^+$ ,  $^6\text{Li}^{++}$  i  $^7\text{Li}^{++}$ . Takie pomiary stanowią ważne sprawdzenie teorii, jednak brak im dostatecznej dokładności by mogły służyć do ustalenia „najlepszych” wartości.

Pomiary rozszczepienia struktury subtelnej helu, wykonane przez Kpono, Hughesa i in. (patrz Cohen i Taylor [16]), mają dostateczną dokładność aby nadawać się do obliczeń wartości wejściowej stałej struktury subtelnej w opracowaniu z 1986 r. Mimo, że poczyniono znaczny postęp w dokładności zarówno pomiarów jak i obliczeń, to jednak przewyższyły je postępy w konkurencyjnych pomiarach i ani pomiary przesunięcia Lamba, omawiane powyżej, ani pomiary spektroskopowe rozszczepienia struktury subtelnej nie przyczyniły się bezpośrednio do naszej obecnej wiedzy o wartości  $\alpha$ . Nadal, oczywiście, panuje duże zainteresowanie tak dokładnymi pomiarami spektroskopowymi, gdyż dostarczają one dobrego

sprawdzianu coraz dokładniejszych obliczeń QED.

Rozszczepienie nadsubtelne w widmie mionium również nadaje się do dokładnych obliczeń i tu też teoria została poprawiona. Wyniki pomiarów odstepu subtelnego  $2^2S_{1/2}-2^2P_{3/2}$  dla mionium, wykonanych wspólnie przez fizyków w Yale, Heidelbergu i w innych ośrodkach, zostały ostatnio przedstawione przez Kettella i in. [17]. Osiągnięta dokładność pozwala już na sprawdzenie poprawek do rozszczepienia subtelnego pochodzących od masy zredukowanej.

#### 4. Obecnie rekomendowany zestaw wartości podstawowych stałych fizycznych

W miarę jak nauka i technika pozwalają na ustalenie coraz dalszych miejsc dziesiętnych w zbiorze wartości stałych fizycznych, coraz silniejsze staje się przekonanie o tym, że jest to jedyny zbiór rekomendowanych wartości. Zwykle można dokładniej wyznaczyć kombinacje stałych niż same stałe, wobec czego występują trudności w ustaleniu, co powinno do tego zbioru wchodzić. R.T. Birge był w 1929 r. pionierem kwazistatystycznej metody uzyskania jedynego zbioru wartości na podstawie, często bardzo niewspółmiernych, danych. Tę usługę dla fizyki udoskonalało i kontynuowało wielu innych. Dziś wykonują ją E. Richard Cohen i Barry N. Taylor pod patronatem Grupy Podstawowych Stałych Fizycznych CODATA. Ostatnie opracowanie<sup>1</sup> zostało zakończone w 1986 r., można się spodziewać, że następne pojawi się ok. 1993 r., jeśli tylko dokładność danych dostatecznie się polepszy.

Podobnie jak w poprzednich opracowaniach dane doświadczalne dostępne do końca 1986 r. można było rozdzielić na grupę nazwaną „stałe pomocnicze” i na pozostałe, których wartości zostały opracowane. Stałe pomocnicze znane są z dokładnością ok. dziesięciokrotnie większą niż pozostałe. Ta grupa zawierała prędkość światła, stałą Rydberga, stosunek masy protonu do masy elektronu  $m_p/m_e$ , wielkość  $(1 + m_e/m_p)$  itp. oraz kombinacje momentów magnetycznych elektronu, mionu i protonu:  $\mu_e/\mu_p$ ,  $\mu_p/\mu_B$ ,  $\mu_p'/\mu_B$ ,  $g_e/2$  i  $g_\mu/2$ . Dodatkowymi wielkościami były tu lokalne przyspieszenie grawitacyjne, wolt „utrzymywany” na podstawie efektu Josephsona i szybkość zmian „utrzymywanej” wartości  $\alpha$ .

Pomiary doświadczalne dotyczyły bezwzględnej realizacji wolta, ampera i  $\alpha$ , stałej Faradaya dla srebra, stosunku giromagnetycznego dla protonu, wyznaczonego metodą słabego pola i metodą silnego pola, stałej sieci i objętości molowej krzemu; wchodziły tu również dane związane ze stałą struktury subtel-

---

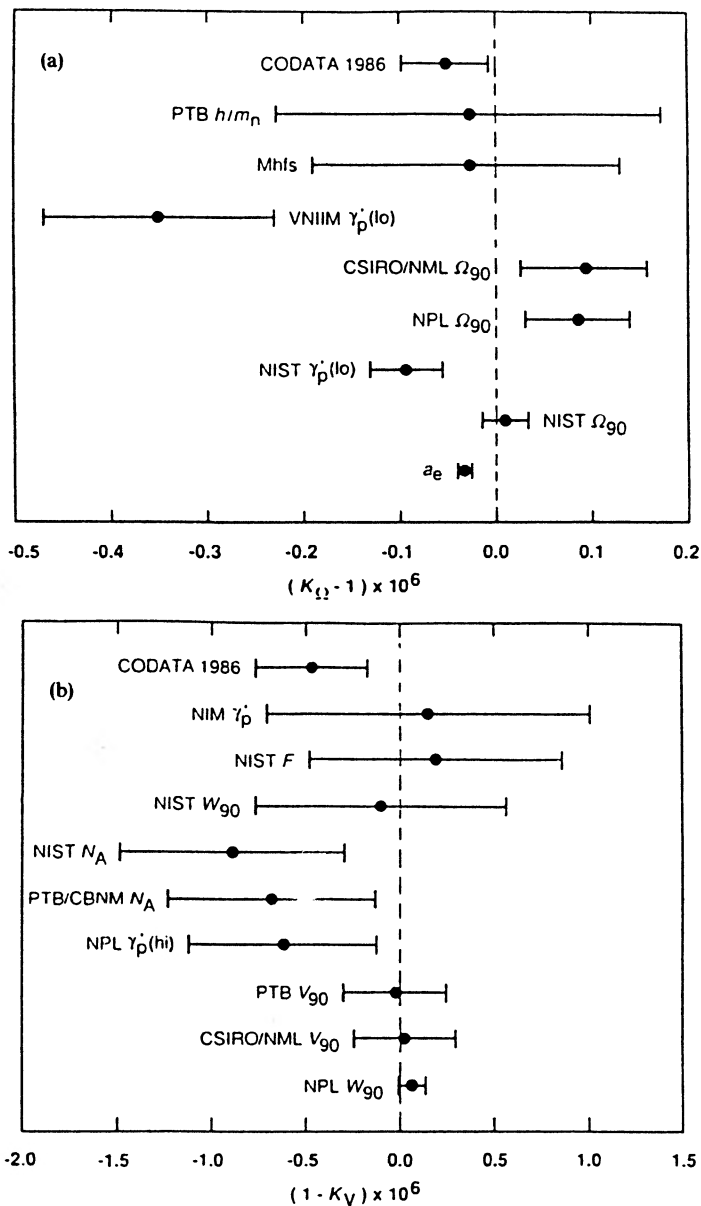
<sup>1</sup> Patrz *Postępy Fizyki* 40, z. 2 (1989) – Red.

nej, jak  $g_e - 2$ , kwantowy opór Halla, rozszczepienie subtelne w widmie helu i nadsubtelne rozszczepienie dla mionium. Trzeba tu dodać, że ulepszone pomiary stałej sieci krzemu [18] doprowadziły do zarzucenia specjalnej jednostki, dawniej stosowanej w pomiarach długości fali promieniowania rentgenowskiego, nazywanej się Siegbahn, czyli  $\text{\AA}^*$  (wprowadzonej w 1925 r. przez M. Siegbahna [19] i bardzo zbliżonej do  $1 \text{ m\AA}$ ).

Tabela 4. 11 empirycznych równań, na podstawie których Taylor i Cohen [20] w 1990 r. prowizorycznie opracowali wartości  $K_V$ ,  $\mu_\mu/\mu_p$  i  $K_\Omega$

Wielkość mierzona (1990)	Równanie
1 realizacja oma	$\Omega_{90} = K_\Omega \Omega$
2 realizacja wata	$W_{90} = K_\Omega^{-1} K_V^2 W$
3 realizacja wolta	$V_{90} = K_V V$
4 stała Faradaya	$F_{90} = \left( \frac{\mu_0^2 c^3 K_{J-90} M_p}{16 R_{K-90}^2 R_\infty (m_p/m_e)} \right) K_\Omega^{-1} K_V^{-2}$
5 stosunek giromagnetyczny protonu w słabym polu, w wodzie	$\gamma_p(\text{low})_{90} = \left( \frac{\mu_0^2 c^3 K_{J-90} (\mu'_p/\mu_B)}{16 R_{K-90}^2 R_\infty} \right) K_\Omega^{-3}$
6 stosunek giromagnetyczny protonu w silnym polu, w wodzie	$\gamma_p(\text{hi})_{90} = \left( \frac{\mu_0^2 c^3 K_{J-90} (\mu'_p/\mu_B)}{16 R_{K-90}^2 R_\infty} \right) K_\Omega^{-1} K_V^{-2}$
7 stosunek giromagnetyczny protonu	$\gamma_p = \left( \frac{\mu_0^2 c^3 K_{J-90} (\mu'_p/\mu_B)}{16 R_{K-90}^2 R_\infty} \right) K_\Omega^2 K_V^{-1}$
8 stała Avogadry	$N_A = \left( \frac{\mu_0^2 c^3 K_{J-90}^2 M_p}{32 R_{K-90} R_\infty (m_p/m_e)} \right) K_\Omega^{-1} K_V^{-2}$
9 stała struktury subtelnej (z $g_e - 2$ )	$\alpha^{-1} = (2 R_{K-90} / \mu_0 c) K_\Omega$
10 moment magnetyczny mionium	$\mu_\mu / \mu_p = \mu_\mu / \mu_p$
11 struktura nadsubtelna mionium	$\nu_{\text{HFS}} = \left( \frac{4 \mu_0^2 c^3 R_\infty (\mu_\mu / \mu_p) q}{3 R_{K-90}^2 (1 + m_e/m_\mu)^3} \right) K_\Omega^{-2} (\mu_\mu / \mu_p)$

$q = 1.000\,957\,65(14)$



Rys. 2. Wyniki pomiarów, które miały wpływ na opracowane wartości (a)  $\alpha$  i (b) wolta, wg [20]

Wyniki pomiarów dwóch z jedenastu wielkości mających wpływ na wyznaczenie  $\alpha$ , jak wskazują to równania w tab. 4, są pokazane na rys. 2 [20]. Jednym ze skutków polepszonej dokładności jest to, że rola pomiaru może się zmieniać. Na przykład, wyniki doświadczeń dla uzyskania wartości  $g_e - 2$  mają 3.8 razy

mniejszą niepewność niż stosunek giromagnetyczny protonu, który ostatnio służy raczej do pomiarów bezwzględnej wartości utrzymywanego  $\alpha$ , a nie  $\alpha$  (tab. 5). Można więc napisać [20]:

Tabela 5. Zmieniająca się rola stosunku giromagnetycznego protonu w słabym polu w kolejnych opracowaniach, { } – wielkości opracowane

Rok	Wyrażenie zawierające niewiadome, które należało oszacować
1973: opracowanie	$\gamma_p(\text{low}) = \left[ \frac{c(\mu'_p/\mu_B)(2e/h)_{B169}}{4R_\infty} \right] \{ \alpha^2 K_{\Omega B169}^{-1} \}$
1986: opracowanie	$\gamma_p(\text{low})_{B185} = \left[ \frac{c(\mu'_p/\mu_B)E_J}{4R_\infty} \right] \{ \alpha^2 K_\Omega^{-1} \}$
1990: raport o stanie prac	$\gamma_p(\text{low})_{90} = \left[ \frac{\mu_0^2 c^3 K_{J-90}(\mu'_p/\mu_B)}{16R_{K-90}^2 R_\infty} \right] \{ K_\Omega^{-3} \}$
1991: efekt Josephsona, kwantowy efekt Halla, elektrodynamika kwantowa	$\gamma_p(\text{low})_{90} = \left[ \frac{cR_{K-90}K_{J-90}(\mu'_p/\mu_B)}{4R_\infty} \right] \{ R_K^{-1} K_J^{-1} \alpha^2 (2e/h) \}$

$$\alpha^{-1} = \left[ \frac{K_{J-90} R_{K-90} (\mu'_p/\mu_B)}{2\mu_0 R_\infty \gamma'_p(\text{low})} \right]^{1/2}$$

lub, jeśli chce się włączyć  $(2e/h)$  jako opracowaną stałą [21]:

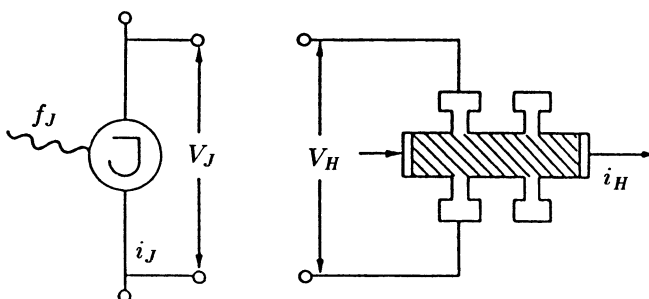
$$\gamma'_p(\text{low})_{90} = \frac{cK_{J-90} R_{K-90} (\mu'_p/\mu_B)}{4R_\infty} R_K^{-1} K_J^{-1} \alpha^2 (2e/h).$$

Jest jeszcze inny interesujący aspekt, który można uwydatnić rozpatrując dane dotyczące obecnych pomiarów stałej Plancka. Wyobraźmy sobie pomiar kwantowego efektu Halla prądem dobranym tak, by napięcie hallowskie na  $i$ -tym schodku było równe napięciu na złączu Josephsona oświetlonym promieniowaniem mikrofalowym o częstotliwości  $f$  i będącym na  $n$ -tym schodku prądu nadprzewodnictwa. Wówczas mamy (rys. 3)



złącze Josephsona

kwantowy opór Halla



$$V_J = (h/2e)nf_J; \quad V_H/i_H = (h/e^2)/i = R_H$$

Jeżeli  $V_J = V_H$

$$\text{to } V_J^2/R_H = \frac{h}{4}(in^2f_J^2)$$

$$\text{oraz } i_H = \frac{e}{2}\left(\frac{nf_J}{i}\right)$$

Rys. 3. Pokazano jak w wyrażeniu na napięcie na złączu Josephsona i na kwantowy opór Halla wchodzi stała Plancka i wat

$$V_H = V_J = (h/2e)nf, \quad \text{tzn.} \quad V_H^2/R_H = h\left(\frac{n^2f^2i}{4}\right),$$

a więc wydzielona moc jest miarą stałej Plancka [22]. Jeśli opór Halla powiążemy z utrzymywanym w laboratorium oporem  $1 \Omega$ , a napięcie Josephsona – z utrzymywanym w laboratorium napięciem  $1 \text{ V}$ , to zrozumiemy, że nasza obecna znajomość stałej Plancka jest ograniczona dokładnością realizacji wata [23] wyrażonego przez metr, kilogram i sekundę, bowiem zarówno kwantowy opór Halla jak i napięcie Josephsona można zrealizować z bardzo dużą dokładnością za pośrednictwem utrzymywanym w laboratorium jednostek elektrycznych.

### 5. Stała struktury subtelnej i anomalne momenty magnetyczne leptonów

Momenta magnetyczne leptonów różnią się nieco od wartości oczekiwanych na podstawie prostej teorii. W przypadku elektronu taką wielkością jest magneton Bohra  $\hbar e/2m_e$ . Anomalię czynnika Landégo  $g$  dla elektronu

$$a_e = \mu_e/\mu_B - 1 = (g_e - 2)/2$$

można wyrazić w postaci szeregu potęgowego względem stałej struktury subtelnej  $\alpha$ :

$$\frac{1}{2}(g_e - 2) = a_e = \alpha/2\pi + C_2(\alpha/\pi)^2 + C_3(\alpha/\pi)^3 + C_4(\alpha/\pi)^4 + \dots + \delta a_e.$$

Obliczenia w przypadku elektronu zostały już przeprowadzone aż do rzędu  $(\alpha/\pi)^6$  i dały:  $C_2 = -0.328\,478\,444$ ,  $C_3 = 1.1763(13)$ ,  $C_4 = -0.8 \pm 2.5$ . Wielkość  $\delta a_e = 1.69(4) \times 10^{-12}$  jest składnikiem nie pochodzącym z QED. Te wartości zostały użyte w opracowaniu CODATA z 1986 r. Od tego czasu Kinoshita i wsp. [24] obliczyli je powtórnie, usuwając pewne początkowe niezgodności. Obliczenia takie stanowią poważne teoretyczne osiągnięcie, wymagają bowiem uwzględnienia 856 diagramów Feynmana.

Najnowsze wartości, przytoczone przez Taylora i Cohena [20] są:  $C_2 = -0.328\,478\,965 \dots$ ,  $C_3 = 1.176\,11(42)$ ,  $C_4 = -1.434(138)$ ,  $\delta a_e = 4.46(35) \times 10^{-12}$ . Obecnie względna niepewność  $\alpha$  wynosi  $6.9 \times 10^{-9}$ , w tym  $5.8 \times 10^{-9}$  pochodzi z teorii, a  $3.7 \times 10^{-9}$  z doświadczenia.

Od 1986 r. nastąpiła dziesięciokrotna poprawa dokładności, zarówno w teorii jak i w doświadczeniu, ale nie wiadomo, czy dalsze ulepszenia obliczeń będą mogły nadążyć za postępem doświadczeń wykonywanych w pułapkach Penninga.<sup>2</sup> Wartości stałej struktury subtelnej wyznaczone z  $g_e - 2$  są obecnie ok. 3.5 raza bardziej dokładne niż wartości otrzymane z kwantowego oporu Halla  $R_H$ . Oznacza to, że prawdopodobnie będą one służyć jako stałe pomocnicze w opracowaniu z 1993 r. Jeżeli tak się stanie, główna uwaga skupi się na opracowaniu najlepszych wartości utrzymywanego wolta i oma a nie na wyznaczeniu wartości podstawowych stałych fizycznych.

Najdokładniejsze bezpośrednie pomiary momentu magnetycznego mionu nadal pochodzą z CERN-u. Można je porównać z wartościami wynikającymi z pomiarów rozszczepienia nadsubtelnego w widmie mionium w polu magnetycznym, przeprowadzonych przez Mariama i in. [25] i z pomiarów precesji, wykonanych przez Klempta i in. [26]. Polegają one na pomiarze wielkości analogicznej do  $\mu_p/\mu_B$ , który przeprowadza się wzbudzając dwa przejścia mikrofalowe w układzie czterech poziomów,  $\Delta\nu_{12}$  i  $\Delta\nu_{34}$ , w polu 1.36 T. Niestety, dokładność tego wkładu do naszej wiedzy o stałej struktury subtelnej, ogranicza obecnie teoria

<sup>2</sup> Patrz artykuł H. Dehmelta, *Postępy Fizyki* **42**, 489 (1991) – Red.

rozszczenia nadsubtelnego w atomie mionowym, gdyż ma ona ok. 10 razy większą niepewność ( $0.36 \times 10^{-6}$ ) niż doświadczenie ( $0.036 \times 10^{-6}$ ). Pomimo stałych postępów teorii, pozostanie to jeszcze nadal problemem [27], należy się bowiem spodziewać, że wkrótce nastąpi dziesięciokrotny wzrost dokładności doświadczałnej. Tak przewidują Hughes i wsp. [33], którzy badali ostatnio przesunięcie Lamba w atomie mionowym w stanie  $n = 2$ , wzbudzając przejście  $2^2S_{1/2} - 2^2P_{3/2}$  [17].

Wartość comptonowskiej długości fali neutronu  $h/m_n$  została zmierzona z dużą dokładnością w Physikalisch-Technische Bundesanstalt przez Krügera i in. [28] i można jej też użyć do obliczenia wartości stałej struktury subtelnej:

$$\alpha^{-1} = [(2R_\infty/c)(m_n/m_p)(m_p/m_e)(h/m_n)]^{1/2}.$$

Autorzy podają wartość  $h/m_n = 3.956\,034\,4(16) \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , co daje  $\alpha^{-1} = 137.035\,993(27)$ .

## 6. Zastosowanie stałych podstawowych do dokładnych sprawdzianów stałych fizycznych

Opracowywanie najlepszych wartości liczbowych podstawowych stałych fizycznych pozwala sprawdzić, czy nasza wiedza o fizyce jest tak dogłębna jak sądzimy. Tak na przykład, w trakcie ostatniego opracowania można było zbadać czy wartość stałej struktury subtelnej otrzymana z pomiarów kwantowego efektu Halla jest taka sama jak uzyskana z innych źródeł. Badali to Cohen i Taylor zarówno w swoim przeglądzie z 1986 r. jak i później [21]. Doszli do wniosku, że te wartości są takie same z dokładnością  $10^{-8}$ , ale że pomiędzy poszczególnymi wynikami doświadczeń są na tyle duże różnice, że warto jest prowadzić pomiary dalej.

Fischbach i in. [29] wykorzystali w 1991 r. mniej więcej te same dane aby sprawdzić uniwersalność stałej Plancka – z wynikiem pozytywnym na tym samym poziomie dokładności. Nie jest oczywiste, czy można sensownie poddawać dyskusji takie problemy jak stałość  $h$ , ponieważ aby to uczynić trzeba założyć, że jakiegokolwiek jednostki użyte do wyrażenia  $h$  (jak np. džul sekunda) musiałyby pozostać niezmienione przy przechodzeniu od jednej sytuacji fizycznej do innej i że one same nie zależałyby w przybliżeniu pierwszego rzędu od  $h$ .

Hartland i in. [30] badali zależność kwantowego oporu Halla od rodzaju materiału i porównywali napięcie Halla na drugim schodku (plateau) w arsenku galu i na czwartym schodku w krzemie. Stwierdzili, że

$$R_H(2; \text{GaAs})/R_H(4; \text{Si}) = 2[1 - 0.22(3.5) \times 10^{-10}],$$

co znaczy, że w granicach doświadczalnego odchylenia standardowego ( $3.5 \times 10^{-10}$ ) efekt materiałowy nie występuje.

Innym ciekawym zagadnieniem jest, czy ładunki i masy odpowiednich antycząstek są sobie równe. Tu doświadczenia spektroskopii mas z użyciem pułapek jonowych nadal dają imponujące wyniki [31,32] (tab. 6). Można również uznać, że takie pomiary dają informacje czy przesunięcie ku czerwieni jest jednakowe dla cząstek i odpowiednich antycząstek w tym samym polu grawitacyjnym, a więc mogą stanowić sprawdzian zasady słabej równoważności [33,34]. Pomiary dla elektronu i pozytonu oraz dla protonu i antyprotonu wykazały, że przyspieszenie grawitacyjne cząstki i odpowiedniej antycząstki różni się o mniej niż  $10^{-3}g$  (dla pierwszej pary cząstek) i o  $5 \times 10^{-4}g$  (dla drugiej pary) –  $g$  jest tu lokalnym przyspieszeniem grawitacyjnym. Jeszcze dokładniejsze wyniki mogłyby dać, gdyby udało się je przeprowadzić, badania spektroskopowe struktury nadsubtelnej i przejścia 1S – 2S w widmie antywodoru (np. [35]). Ostatnio zaobserwowano tworzenie wodoru w wyniku rekombinacji promienistej elektron-proton wymuszonej promieniowaniem lasera [36,37]. Być może uda się na tej drodze uzyskać także antywodór, przy czym to samo promieniowanie będzie chłodzić wytworzone atomy. Ponadto metoda ta powinna ułatwić obserwację innych mało wydajnych procesów rekombinacyjnych.

Tabela 6. Porównanie wartości stosunku mas elektronu i pozytonu oraz protonu i antyprotonu, a także czynników Landégo uzyskanych z pomiarów w pułapce Penninga i na podstawie stałej Rydberga (\*)

Stosunek	Wynik	Źródło
$m_{\bar{e}}/m_e$	1.000 000 000(130)	Schwinberg <i>et al.</i> (1981)
$m_{\bar{p}}/m_p$	0.999 999 977(42)	Gabrielse <i>et al.</i> (1991)
$m_p/m_e$	1836.152 680(88)	Gabrielse <i>et al.</i> (1991)
$m_{\bar{p}}/m_e$	1836.152 660(83)	Gabrielse <i>et al.</i> (1991)
$m_p/m_e$	1836.152 59(24)	Garreau <i>et al.</i> (1990)*
$6\pi^5$	1836.118 1...	Lenz (1957) i Alpher (1973), „teoria”
$g_e(e^+)/g_e(e^-)$	$1 + (0.5 \pm 2.1) \times 10^{-12}$	van Dyck <i>et al.</i> (1987)

W centrum uwagi pozostaje również nadal sprawa anizotropii prędkości światła. Ogólnie można wyrazić transformację z wybranego układu odniesienia do poruszającego się układu jako

$$t = a(v)T + ex, \quad x = b(v)(X - vT), \quad y = d(v)Y, \quad z = d(v)Z,$$

gdzie  $e$  zależy od sposobu synchronizacji zegarów, zaś parametry transformacji, w wyniku izotropii w wybranym układzie odniesienia, są funkcjami parzystymi  $v/c$ :

$$a(v) = 1 + \alpha'(v/c)^2 + \dots,$$

$$b(v) = 1 + \beta(v/c)^2 + \dots,$$

$$d(v) = 1 + \delta(v/c)^2 + \dots$$

Z równań tych wynika, że promień światła rozchodzący się pod kątem  $\theta$  do osi  $x$  w układzie poruszającym się będzie miał prędkość

$$c(\theta) = c[(1 + \frac{1}{2} - \beta + \delta)(v/c)^2 \sin^2 \theta + (\beta - \alpha - 1)(v/c)^2].$$

Szczególne teorie względności stwierdza, że  $\alpha' = -\frac{1}{2}$ ,  $\beta = \frac{1}{2}$ ,  $\delta = 0$ , co odpowiada  $c(\theta) = c$  we wszystkich układach odniesienia, a więc prawdziwość tego równania jest bardzo ważnym sprawdzianem słuszności szczególnej teorii względności. Dane eksperymentalne czerpiemy z doświadczeń Michelsona-Morleya, Kennedy'ego-Thorndike'a a także z doświadczeń mössbauerowskich i optycznych, które dają parametr dylatacji czasu  $\alpha'$  (tab. 7). Hall i Hils [38] ulepszyli doświadczenia Kennedy'ego-Thorndike'a, poprawiając dokładność ok. 300 razy. Takie eksperymenty pokazują, jak małe dotychczas efekty, np. efekty wynikające ze szczególnej teorii względności, mogą zostać sprawdzone ze znaczną czułością w doświadczeniach o dużym stopniu dokładności. W przeprowadzonym przez Brilleta i Halla [39] doświadczeniu Michelsona-Morleya obserwowano dudnienia fal wysyłanych przez dwa lasery stabilizowane, stacjonarny i obracający się, z dokładnością  $\pm 2.5 \times 10^{-15}$ , a pomiary zjawiska Kennedy'ego-Thorndike'a przeprowadzono [40] porównując częstość lasera stabilizowanego na linii jodu i lasera stabilizowanego względem wężki odniesienia o długości 300 mm z dokładnością  $\Delta\nu/\nu < 2 \times 10^{-13}$ .

W takich pomiarach poszukuje się efektów pochodzących od wyróżnienia w przestrzeni pewnej osi. Obecnie do definicji tej osi wykorzystuje się anizotropię mikrofalowego promieniowania tła przestrzeni kosmicznej. W rezultacie, interpretacja powyższych wyników z punktu widzenia ich konsekwencji dla teorii

względności może wymagać rewizji wobec przyszłych pomiarów tła mikrofalowego robionych w przestrzeni kosmicznej. Powyższe wyniki nie wykluczają jeszcze odchylenia od izotropii prędkości światła biegnącego tylko w jedną stronę (w odróżnieniu od doświadczeń z obiegiem światła tam i z powrotem). Taka możliwość była jednak badana zarówno w doświadczeniu z absorpcją dwufotonową w przejściu  $3s[\frac{3}{2}]_2^0 - 4d'[\frac{5}{2}]_3^0$  w wiązce szybkich atomów  $^{20}\text{Ne}$  przez Riisa i in. [41], jak i w doświadczeniu z dwoma maserami wodorowymi w stacji kosmicznej (Deep Space Tracking Stations NASA-JPL) przez Krishera i in. [42]. Riis stwierdził, że  $\Delta c/c \leq 3 \times 10^{-9}$ , a Krisher, że  $\Delta c/c \leq 3.5 \times 10^{-7}$  i  $\Delta c/c \leq 2 \times 10^{-8}$  odpowiednio dla liniowej i kwadratowej zależności prędkości światła w stosunku do tła kosmicznego.

Tabela 7. Podsumowanie ostatnich sprawdzianów izotropii prędkości światła

Parametr	Metoda	Wynik	Źródło
$\alpha'$	dylatacja czasu	$\alpha' = -\frac{1}{2} \pm 1 \times 10^{-7}$	[38-40]
$\beta - \delta$	Michelson-Morley	$\beta - \delta = \frac{1}{2} \pm 5 \times 10^{-9}$	[38-40]
$\alpha' - \beta$	Kennedy-Thorndike*	$\alpha' - \beta = -1 \pm 6.6 \times 10^{-5}$	[38]
$\Delta c/c$	prędkość w jednym kierunku (wiązka atomów $^{20}\text{Ne}$ )	$\Delta c/c \leq 3 \times 10^{-9}$	[41]
$\Delta c/c$	prędkość w jednym kierunku (maser wodorowy w przestrzeni kosmicznej)	$\Delta c/c \leq 3.5 \times 10^{-7}$ (zal.lin.) $\Delta c/c \leq 2 \times 10^{-8}$ (zal.kwadr.)	[42]

\*Jeżeli uwzględnić wyżej podaną wartość parametru  $\alpha'$ , otrzymujemy  $\beta = -\frac{1}{2} \pm 7 \times 10^{-5}$  i  $\delta = 0 \pm 7 \times 10^{-7}$ .

Inne własności światła są poddawane bardzo surowym sprawdzianom i wiele z tych badań jest jednocześnie sprawdzianem szczególnej teorii względności. Trudno wprost sobie wyobrazić, jaki wpływ na nowoczesną fizykę miałyby wykrycie naruszenia szczególnej teorii względności, gdyż istnieje dziś tyle sytuacji, w których musimy z niej korzystać. Scharnhorst [43] i Barton [44] stwierdzili, że w szczególnej sytuacji fotony poruszać się mogą szybciej niż światło o ok.  $10^{-36}c$ , w wyniku modyfikacji energii próżni wynikającej z QED, co można np. uzyskać w światłowodzie. Na przykład, dwie płytki oddalone od siebie o ok.  $0.1 \mu\text{m}$  zmieniają lokalną prędkość rozchodzenia się światła właśnie o  $10^{-36}c$ . Istnieje również wynikająca wyłącznie z QED siła Casimira o wartości ok.  $13 \text{ N m}^{-2}$  działająca na powierzchnie płytek przy takiej właśnie ich odległości.

## 7. Uniwersalna stała grawitacji i stałe termiczne

Aby przedstawić pełnię zagadnienia, omówimy tu również pomiary grawitacji i, choć są one jeszcze nieco odległe od spektroskopii, trzeba zwrócić uwagę, że zaczynają być z nią coraz bardziej powiązane. Bezwzględna wartość  $G$  stale jeszcze wynika głównie z pracy Luthera i Towlera [45] z National Institute of Science and Technology i pewnie będziemy musieli poczekać na pomiary  $G$  w przestrzeni kosmicznej zanim dokładność, z jaką będziemy ją znali, przesunie się na następne miejsce dziesiętne.

Jednym z problemów Teorii Wielkiej Unifikacji (GUT) jest to, że muszą one zdać sprawę z ogromnej różnicy między masą Plancka  $M_{\text{Planck}} = (\hbar c/G)^{1/2} \sim 10^{19} \text{ GeV}/c^2$ , która charakteryzuje oddziaływania grawitacyjne, a zwykłą skalą mas rzędu  $1 \text{ GeV}/c^2$ . Doprowadziło to do propozycji wprowadzenia piątej i szóstej siły. Wskutek tego, zgodnie z sugestią Fischbacha [46], niezmiennosc uniwersalnej stałej grawitacyjnej została poddana badaniom w wielu ośrodkach. W celu wykonania dokładnych pomiarów badacze wspinali się na wieże telewizyjne, wiercili głębokie otwory w pokrywie lodowej, schodzili w głąb kopalń lub przeprowadzali precyzyjne ważenia [47-49]. Początkowo wydawało się, że są dowody na znaczące odchylenia od prawa zaniku siły grawitacyjnej z kwadratem odległości, jednak po starannym uwzględnieniu wpływu lokalnych niejednorodności gęstości, ujawnionych przez bardziej szczegółowe badania geologiczne, większość wyników wskazuje, że stała grawitacji nie zmienia się wraz z odległością, przynajmniej w zakresie dokładności doświadczalnej. Jak zwykle w fizyce, rozstrzygnięcie tego problemu wymaga zwiększenia dokładności pomiarów.

Poszukiwano również zmian  $G$  w czasie i znowu stwierdzono, że nie ma powodu aby takie zmiany zachodziły w skali epok geologicznych. Accetta i wsp. [50] stwierdzili niedawno, że różnica między wartością  $G$  panującą w pierwszych czterech minutach po Wielkim Wybuchu a wartością obecną (po  $10^{11}$  latach) –  $(dG/dt)/G$  nie przekracza 40%. Długotrwałe loty kosmiczne, w pobliże Księżyca czy planet, również dostarczają informacji o stałości  $G$ .

Przyspieszenie grawitacyjne na Ziemi jest wielkością ważną w wielu pomiarach i dokładność metod wznoszenia i spadku jest bliska naturalnym granicom ustalonym przez mikrosejsmikę. Ciekawe, że Chu, Kasevich i wsp. [51] zmierzili metodą spektroskopową  $g$  dla spadających atomów. Oświetlali oni wiązkę atomów sodu o temperaturze  $30 \mu\text{K}$  światłem lasera w celu wywołania przejść między dwoma stanami o określonej różnicy pędu atomu. W swoim prototypowym doświadczeniu uzyskali rozdzielczość  $3 \times 10^{-6}g$ , co może sprawić, że metoda ta wyprze z czasem dotychczasowe metody pomiaru  $g$ . Jest ona już obecnie ok. 1000 razy bardziej czuła niż poprzednie sprawdziany przeprowadzane dla atomów. Ta-

kie metody dają nadzieję na możliwość przeprowadzenia pomiarów takich wielkości, jak zmiana masy atomu skutkiem emisji lub absorpcji światła, lub też modyfikacja neutralności atomu w silnym polu elektrycznym itp.

Pomiary stałej Stefana-Boltzmann'a za pomocą pirometru kriogenicznego [52] potwierdziły bardziej dokładne oznaczenia termometrii gazowej w rezonatorze akustycznym i doprowadziły do bardziej dokładnej realizacji kandelii metodą radiometrii kriogenicznej. Wartość samej stałej gazowej pochodzi z pomiarów przeprowadzonych w National Institute of Science and Technology (NIST) w USA przez Moldovera i wsp. [53], które okazały się lepsze niż wyniki Quinna i wsp. z National Physical Laboratory (NPL) w Wielkiej Brytanii [54]. Pomiary tego rodzaju wyznaczają dokładność z jaką znamy stałe Boltzmann'a i Stefana-Boltzmann'a i dlatego są istotne dla spektroskopii, leżą jednak poza tematem tego wykładu.

## 8. Zakończenie

Przez wiele lat idea naturalnych jednostek była przedmiotem zainteresowania fizyki teoretycznej i astronomii. W ciągu ostatnich dwudziestu lat podstawowe stałe fizyczne coraz bardziej zaczęły wpływać na wyniki naszych pomiarów. Jeśli chodzi o jednostki układu SI, to stałych podstawowych można używać jedynie do utrzymywania jednostki – jak np. w przypadku zjawiska Josephsona i kwantowego oporu Halla. W ostatnim przypadku musimy być jednak szczególnie ostrożni aby uniknąć definiowania ustalonej wartości stałej struktury subtelnej. Komitet Doradczy Elektryczności (Consultative Committee for Electricity – CCE) wprowadził od stycznia 1990 r. międzynarodowo uzgodnione nowe wartości stałej Josephsona i stałej von Klitzinga:

$$K_{J,CCE} = 483\,597.9(1 \pm 0.4 \times 10^{-6}) \text{ GHz V}^{-1}$$

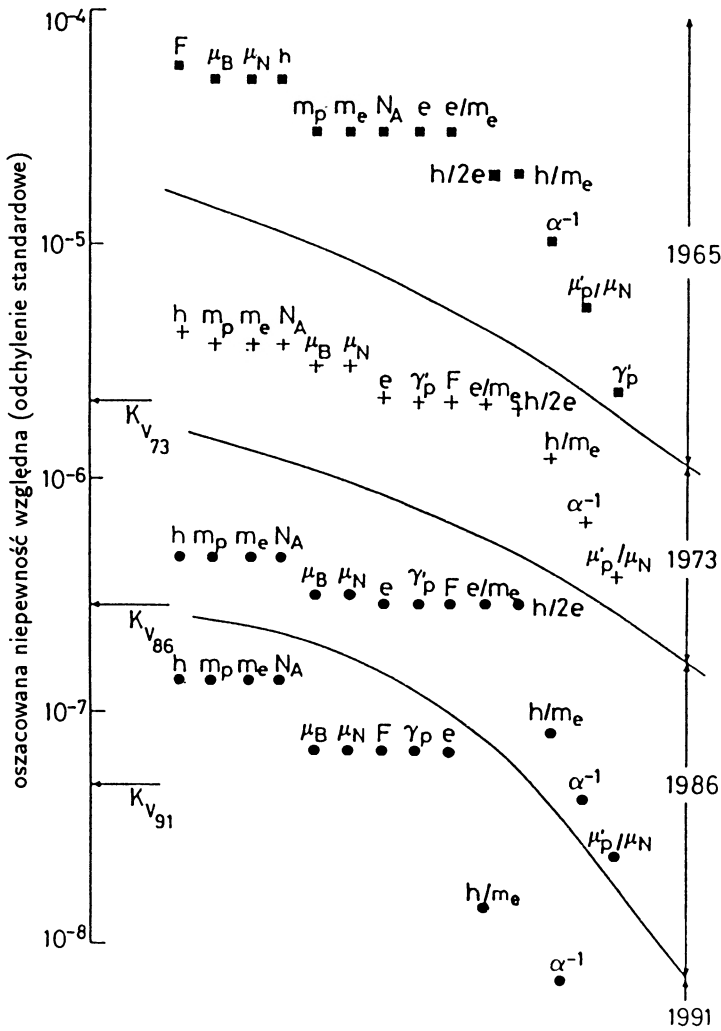
i

$$R_{K,CCE} = 25\,812.807(1 \pm 0.2 \times 10^{-6}) \Omega.$$

(W tabeli 4  $K_J$  i  $R_K$  zostały użyte bez przypisanych im niepewności i zostały tam nazwane  $K_{J-90}$  i  $R_{K-90}$ , gdyż ich wartości liczbowe mogą ulec zmianie po uwzględnieniu przyszłych wyników pomiarów i opracowań.) Te wartości służą do utrzymywania wolta i oma w różnych narodowych biurach standardów na całym świecie w możliwie najlepszym przybliżeniu do odpowiednich jednostek SI.

Dla niektórych wielkości uzyskuje się, dzięki wykorzystaniu współpracy międzynarodowej, lepszą dokładność przez porównanie wyników z różnych laboratoriów niż można by to uzyskać w pomiarze bezwzględny. Oznacza to tyle, że





Rys. 4. Jak nasza znajomość zestawu tych samych, w zasadzie, stałych podstawowych polepszała się w miarę kolejnych opracowań

istnieje skorelowana niepewność, która jest wspólna dla wszystkich użytkowników danej jednostki. Znajomość tej niepewności w jednostkach SI jest konieczna w niektórych przypadkach, np. dla wielkości fizycznych, które zawierają pewne kombinacje ładunku elektrycznego  $e$ , w innych zaś przypadkach nie jest konieczna. Obecnie te skorelowane niepewności w wartościach jednostek SI muszą być znane dla  $e$ ,  $m_p$ ,  $m_e$ ,  $h$  i  $R_H$  a niekoniecznie dla  $\alpha$  lub  $R_\infty$ . Korelacje te mogą doprowadzić do pewnych nieoczekiwanych wyników – np. na wartość elektronowolta nie miały prawie wpływu zmiany w wynikach wartości jednostek elektrycznych,

wprowadzone w 1990 r., a to dlatego, że zmiana  $e$  skompensowała w dużym stopniu zmianę wolta. Trzeba tu podkreślić, że metoda statystyczna użyta do opracowania „najlepszych wartości” stałych podstawowych wymaga aby przypisane im niepewności były skorelowane. Do wyznaczania kombinacji, których nie ma w opublikowanych tablicach, należy więc używać pełnej macierzy błędów i trzeba zwrócić uwagę aby nie mieszać danych z różnych opracowań.

Dokładność pomiarów stałych podstawowych [55] polepsza się nieomal dziesięciokrotnie w ciągu każdej dekady (rys. 4) i dlatego opracowania robi się mniej więcej co 10 lat. Skutkiem tego, jeżeli jakieś pomiary będą wykonane tuż po jakimś opracowaniu, to gdy nadejdzie termin następnego opracowania, będą już zdezaktualizowane przez dalsze wyniki, co oczywiście obniży ich wpływ na rozwój fizyki. Alternatywą mogłoby być robienie nowego opracowania za każdym razem, gdy zostaną opublikowane nowe, lepsze pomiary. Z uwagi na różne opóźnienia w rozpowszechnianiu najnowszych wartości, prowadziłyby to jednak do problemów w fizyce  $n$ -tego miejsca po przecinku.

Nowe odkrycia pomagają nam zrozumieć i wyjaśnić dlaczego rzeczy muszą być takie jak je obserwujemy. Istnienie neutrina o masie 17 keV, postulowane od niedawna, jeśli zostanie potwierdzone dalszymi doświadczeniami,<sup>3</sup> pomogłoby np. wyjaśnić kwantyzację ładunku [56], tak jak uczyniłoby to istnienie monopoli magnetycznych. Dobrolubov i Ignatiev [57] wykazali jednak, że nie można wykluczyć istnienia cząstek o bardzo małych ładunkach i masach między 10 keV i 200 MeV, a więc na szczęście nasza opowieść jeszcze się nie kończy.

Dla zrozumienia natury Wszechświata nadal potrzebne są zarówno pomiary o największej dokładności jak i pomiary o dokładności 10%. Większość prac, które przedstawiłem w tym wykładzie, ukazała się w ciągu ostatnich dwóch lat. Zobaczymy, czy następne pokolenie metrologów będzie w stanie utrzymać obecne tempo dziesięciokrotnego polepszania dokładności w czasie dekady i czy dalsze pomiary w dużym stopniu potwierdzą, czy może przeciwnie, głęboko zmienią, nasz obecny obraz świata.

Tłumaczyli

*Barbara Wojtowicz i Mirosław Łukaszewski*

Instytut Fizyki PAN

Warszawa

---

<sup>3</sup> Dziś już wiemy, że przypuszczenie to nie jest słuszne – Red.

## Literatura

- [1] B.W. Petley, *The Fundamental Constants and the Frontier of Measurement* (Adam Hilger, London 1987).
- [2] P. Chang, S. Paine, R. Lutwak, T. Ducas, D. Kleppner, *Bull. Am. Phys. Soc.* **36**, 1258 (1991).
- [3] D.H. Macintyre, W. Fairbank Jr., S.A. Lee, T.W. Hänsch, E. Riis, *Phys. Rev.* **A41**, 4632 (1990).
- [4] G.P. Barwood, W.R.C. Rowley, P. Gill, J.L. Flowers, B.W. Petley, *Phys. Rev. A* **43**, 4783 (1991).
- [5] D.H. McIntyre, T.W. Hänsch, *Metrologia* **25**, 61 (1988).
- [6] M.G. Boshier, P.G.E. Baird, C.J. Foot, E.A. Hinds, M.D. Plimmer, D.N. Stacey, J.B. Swan, D.A. Tate, D.M. Warrington, G.K. Woodgate, *Phys. Rev. A* **40**, 6169 (1989).
- [7] J.C. Garreau, M. Allegrini, L. Julien, F. Biraben, *J. Phys. (Fr.)* **51**, 2293 (1990).
- [8] F. Biraben, J.C. Garreau, L. Julien, M. Allegrini, *Phys. Rev. Lett.* **62**, 621 (1989).
- [9] Ch. Salomon, D. Hils, J.N. Hall, *J. Opt. Soc. Am. B* **5**, 1576 (1988).
- [10] W. Lichten, D. Schiner, Zhou Zhi-Xiang, *Phys. Rev. A* **43**, 1563 (1991).
- [11] C.J. Sansonetti, J.D. Gillaspay, *Bull. Am. Phys. Soc.* **36**, 1267 (1991); C.J. Sansonetti, J.D. Gillaspay, C.L. Cromer, *Phys. Rev. Lett.* **65** 2539 (1990).
- [12] J. Gassen, D. Müller, D. Budelsky, L. Kremer, H.-J. Pross, F. Scheuer, P. von Brentano, A. Pape, J.C. Sens, *Phys. Lett. (Netherlands)* **147**, 385 (1990).
- [13] T.P. Dinneen, N. Berrah-Mansour, H.G. Berry, L. Young, R.C. Pardo, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 2859 (1991).
- [14] J.D. Silver, *Phys. Scripta* **37**, 720 (1988).
- [15] F.J. Federspiel, R.A. Eisenstein, M.A. Lucas, B.E. MacGibbon, K. Mellendorf, A.M. Nathan, A. O'Neill, P. Wells, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 1511 (1991).
- [16] E.R. Cohen, B.N. Taylor, *Rev. Mod. Phys.* **59**, 1121 (1987).
- [17] S.H. Kettell et al., *Bull. Am. Phys. Soc.* **36**, 1258 (1991).
- [18] R.D. Deslattes, E.G. Kessler, Jr., *IEE Trans. Instrum. Meas.* **IM40**, 92 (1991).
- [19] M. Siegbahn, *Spectroscopy of X-rays*, wyd. 2 (Springer, Berlin 1931).
- [20] B.N. Taylor, E.R. Cohen, *J. Res. Nat. Inst. Sci. Tech.* **95**, 497 (1990).
- [21] B.N. Taylor, E.R. Cohen, *Phys. Lett.* **A153**, 308 (1991).
- [22] B.W. Petley, B.P. Kibble, A. Hartland, *Nature* **327**, 605 (1987).
- [23] B.P. Kibble, I.A. Robinson, *Metrologia* **27**, 173 (1990).
- [24] M.A. Samuel, *Phys. Rev. Lett.* **57**, 3133 (1986); także komentarz: T. Kinoshita, *Phys. Rev. Lett.* **61** 2898 (1988).
- [25] F.G. Miriam, W. Beer, P.R. Egan, C.J. Gardner, V.W. Hughes, D.C. Lu, P.A. Souder, H. Orth, J. Vetter, U. Moser, G. zu Putlitz, *Phys. Rev. Lett.* **49**, 993 (1982).
- [26] E. Klempt, R. Schulze, H. Wolf, M. Camani, F.N. Gyax, W. Rüegg, A. Schenk, H. Schilling, *Phys. Rev. D* **25**, 652 (1982).
- [27] P. Mery, S.E. Moubaric, Perrottet, F.M. Reynard, *Z. Phys. C - Particles and Fields* **46**, 229 (1990).
- [28] E. Krüger, W. Nistler, W. Weirauch, *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res.* **A284**, 143 (1989).
- [29] E. Fishbach, G.L. Greene, R.J. Hughes, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 256 (1991).

- [30] A. Hartland, K. Jones, J.M. Williams, B.L. Gallagher, T. Galloway, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 969 (1991).
- [31] G. Gabrielse, X. Fei, L.A. Orozco, R.L. Tjoelker, J. Haas, H. Kalinowsky, T.A. Trainor, W. Wells, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 1317 (1990).
- [32] P.B. Schwinberg, R.S. van Dyck, Jr., H.A. Dehmelt, *Phys. Rev. Lett.* **47**, 1679 (1981).
- [33] R.J. Hughes, M.H. Holzscneider, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 854 (1991).
- [34] E.G. Adelberger, B.R. Heckel, C.W. Stubbs, Y. Su, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 850 (1991).
- [35] T.W. Hänsch, w: *The Hydrogen Atom*, red. G.F. Bassani, M. Inguscio, T.W. Hänsch (Springer, London 1989).
- [36] U. Schramm, J. Berger, M. Greiser, D. Habs, E. Jaeschke, G. Kilgus, D. Schwalm, A. Wolf, R. Neumann, R. Schuch, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 22 (1991).
- [37] F.B. Yousif, P. van der Donk, Z. Kucherovsky, J. Reiss, E. Brannen, J.B.A. Mitchell, T.J. Morgan, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 26 (1991).
- [38] D. Hils, J.L. Hall, *Phys. Rev. Lett.* **64**, 1697 (1990).
- [39] A. Brillet, J.L. Hall, *Phys. Rev. Lett.* **42**, 549 (1979).
- [40] Ch. Salomon, D. Hils, J.L. Hall, *J. Opt. Soc. Am. B* **5**, 1576 (1988).
- [41] E. Riis, L.U. Anderson, N. Bjerre, Su Al Li, J.L. Hall, *Phys. Rev. Lett.* **60**, 81 (1988).
- [42] T.P. Krisher et al., *Phys. Rev. D* **42**, 731 (1990).
- [43] K. Scharnhorst, *Phys. Lett.* **B236**, 354 (1990).
- [44] G. Barton, *Phys. Lett.* **B237**, 559 (1990).
- [45] G. Luther, W.R. Towler, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 121 (1982).
- [46] E. Fischbach, D. Sudarsky, A. Szafer, C. Talmadge, *Phys. Rev. Lett.* **57**, 1959 (1986); *Ann. Phys. (N.Y.)* **182** 1 (1988).
- [47] J.E. Faller, E. Fischbach, Y. Fujii, K. Kuroda, Ho Jung Paik, C.C. Speake, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **IM-38**, 180 (1989).
- [48] C.C. Speake, T.M. Niebauer, M.P. McHugh, P.T. Keyser, J.E. Faller, J.Y. Cruz, J.C. Harrison, J. Mäkinin, R.B. Beruff, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 1967 (1990).
- [49] C.C. Speake, T.J. Quinn, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **IM-38**, 189 (1989).
- [50] F.S. Accetta, L.M. Krauss, P. Romanelli, *Phys. Lett.* **B248**, 146 (1990).
- [51] M. Kasevich, D.S. Weiss, E. Riis, K. Moler, S. Kasapi, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 2297 (1991); M. Kasevich, S. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **67** 181 (1991).
- [52] T.J. Quinn, J.E. Martin, *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A* **316**, 85 (1985).
- [53] M.R. Moldover, J.P.M. Trussler, T.J. Edwards, J.B. Mehl, R.S. Davies, *J. Res. Natl. Bur. Stand. (US)* **93**, 85 (1988).
- [54] A.R. Colclough, T.J. Quinn, T.R.D. Chandler, *Proc. Roy. Soc. (London)* **A368**, 125 (1979).
- [55] B.W. Petley, *Proc. Roy. Soc. (London)* **A433**, 219 (1991).
- [56] R. Foot, S.F. King, *Phys. Lett.* **B259**, 464 (1991).
- [57] M.I. Dobroliubov, A.Yu. Ignatiev, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 679 (1990).

## RÓŻNE

**Andrzej Krasiński**

*Centrum Astronomiczne PAN  
im. Mikołaja Kopernika  
Warszawa*

### Sprawa Galileusza

#### The Galileo affair

*Abstract:* The article describes the chain of events that led Galileo to being warned and then punished by the Inquisition. It aims to uncover little known circumstances.

#### 1. Wstęp

W r. 1633 sąd Inkwizycji skazał Galileusza na bezterminowe więzienie. Powodem skazania było propagowanie teorii Kopernika. Nauczanie jej z zastrzeżeniem, że jest to hipoteza i wygodna metoda rachunkowa, której nie należy rozumieć dosłownie, było akceptowane przez Kościół, przy dodatkowym, milcząco zakładanym warunku, że odbiorcami tej nauki będą studenci uniwersytetów i inni uczeni, zaś wszelkie książki na jej temat będą publikowane po łacinie. Tymczasem Galileusz postanowił rozpowszechnić tę wiedzę wśród najszerszej publiczności i napisał na jej temat książkę w języku włoskim, starannie opracowaną pod względem literackim. Po procesie, wytoczonym w oparciu o dokument najprawdopodobniej sfałszowany, Galileusz musiał, klęcząc przed sędziami, wyprzeć się swoich poglądów i uznać je za fałszywe.

W r. 1981, papież Jan Paweł II powołał komisję, która miała ustalić okoliczności skazania Galileusza i wydać współczesną opinię Kościoła o tej sprawie.

Przedsięwzięcie to było nazywane „rehabilitacją Galileusza”, chociaż było jasne, że to nie Galileusz potrzebuje rehabilitacji. Jesienią 1992 r., komisja ogłosiła końcowy komunikat [1] (komunikat komisji papieskiej został opublikowany w Polsce razem z komentarzami papieża Jana Pawła II [2] i M. Hellera [3]) i rozwiązała się. Autorzy komunikatu dość osobliwie potraktowali pojęcie rehabilitacji. Jest w tym tekście krótki fragment mówiący o błędnym przekonaniu sędziów Galileusza, że wydanie zakazu nauczania teorii Kopernika było ich obowiązkiem i że ten sam błąd „kazał im także zastosować wobec Galileusza karę dyscyplinarną, która przysporzyła mu wielu cierpień”. To ukradkowe przyznanie się do winy jest przemycone w znacznie dłuższym tekście, który w całości sprawia wrażenie próby ponownego usprawiedliwienia XVII-wiecznych fanatyków i intrygantów.

Dla ludzi XX w. taka rehabilitacja jest nie do przyjęcia. Dla fizyków jest to sprawa dotycząca ich osobiście. Galileusz był i, pośrednio, jest nadal naszym wspólnym nauczycielem. Był współtwórcą do dziś skutecznie stosowanych metod badawczych, które pozwoliły stworzyć dzisiejszą cywilizację. Nasz stary nauczyciel ma prawo od nas właśnie oczekiwać ujawnienia okoliczności i przyczyn swojego nieszczęścia, skoro nie potrafili zdobyć się na to spadkobiercy ludzi, którzy wyrządzili mu krzywdę.

Niniejszy artykuł przedstawia w wielkim skrócie opis wydarzeń, które doprowadziły do procesu Galileusza przed sądem Inkwizycji, przebieg procesu i wyrok. Literatura na ten temat jest bardzo obfita. Mimo upływu ponad 350 lat od opisywanych tu wydarzeń, można ustalić ich przebieg bardzo dokładnie. Dokumenty zawierają zapisy wypowiedzi poszczególnych osób, wielu ludzi z tamtych czasów przemawia do nas bezpośrednio za pomocą listów, które sami napisali. Przy takiej obfitości materiałów źródłowych żaden artykuł nie ma szans przedstawić sprawy Galileusza w sposób kompletny i wszechstronny. Celem tego artykułu jest przekonanie Czytelników, że dotarcie do szczegółów sprawy nie przedstawia wielkich trudności, i zachęcenie ich, aby sięgnęli sami po obszerniejsze opracowania dostępne w polskich bibliotekach.

## 2. Konstrukcja teleskopu i pierwsze problemy

W ciągu swojego długiego życia Galileusz dokonał wielu odkryć i wynalazków. W artykule przedstawimy tylko te z nich, które bezpośrednio wiążą się z późniejszymi procesami sądowymi.

Jeden z listów Galileusza ([4], s. 46-7) informuje, że w czerwcu 1609 r. dowiedział się on o skonstruowaniu teleskopu przez rzemieślników holenderskich. Na podstawie szczątkowych informacji Galileusz odgadł zasadę jego działania, wy-

nalazł metodę precyzyjnego szlifowania soczewek i własnoręcznie skonstruował nowy egzemplarz, przewyższający jakością oryginał. Galileusz był wówczas wykładowcą matematyki na uniwersytecie w Padwie i poddanym doży weneckiego, miał 45 lat.

Wkrótce potem zaczął systematyczne obserwacje nieba. Zaobserwował, że powierzchnia Księżyca jest „podobnie jak powierzchnia Ziemi” ([4], s. 49) pokryta wzniesieniami i zapadliskami. Odkrył też cztery księżyce Jowisza i stwierdził, że krążą wokół niego. Obserwacja ta dostarczyła mu argumentu, którym miał nadzieję przekonać innych o prawdziwości teorii Kopernika (sam był o jej prawdziwości przekonany od dawna, o czym świadczy np. list do Keplera z 1597 r., [5] s. 7). Wyniki obserwacji i ich interpretację ogłosił w dziele, wydanym w r. 1610 pt. *Sidereus nuncius* (Gwiazdny posłaniec).

Przeciwnicy ujawnili się natychmiast. Galileusz proponował wielu z nich, aby sami popatrzyli przez teleskop. Cesare Cremonini, podobno największy wówczas filozof w Padwie, powiedział tak: „Nie wierzę, że ktokolwiek poza nim [Galileuszem] widział je [gwiazdy], a ponadto, to patrzenie przez szkła przyprawiłoby mnie o zawrót głowy. Dość, nie chcę więcej o tym słyszeć.” ([5], s. 28). Inni twierdzili, że popatrzyli przez teleskop, ale nic nie zobaczyli. Jeszcze inni mówili, że i bez patrzenia wiedzą, że teleskop nie ukazałby im niczego wartościowego dla filozofii. Ktoś twierdził, że byłoby niemożliwością, by starożytni, tak znakomici we wszystkim, nie znali takiego przyrządu. Skoro nie ma o nim wzmianki w starożytnych pismach, to widocznie jego przydatność została oceniona negatywnie.

W tym samym mniej więcej czasie Galileusz poczuł się przytłoczony nadmiarem obowiązków, jakie miał w Padwie. Był tam wykładowcą matematyki na uniwersytecie, prywatnym nauczycielem matematyki, kierownikiem warsztatu produkującego przyrządy geometryczne i, od niedawna, teleskopy oraz wykonywał prace zlecone w dziedzinie inżynierii wojskowej. Chciał mieć więcej czasu, aby użyć go na spisanie „trzech ważnych dzieł” ([4], s. 56) i nie być zależnym od posady na uniwersytecie. W lecie 1610 r. jego życzenie zostało spełnione: został nadwornym matematykiem i filozofem wielkiego księcia Toskanii, Cosimo II de Medici.

Opieka książąt Medyceuszów nie powstrzymała wrogów Galileusza. Oskarżali go coraz ostrzej, np. o przywłaszczenie sobie autorstwa wynalazku teleskopu, o to, że obserwacje za pomocą teleskopu są kuglarską sztuczką i próbą wywołania halucynacji. Galileusz postanowił wyprawić się do Rzymu, aby tam zademonstrować teleskop i, jak miał nadzieję, przekonać przeciwników o prawdziwości swoich odkryć.

Do Rzymu przybył 29 marca 1611 r. i został tam przyjęty z wielkim szacunkiem przez różne osobistości polityczne, w tym przez papieża Pawła V oraz

przez kardynała Maffeo Barberiniego, czyli późniejszego papieża Urbana VIII i głównego sprawcę całej afery. Przyjęto go do niedawno utworzonej Accademia dei Lincei,<sup>1</sup> a chwilą największego triumfu było zebranie u jezuitów w Collegio Romano w maju 1611 r., podczas którego ojciec Ode Maelcote wygłosił mowę pochwalną na cześć Galileusza. Pokazy teleskopu, w zastosowaniu do obserwacji nieba oraz do obserwacji odległych miejsc w Rzymie, przekonywały wszystkich obecnych o prawdziwości jego odkryć i użyteczności przyrządu.

Nieufność wykazał jedynie kardynał Roberto Bellarmino, jezuita, jeden z sędziów w procesie Giordana Bruna w latach 1593-1600 i autor tekstu oskarżenia, na podstawie którego Bruno został spalony na stosie 16 lutego 1600 r. na Piazza Campo dei Fiori w Rzymie, a równocześnie autor obowiązującego do bardzo niedawna katechizmu. Bellarmino<sup>2</sup> odegrał potem główną rolę w pierwszym spotkaniu Galileusza z Inkwizycją. W kwietniu 1611 r. on również spojrział w niebo przez teleskop „wielkiego matematyka” i obserwował „ pewne cudowne zjawiska dotyczące Księżyca i Wenus” ([4], s. 67). W liście do Cristofora Claviusa, najwybitniejszego astronoma w Collegio Romano, napisanym 19 kwietnia 1611 r., poprosił o opinię na temat prawdziwości relacji Galileusza o jego odkryciach. Odpowiedź Claviusa potwierdziła prawdziwość większości obserwacji, pozostawiając kwestię otwartą w kilku punktach, których jezuitcy astronomowie nie zdążyli jeszcze sprawdzić ([4], s. 68-9).

### 3. Intryga zawiązuje się

Pierwszy atak na Galileusza, podjął w r. 1611 florencki astronom Lodovico delle Colombe. W dziele zatytułowanym *Contro il movimento della Terra* wskazał na sprzeczność teorii Kopernika z dosłownie interpretowanym tekstem Pisma Świętego i przypomniał zakaz swobodnej interpretacji tekstu Pisma wydany na niedawnym Soborze Trydenckim.

Drugi atak nastąpił w dniu Wszystkich Świętych 1612 r. Dominikanin, ksiądz Niccolo Lorini, profesor historii Kościoła, wygłosił w kościele San Matteo we Florencji kazanie, w którym skrytykował teorię Kopernika. Opinia publiczna i władcy miasta uznali użycie ambony do takiego celu za rzecz niewłaściwą. Wziąwszy to pod uwagę, Lorini napisał 5 listopada 1612 r. list do Galileusza, w którym wy-

<sup>1</sup> Dosłownie: „Akademii Rysiów”. Nazwa pochodzi od Linceusa, jednego z Argonautów, który słynął z ostrego wzroku. Akademię założył książę Federico Cesi, jej celem była walka z arystotelizmem.

<sup>2</sup> Bellarmino zmarł w 1621 r. W r. 1930 był kanonizowany a w r. 1931 ogłoszony został ojcem Kościoła.



parł się ataku w kazaniu i dodał: „Jednakże później w dyskusji, tylko po to, aby nie stać tam jak słup, powiedziałem kilka słów, których znaczenie było takie, że doktryna tamtego Ipernikusa, czy jak go tam nazywają, jest sprzeczna z Pismem Świętym.” ([5], s. 25). Pogląd Galileusza na relacje między nauką Kopernika i Pismem Świętym jest wyłożony w liście do jego ucznia, Benedetta Castellego, z 21 grudnia 1613 r.: „W Piśmie Świętym znajdują się pewne zdania, które wzięte dosłownie nie wyglądają na prawdopodobne. Niemniej są one w użytku, ponieważ lepiej przystosowane są do poziomu tłumy” ([4], s. 84).

Był to dopiero początek całej serii ataków, za którymi stała zorganizowana siła i przemyślana taktyka zakonu dominikanów. W kazaniu wygłoszonym 20 grudnia 1614 r. w kościele Santa Maria Novella w Pizie, dominikanin Tommaso Caccini stwierdził, że matematyka jest dziełem diabła, że matematycy powinni zostać wygnani z chrześcijańskich krajów, zaś myśli o poruszającej się Ziemi są bardzo bliskie herezji ([5], s. 41). Książd Lorini miał jakoby potępić wystąpienie Cacciniego, ale w dniu 7 lutego 1615 r. napisał donos na Galileusza do Inkwizycji, do którego dołączył kopię listu Galileusza do Castellego. Wypowiedzi Galileusza zostały w donosie podretuszowane i skomentowane jako „podejrzane lub zuchwałe” ([5], s. 44). Oto dwa przykłady ([5], s. 45). Druga część pierwszego zdania z powyższego cytatu w relacji Loriniego brzmiała „które w dosłownym znaczeniu są fałszywe”. Galileusz napisał: „Pismo nie powstrzymuje się przed zaciemnianiem swoich najbardziej zasadniczych dogmatów przypisując Bogu cechy bardzo odległe od Jego istoty i sprzeczne z nią”. Lorini zmienił „zaciemnienie” na „wypaczenie”. Myśl Galileusza ściślej oddaje następujący fragment listu: [Dosłowne rozumienie pewnych zdań Pisma Świętego prowadzi] „nas do przypisania Bogu posiadania nóg, rąk, oczu oraz dolegliwości cielesnych i ludzkich, jak gniew, skrucha, nienawiść, a czasem zapominanie o rzeczach minionych lub nieznaności przyszyłych zdarzeń” ([4], s. 84).

Urząd Święty zareagował na donos prośbą do arcybiskupa i inkwizytora Pizy z 26 lutego 1615 r., aby „w zręczny sposób” ([5], s. 46) zdobył podpisany egzemplarz listu do Castellego, nie wzbudzając czujności. Naiwny Castelli poczuł się zaszczycony i wielokrotnie prosił mistrza o podpisaną kopię. Czujność Galileusza została jednak wzbudzona. Posłał Castellemu niepodpisaną kopię wraz z poleceniem niewypuszczania jej z rąk. Arcybiskup musiał zadowolić się odczytaniem mu listu na głos i dyplomatycznie uznał, że jego życzenie zostało spełnione.

Następuje okres wymiany listów między wieloma autorami i odbiorcami. Galileusz, w swoim mniemaniu, broni się, ale naprawdę pogrąża się coraz bardziej, dostarczając wrogom coraz to nowych źródeł do plotek i przeinaczonych cytatów. Najważniejszy list z tego okresu, znany jako list do Krystyny Lotaryńskiej (wielkiej księżnej Toskanii), z 1615 r., jest rozprawą naukową przeznaczoną do pu-

blicznego rozpowszechniania, w której na 40 stronach autor przeprowadza wykład swoich poglądów na naukę Kopernika i relacje między nauką a Pismem Świętym. Galileusz miał nadzieję, że uwolni się od prześladujących go „scholastyków trzeciej kategorii” ([5], s. 55) i dotrze ze swoimi argumentami do szczytów hierarchii kościelnej, gdzie spodziewał się znaleźć ludzi otwartych na argumenty racjonalne. Niestety, list ten stał się dla wrogów Galileusza bronią, na którą czekali.<sup>3</sup> „Niewielu widziało tekst, wielu doszło do przekonania, że wiedzą, co on mówi. Biskup Fiesole domagał się uwięzienia Kopernika i musiał zostać poinformowany, że ów dobry człowiek nie żył od całkiem długiego czasu” ([5], s. 40).

Caccini uzyskał audiencję u Kongregacji Urzędu Świętego (oficjalna nazwa Inkwizycji) w dniu 20 marca 1615 r., aby „oczyścić swoje sumienie” ([5], s. 46). Podczas przesłuchania dalej nakręca intrygę. Wskazuje świadków, o których wie, że obciążą Galileusza jeszcze bardziej. Po kilku miesiącach spotyka się z Galileuszem i twierdzi, że to nie on uruchomił procedurę Inkwizycji. Galileusz tak go scharakteryzował: „W całej jego przemowie spostrzegłem bardzo wielką ignorancję, nic innego niż umysł pełen jadu i pozbawiony miłosierdzia” ([5], s. 51).<sup>4</sup>

#### 4. Dekret z 1616 r.

Galileusz widział niekorzystny dla niego obrót sprawy, ale ciągle wierzył w siłę racjonalnych argumentów. Dnia 12 grudnia 1615 r. przyjechał znów do Rzymu, aby szukać okazji do osobistego przedstawienia swoich wywodów rzymskim teologom. Spotkania ciągnęły się miesiącami, ale urzędnicy Urzędu Świętego nie chcieli go przyjąć. Przyjaciele doradzali mu, aby po cichu wycofał się ze sprawy i prowadził dalsze badania bez rozgłosu. Z różnych plotek i przecieków Galileusz wiedział jednak, że przy okazji rozprawy nad nim mogło dojść do zakazu nauczania teorii Kopernika. Do tego nie chciał dopuścić.

Tymczasem, księża z Urzędu Świętego od roku zbierali materiały do sprawy i wykorzystywali publiczne dyskusje Galileusza do uformowania własnej opinii. Dnia 18 lutego 1616 r. Urząd Święty zlecił Kwalifikatorom (ekspertom) wydanie cenzury (opinii) o dwóch tezach. Najważniejszy fragment cenzury, ogłoszonej 24 lutego, brzmi następująco:

„(...) Pierwsza: Słońce stanowi centrum świata i jest całkowicie nieruchome

<sup>3</sup> Pogląd Galileusza na interpretację Pisma Świętego stał się później oficjalną doktryną Kościoła. Dokładniej, stało się to w 280 lat później, po encyklice Leona XIII *Providentissimus Deus* z 1893 r.

<sup>4</sup> Przypuszcza się, że spotkanie zostało zlecone Cacciniemu przez Inkwizycję, aby dokładniej wy badał poglądy Galileusza ([5], s. 128).

pod względem ruchów lokalnych.

Cenzura: Teza ta została jednogłośnie uznana za bezsensowną i absurdalną z punktu widzenia filozoficznego i formalnie heretycką (...)

Druga teza: Ziemia nie stanowi centrum świata, ani nie jest nieruchoma, lecz obraca się zarówno wokół samej siebie, jak i ruchem dobowym.

Cenzura: Jednogłośnie stwierdzono, że teza ta podlega tej samej cenzurze filozoficznej, z punktu zaś widzenia teologii jest co najmniej błędem w wierze.” ([6], s. 94-5).

Dnia 25 lutego, główny inkwizytor zawiadomił zebranie teologów o decyzji papieża opartej na opinii Kwalifikatorów. Następujący jej fragment stał się częścią zagadki historycznej, do dziś nie wyjaśnionej:

„...Jego Świątobliwość nakazał Panu Kardynałowi Bellarmino wezwać rzeczono-  
nego Galilea do siebie i upomnieć go, aby porzucił rzeczoną opinię; w wypadku  
odmowy posłuszeństwa, Komisarz ma mu nakazać, w obecności notariusza i  
świadców, aby powstrzymał się całkowicie od nauczania lub obrony tej opinii  
i doktryny, a nawet od dyskutowania jej; jeśli nie zgodzi się on na to, należy go  
uwięzić.” ([5], s. 130).

Dnia 3 marca 1616 r. na zebraniu Kongregacji Głównej kardynał Bellarmino ogłosił, że Galileusz poddał się wyrokowi. Na tym samym zebraniu Kongregacja podjęła inną decyzję, która została ogłoszona 5 marca:

„(...) doktryna pitagorejska – która jest fałszywa i całkowicie przeciwna Pismu  
Świętemu - o ruchu Ziemi i nieruchomości Słońca (...) jest obecnie rozpowszech-  
niana za granicą i akceptowana przez wielu. (...) Święta Kongregacja rozporzą-  
dziła, że *De revolutionibus orbium* rzeczonoego Mikołaja Kopernika (...) mają  
być zawieszane dopóki nie zostaną poprawione” ([5], s. 131).

W tym dopiero momencie, 73 lata po śmierci Kopernika i pierwszej publikacji jego dzieła, Kościół potępił jego naukę i uznał ją za sprzeczną z religią.<sup>5</sup> „Zawieszenie do czasu poprawienia” było typową formułą Inkwizycji i oznaczało w praktyce wpisanie do Indeksu na stałe. Tylko w jednym wypadku Kongregacja ogłosiła poprawki, z którymi dzieło mogło być publikowane – właśnie w przypadku *De revolutionibus* Kopernika. Lista poprawek została ogłoszona w r. 1620, ale wprowadzono je tylko do małej części istniejących wówczas egzemplarzy książki. Niedbalstwo lub świadomy sabotaż właścicieli egzemplarzy oraz władców w różnych krajach sprawiły, że dekret z 1616 r. był mało skuteczny [7,8]. Dzieło Kopernika zostało wykreślone z Indeksu w r. 1835.

---

<sup>5</sup> Stało się tak, chociaż obliczenia oparte na teorii Kopernika były podstawą reformy kalendarza. Kalendarz gregoriański został wprowadzony w życie w r. 1582 decyzją papieża Grzegorza XIII.

Dla dalszych losów Galileusza kluczowym okazał się inny dokument. W archiwum Inkwizycji jest on zapisany pod datą 26 lutego 1616 r. i stanowi drugą część wspomnianej wyżej zagadki historycznej. Oto jego najważniejszy fragment: „...rzeczonemu Galileo, wezwany i będący przed obliczem Pana Kardynała [Bellarmino], został, w obecności Jego Przewielebności Michelangelo Seghizzi (...[tu lista tytułów]), przez rzeczonego kardynała ostrzeżony, że wymieniona wyżej opinia jest błędna i upomniany, aby ją porzucił; natychmiast potem, w obecności mojej [notariusza] i świadków, podczas gdy Pan Kardynał był wciąż obecny, rzeczonemu Galileo nakazał i zobowiązał go rzeczonemu Komisarz [Seghizzi], w imieniu Jego Świątobliwości Papieża i całej Kongregacji Urzędu Świętego, aby całkowicie wyrzekł się rzeczony opinii, że Słońce jest środkiem świata i jest nieruchome, i że Ziemia porusza się; ani nadal jej nie wyznawał, nauczał albo bronił w jakikolwiek sposób, ustnie albo na piśmie; w przeciwnym wypadku postępowanie będzie wszczęte przeciwko niemu przez Urząd Święty; z którym to nakazem rzeczonemu Galileo zgodził się i przyrzekł być mu posłusznym.” ([5], s. 134). W ostatnim zdaniu dokumentu podano nazwiska domowników kardynała Bellarmino jako świadków.

Po uważnej lekturze dokumentów z 25 i 26 lutego 1616 r. nawet niefachowy Czytelnik zauważy sprzeczność między nimi. Decyzja papieża przewidywała dwa warianty postępowania z Galileuszem: łagodniejszy, jeśli będzie posłuszny, i ostrzejszy, jeśli będzie się opierał. Zapis z datą 26 lutego mówi, że zastosowano obydwa warianty po kolei i nie wspomina nawet o reakcji Galileusza na upomnienie, „natychmiast potem” nastąpiła represja przewidziana na wypadek nieposłuszeństwa. Forma dokumentu też budzi podejrzenia. Tekst mówi „w obecności mojej i świadków”, ale nie ma pod nim podpisów oskarżonego ani notariusza; wbrew ściśle przestrzeganemu obyczajowi, nazwiska świadków z urzędu nie zostały podane. Gdy Inkwizycja wydawała zakaz tego rodzaju, wymagała podpisu oskarżonego, potwierdzenia autentyczności podpisu przez notariusza i podpisania całości dokumentu przez świadków z urzędu. Wymienieni jako świadkowie domownicy kardynała nie posiadali wystarczających kwalifikacji, aby być świadkami oficjalnej procedury prawnej.

Omawiany dokument różni się od innych także z czysto technicznego, archiwistycznego punktu widzenia. Każdy nowy dokument lub oficjalny list był rozpoczynany na pierwszej stronie podwójnego arkusza papieru, a potem wszywany do teczki z aktami w kolejności według daty. Ta metoda powodowała, że teczka zawierała dużo niezapisanych stron. Są one numerowane na równi z zapisanymi. Na niektórych z nich dopisywano komentarze urzędowe, noty o doręczeniu lub instrukcje uzupełniające, wszystkie uporządkowane chronologicznie. Ani jeden dokument (list, raport, akt prawny lub potwierdzona kopia) nie zaczyna się w innym miejscu niż pierwsza strona nowego arkusza. Z jednym wyjątkiem: jest

nim nakaz z 26 lutego. Ten dokument wielkiej wagi został napisany na kawałku papieru, który był przypadkowo wolny, mianowicie na tylnej stronie raportu Kwalifikatorów z 24 lutego i przedniej stronie drugiej połowy arkusza z zeznaniem Cacciniego. W ten sposób wpisywano do archiwum odpisy załączników, których oryginały były przechowywane gdzie indziej, aby uzupełnić informację. W tym miejscu archiwum powinien znaleźć się oryginał wyroku Inkwizycji, tymczasem jest to nieformalna notatka. Nie ma po oryginale żadnego śladu w tej teczce (numeracja stron jest ciągła). Oryginału, jeśli istniał, nie odnaleziono do dziś w żadnym innym archiwum.

Dwa inne dokumenty zaprzeczają treści notatki. Jezuici, chcąc zaszkodzić Galileuszowi, zaczęli rozpowszechniać plotki, że został on formalnie ukarany przez Inkwizycję. Kara Inkwizycji uchodziła wtedy za piętno socjalne i towarzyskie. Gdy plotki jezuitów dotarły do Galileusza, poprosił on samego kardynała Bellarmino o pisemne zaświadczenie, że nie wymierzono mu formalnej kary. Zaświadczenie otrzymał i jest ono w archiwach Inkwizycji (pełny tekst: [5], s. 140). Drugi dokument został znaleziony w r. 1848 w archiwum dekretów papieskich. Oto odpowiedni fragment: „Pan Kardynał Bellarmino doniósł, że Galileo Galilei, matematyk, został ostrzeżony w formie nakazu Świętej Kongregacji, aby porzucił przekonanie, które do tej pory żywił, że Słońce jest środkiem sfer i jest nieruchome i że Ziemia porusza się, zgodził się on na to (...)” ([5], s. 141).

Wyłożone tu w skrócie przesłanki wskazują, że dokument z datą 26 lutego 1616 r. jest falsyfikatem. Hipoteza ta dobrze objaśnia zeznania Galileusza podczas procesu w 1633 r. Jest ona przekonująco poparta dedukcyjnymi argumentami typu detektywistycznego (patrz [5], cały rozdział XIII), ale jej rozstrzygnięcie po 350 latach jest mało prawdopodobne. Historycy mają kilku jednakowo „dobrych” kandydatów na autora fałszerstwa i skłaniają się ku przypuszczeniu, że zostało ono dokonane w 1616, a nie w 1633 r., ale nawet to nie jest pewne. Istnieją natomiast dowody fałszerstw popełnionych w imieniu Inkwizycji w innych sprawach ([5], s. 296-7); hipoteza o fałszerstwie w 1616 r. nie jest więc pozbawiona precedensów.

Kwestia prawdziwości tego właśnie dokumentu była ważna z prawnego punktu widzenia. Upomnienie Inkwizycji w wersji zaleconej dokumentem z 25 lutego nie zabraniało Galileuszowi dyskusowania nauki Kopernika jako geometrycznej hipotezy. Wyrok w wersji z 26 lutego nakazywał bezwarunkowe i bezterminowe milczenie w tej sprawie. Jak pokażemy dalej, opublikowany w 1632 r. *Dialog o dwu najważniejszych układach świata* (patrz polskie tłum. [9]) nie naruszał upomnienia, był natomiast naruszeniem wyroku z 26 lutego. Oskarżenie o to przestępstwo dało początek procesowi z 1633 r.

## 5. Dialog o dwu najważniejszych układach świata

Galileusz wyjechał z Rzymu 30 czerwca 1616 r. Opuścił wkrótce potem swój dom pod Florencją i przeniósł się do pobliskiego Arcetri, aby być bliżej córki, zakonnicy w tamtejszym klasztorze. Przez kilka lat nie publikował nowych prac.

W r. 1618 ukazało się na niebie kilka komet. Z tej okazji różni autorzy opublikowali rozprawy. Jedna z nich jest zapisem publicznej dyskusji, jaką jezuita Orazio Grassi przeprowadził w Collegio Romano. Autor usiłował ostatecznie obalić teorię Kopernika, chociaż nie potrafił jej zrozumieć, Galileusz zaś nie mógł swobodnie odpowiedzieć. Jego rozprawę o kometach z 1619 r. podpisał swoim nazwiskiem Mario Guiducci, członek Akademii Florenckiej. (Nawiasem mówiąc, teoria Galileusza była błędna. Uważał on komety za zjawisko atmosferyczne.) Wszyscy czytelnicy odgadli jednak prawdziwego autora. Grassi, pod pseudonimem Sarsi, napisał nową rozprawę, w której, w tonie kpiąco-prowokacyjnym, sugerował, że opis ruchu komet podany przez Galileusza znalazłby najnaturalniejsze objaśnienie w hipotezie o ruchu Ziemi, która jednakże jest niedorzeczna i buntownicza. Zgodnie z powszechnym i jego własnym odczuciem, Galileusz musiał na to odpowiedzieć.

Sytuacja polityczna ulegała wtedy zmianom. W r. 1620 umarł Cosimo II de Medici, wieloletni przyjaciel i obrońca Galileusza. Bellarmino umarł w 1621 r., ale Ignacio Loyola i Francisco Xavier zostali właśnie ogłoszeni świętymi, co wzmocniło pozycję jezuitów. W sierpniu 1623 r. kardynał Maffeo Barberini został wybrany nowym papieżem (przyjął on imię Urbana VIII). Od czasu wizyty Galileusza w Rzymie w 1611 r. Barberini okazywał mu szacunek i przyjaźń, a w r. 1619, po opublikowaniu pracy o kometach, napisał nawet poemat na jego cześć. W świetle późniejszych wydarzeń można wątpić w szczerą przyjaźń Barberiniego, ale w 1623 r. jego wybór na papieża wydawał się pomyślnym dla Galileusza wydarzeniem. Maffeo Barberini był przyjacielem nauk i sztuki i członkiem Accademia dei Lincei. Ksiądz Giovanni Ciampoli, wieloletni i niewątpliwie szczerzy przyjaciel Galileusza,<sup>6</sup> został sekretarzem Urbana VIII. Obydwaj zachęcali Galileusza do dalszej twórczości. Gdy ksiązę Cesi (założyciel Akademii Rysiów) odwiedził Urbana VIII, aby złożyć mu gratulacje z okazji wyboru, nowy papież przerwał mu niecierpliwie: „Czy Galileo przybędzie? Kiedy przyjeżdża?” ([5], s. 166).

W październiku 1623 r. ukazało się dzieło Galileusza o metodologii badań naukowych *Il Saggiatore* (Probierz). Było ono arcydziełem polemiki i włoskiej prozy. Oto próbka:

---

<sup>6</sup> Za swoją przyjaźń z Galileuszem, a raczej za pomoc w uzyskaniu zezwolenia na publikację *Dialogu*, Ciampoli zapłacił utratą posady i zesłaniem do prowincjonalnych parafii; zmarł w wieku 53 lat w 1643 r.

„Jeśli Sarsi nalega, abym wierzył zapewnieniu Suidasa,<sup>7</sup> że Babilończycy gotowali jajka poprzez szybkie wirowanie nimi w procy, uwierzę, muszę jednak powiedzieć, że przyczyna takiego efektu jest bardzo odległa od tej, której się go przypisuje, i dla znalezienia prawdziwej przyczyny będę rozumował tak. Jeśli skutek, który występował u innych w innym czasie, nie występuje u nas, to dlatego, że w naszym eksperymencie brakuje czegoś, co było przyczyną dawniejszego sukcesu; a jeśli brakuje nam tylko jednej rzeczy, to ta jedna rzecz jest prawdziwą przyczyną. A więc, mamy jajka, i proce, i silnych mężczyzn do wirowania nimi, a jednak nie zagotowują się one; przeciwnie, jeśli były gorące na początku, stają się chłodne w krótszym czasie; a ponieważ niczego innego nam nie brakuje oprócz tego, że nie jesteśmy Babilończykami, wynika stąd, że bycie Babilończykami jest prawdziwą przyczyną, dla której jajka zostają ugotowane, a nie opór powietrza, co właśnie pragnąłem udowodnić.” ([5], s. 167).

Galileusz przybył do Rzymu w kwietniu 1624 r. W ciągu 6 tygodni pobytu odbył 6 długich rozmów z papieżem. Były to rozmowy w cztery oczy, ale ich temat można w przybliżeniu zrekonstruować na podstawie późniejszych dokumentów. Galileusz usiłował wydobyć od papieża zgodę na powrót do idei Kopernika w nowych publikacjach, argumentując, że tak ważnej sprawy nie można zamykać bez starannego wyłożenia i skonfrontowania opinii obu stron. Jego dawny przyjaciel był jednak teraz papieżem i patrzył na świat z innej perspektywy. Grzecznie i ze zrozumieniem, ale zdystansował się od jakiegokolwiek poparcia.

W tym czasie Galileusz pracował nad kompletnym wykładem swoich idei, późniejszym *Dialogiem*. Praca szła opornie i powoli. Autor miał już ponad 60 lat i dokuczały mu nawroty reumatyzmu z bolesnymi komplikacjami. Szukał jednak dróg, którymi mógłby swoje myśli przekazywać ludziom i robił coraz śmielsze próby. Najśmielszą z nich był list pt. „Odpowiedź dla Ingoliego”, polemika z dość bezsensownym antykopernikowskim wywodem z 1616 r. List został przesłany do Rzymu w październiku 1624 r. i krążył po mieście w odpisach. Kluczowe zdanie listu brzmiało: „...wiem o innych faktach doświadczalnych, których nikt dotychczas nie obserwował, na podstawie których, w granicach naturalnych i ludzkich rozważań, prawdziwość systemu kopernikowskiego wydaje się bezsporna.” ([5], s. 181). Tekst został opakowany w dyplomatyczne zastrzeżenia, spod których przy uważnym czytaniu widać charakterystyczną dla Galileusza kpinę z przemocy dokonywanej na nauce przez politykę. Chciał, jak twierdził, udowodnić niemieckim heretykom, że katolickie Włochy odrzuciły naukę Kopernika nie z powodu ignorancji co do jej prawdopodobieństwa „...ale przez cześć dla Świętego Pisma i Ojców i przez gorliwość w religii i świętej wierze. [Im słuszniejsze dowody] (...)

---

<sup>7</sup> Filozof aleksandryjski.

tym jaśniejszy jest dobroczynny wniosek, że nie należy ufać czysto ludzkiemu rozumowaniu i że musimy bezwzględnie polegać na wyższej wiedzy, która jedyna może wnieść światło w ciemność naszego umysłu” ([5], s. 181-2).

List został przyjęty dobrze i Galileusz uznał to za pomyślny sygnał. Praca trwała jednak jeszcze pięć lat, pierwsze listy z wiadomością o ukończeniu dzieła mają datę 24 grudnia 1629 r. *Dialog o dwu najważniejszych układach świata* ma formę rozmowy między trzema ludźmi. Dwaj z nich, Filippo Salviati i Giovanfrancesco Sagredo, to rzeczywiste postaci, nieżyjący już wtedy przyjaciele Galileusza. Salviati reprezentuje samego autora, Sagredo jest arystokratycznym światowcem ciekawym nauki. Trzeci, Simplicio czyli Prostaczek, to postać fikcyjna, wyposażona jednak w rozpoznawalne dla historyków cechy różnych autentycznych indywidualiów. Prostaczek jest wyszkolonym w arystotelizmie profesorem uniwersytetu, człowiekiem sympatycznym, pogodnym, bez urazy znoszącym kolejne porażki i gotowym na następne. Reprezentuje on w *Dialogu* impotencję arystotelizmu i nieumiejętność zrozumienia nowej nauki. *Dialog* był książką popularno-naukową, pierwszym w historii fizyki i astronomii obszernym wykładem nauki Kopernika i wniosków z niej, przeprowadzonym na poziomie zrozumiałym w zasadzie dla każdego, kto miał wtedy zwyczaj kupowania i czytania książek. Ważne konsekwencje wyniknęły z ostatniej w książce wypowiedzi Simplicia. Po jawnym przyznaniu się do braku kompetencji i do niezrozumienia przedstawionych mu argumentów mówi on: „Wiem, że wy obaj na pytanie, czy Bóg swoją nieskończoną wszechmocą i mądrością mógł przyznać elementowi wody owe ruchy zmienne, które w nim dostrzegamy, i to innym sposobem aniżeli wprawiając w ruch zawierające je zbiorniki, odpowiedzielibyście, jestem tego pewien, że i mógłby, i umiałby tego dokonać wieloma sposobami, dla naszego umysłu nawet niewyobrażalnymi. Na mocy tego wysnuwam bezpośredni wniosek, że byłoby zbytnią śmiałością chcieć ograniczać i zacieśniać potęgę i mądrość boską do poziomu ludzkich urojeń” ([9], s. 497). *Dialog* kończy się wypowiedziami Salviatego i Sagredo, ale konkluzją „naukową” jest powyższa wypowiedź Simplicia.

Nie był to pierwszy raz w życiu Galileusza, kiedy usiłował on przechytryć swoich przeciwników, ukrywając, niezbyt zresztą starannie, kpinę z ich poglądów pod pozornie wiernopoddańczą deklaracją. Tym razem jednak nie docenił spostrzegawczości wrogów albo przecenił ich tolerancję i poczucie humoru. Wypowiedź Simplicia jest bowiem prowokacyjnie sprzeczna z oczywistą implikacją całego dzieła, a ponadto jest dosłownym cytatem z dawniejszej wypowiedzi Urbana VIII.



tym jaśniejszy jest dobroczynny wniosek, że nie należy ufać czysto ludzkiemu rozumowaniu i że musimy bezwzględnie polegać na wyższej wiedzy, która jedyna może wnieść światło w ciemność naszego umysłu” ([5], s. 181-2).

List został przyjęty dobrze i Galileusz uznał to za pomyślny sygnał. Praca trwała jednak jeszcze pięć lat, pierwsze listy z wiadomością o ukończeniu dzieła mają datę 24 grudnia 1629 r. *Dialog o dwu najważniejszych układach świata* ma formę rozmowy między trzema ludźmi. Dwaj z nich, Filippo Salviati i Giovanfrancesco Sagredo, to rzeczywiste postaci, nieżyjący już wtedy przyjaciele Galileusza. Salviati reprezentuje samego autora, Sagredo jest arystokratycznym światowcem ciekawym nauki. Trzeci, Simplicio czyli Prostaczek, to postać fikcyjna, wyposażona jednak w rozpoznawalne dla historyków cechy różnych autentycznych indywidualiów. Prostaczek jest wyszkolonym w arystotelizmie profesorem uniwersytetu, człowiekiem sympatycznym, pogodnym, bez urazy znoszącym kolejne porażki i gotowym na następne. Reprezentuje on w *Dialogu* impotencję arystotelizmu i nieumiejętność zrozumienia nowej nauki. *Dialog* był książką popularno-naukową, pierwszym w historii fizyki i astronomii obszernym wykładem nauki Kopernika i wniosków z niej, przeprowadzonym na poziomie zrozumiałym w zasadzie dla każdego, kto miał wtedy zwyczaj kupowania i czytania książek. Ważne konsekwencje wyniknęły z ostatniej w książce wypowiedzi Simplicia. Po jawnym przyznaniu się do braku kompetencji i do niezrozumienia przedstawionych mu argumentów mówi on: „Wiem, że wy obaj na pytanie, czy Bóg swoją nieskończoną wszechmocą i mądrością mógł przyznać elementowi wody owe ruchy zmienne, które w nim dostrzegamy, i to innym sposobem aniżeli wprawiając w ruch zawierające je zbiorniki, odpowiedzielibyście, jestem tego pewien, że i mógłby, i umiałby tego dokonać wieloma sposobami, dla naszego umysłu nawet niewyobrażalnymi. Na mocy tego wysnuwam bezpośredni wniosek, że byłoby zbytnią śmiałością chcieć ograniczać i zacieśniać potęgę i mądrość boską do poziomu ludzkich urojeń” ([9], s. 497). *Dialog* kończy się wypowiedziami Salviatiego i Sagredo, ale konkluzją „naukową” jest powyższa wypowiedź Simplicia.

Nie był to pierwszy raz w życiu Galileusza, kiedy usiłował on przechytryć swoich przeciwników, ukrywając, niezbyt zresztą starannie, kpinę z ich poglądów pod pozornie wiernopoddańczą deklaracją. Tym razem jednak nie docenił spostrzegawczości wrogów albo przecenił ich tolerancję i poczucie humoru. Wypowiedź Simplicia jest bowiem prowokacyjnie sprzeczna z oczywistą implikacją całego dzieła, a ponadto jest dosłownym cytatem z dawniejszej wypowiedzi Urbana VIII.

## 6. Publikacja *Dialogu* i nowe oskarżenie

Dzieło musiało uzyskać zgodę Urzędu Świętego na publikację. Urban VIII popierał Galileusza, nalegając tylko na to, aby cała dyskusja była o hipotezach; to od niego pochodzi tytuł książki. Galileusz proponował tytuł „O przyptywie i odpływie morza”, ale papież nie chciał, aby w ten sposób głównym tematem książki stał się dowód tezy narzucającej Bogu jakąkolwiek konieczność.

Obowiązek krytycznego przeczytania książki należał do księdza Niccola Riccardiego. Nie był on znawcą astronomii, ale tekst dzieła nie wydał mu się wystarczająco hipotetyczny. Wrogość, jaką idee Galileusza wciąż budziły w pewnych kręgach, skłaniała do ostrożności. Aby uniknąć dalszych opóźnień ustalono, że poszczególne karty rękopisu będą przekazywane do drukarni natychmiast po rewizji, drukarz otrzymał zezwolenie na drukowanie wszystkiego, co otrzyma. Galileusz miał przerobić wstęp i zakończenie, aby lepiej dostosować je do instrukcji papieża i wyjechał z Rzymu w czerwcu 1630 r., po dwumiesięcznym pobycie. Miał wrócić jesienią z gotowymi przeróbkami.

Po kilku miesiącach zmarł książę Cesi, najsilniejszy wtedy sojusznik Galileusza w Rzymie. Druk *Dialogu* został przeniesiony do Florencji, ale wstęp i zakończenie wciąż były w rękach księdza Riccardiego. Czuł on, że tekst, jaki miał, spowoduje kłopoty, ale nie umiał zaproponować odpowiednich zmian i grał na zwłokę. W końcu zwrócił się do Ciampoliego o zezwolenie, otrzymał je i dopiero 19 lipca 1631 r. doręczył ostatnią część rękopisu do ambasady Florencji w Rzymie. Pierwsze egzemplarze wyszły z drukarni w lutym 1632 r.

Tym razem głównymi wrogami Galileusza okazali się jezuiti. Odżyła stara uraza o Grassiego, odżyła stara polemika z Christophem Scheinerem z Ingolstadt o teorię plam słonecznych, która wywołała nową urazę. Wydrukowany na okładce *Dialogu* znak drukarni, trzy ryby pływające w kółko i trzymające się zębami za płetwy grzbietowe, został uznany za znak rozpoznawczy heretyckich sekt [10]. Dnia 1 sierpnia 1632 r. w księgarni Landiniego we Florencji miejscowy inkwizytor zażądał wydania mu wszystkich egzemplarzy *Dialogu* (ale były już wszystkie sprzedane) i wstrzymania dalszej publikacji.

Na prośbę Galileusza, wielki książę Toskanii wysłał list do papieża z prośbą o zwołanie komisji dla zbadania sprawy. Papież rozmawiał z posłańcem krzyżując prawie ze złości. Stwierdził, że „wasz Galileo” zajął się sprawami, którymi nie powinien się zajmować. Oskarżył Galileusza i Ciampoliego o wyprowadzenie go w pole przy uzyskaniu zgody na publikację i groził, że zakaz publikacji jest najłagodniejszą z kar, jakich tym razem Galileusz może się spodziewać. Komisja była już powołana; jej zadaniem, według słów papieża, było zbadanie „czy byłoby możliwe nieprzedstawianie tej sprawy Urzędowi Świętemu” ([5], s. 206).

Taka reakcja papieża była skutkiem działań jezuitów skupionych wokół Grassiego i Scheinera. Poculi oni zagrożenie dla swojej pozycji, do tamtej pory byli głównymi nauczycielami klasy panującej. To oni podsunęli Urbanowi VIII podejrzenie, że Galileusz zakpił z niego, wypowiadając jego zdanie ustami Simplicia. Urban VIII, w czasach gdy był kardynałem, cieszył się szacunkiem uczonych i artystów, teraz zaczął podejrzewać, że nie był traktowany poważnie jako intelektualista.

Dnia 1 października 1632 r. we Florencji Galileusz otrzymał wezwanie, aby w ciągu 30 dni stawił się w Urzędzie Świętym. Miał on wtedy 68 lat i często chorował, konieczność zimowej podróży do Rzymu przeraziła go, mógł jej nie przeżyć. W liście do kardynała Francesco Barberiniego wyraził skruczę i zaoferował spalanie pozostałych kopii książki. Wyraził gotowość przerobienia tekstu i poprosił o utworzenie komisji we Florencji dla nadzoru przeróbki. Prosił też o odroczenie wezwania do wiosny, a w zakończeniu zapewnił, że jeśli jego prośby nie zostaną wysłuchane „... udam się w podróż, ceniąc posłuszeństwo bardziej niż życie.” ([5], s. 221). Była to zamaskowana obietnica, że Galileusz nie ucieknie za granicę. Sugerowano mu to, miał nawet zaproszenie z Padwy, gdzie na terytorium republiki weneckiej byłby poza zasięgiem władzy papieża. List pozostał bez odpowiedzi i zachowała się w archiwach instrukcja Urbana VIII, aby odpowiedzi nie wysyłać ([5], s. 222).

Właśnie wtedy ktoś odkrył w księgach Urzędu Świętego ów dziwny tekst z 26 lutego 1616 r. Teraz mógł on stać się podstawą do cięższego oskarżenia. Komisja oskarżyła Galileusza o trzy przestępstwa:

1. Naruszenie rozkazu traktowania teorii Kopernika jako hipotezy.
2. Błędne traktowanie zjawiska pływów jako skutku ruchu Ziemi.
3. Oszukańcze przemilczenie zakazu z 26 lutego 1616 r.

W zakończeniu pisma, komisja wylicza te cechy *Dialogu*, za które Galileusz powinien być pociągnięty do odpowiedzialności. Oto fragmenty:

- „(a) Że, bez rozkazu i bez zawiadomienia o tym w jakikolwiek sposób, umieścił imprimatur Rzymu na stronie tytułowej.
- (b) Że wydrukował przedmowę inną czcionką i uczynił ją bezużyteczną oddzielając ją od reszty pracy; dalej, że włożył konkluzję końcową w usta prostaka i w miejscu, gdzie trudno ją znaleźć. (...)
- (c) Że bardzo często odstępował w pracy od hipotezy, albo twierdząc absolutnie, że Ziemia porusza się (...) albo sprawiając, że przeciwne twierdzenie wydawało się niemożliwe.
- (d) Że traktował tę kwestię jako sporną, jakby czekała na wyjaśnienie, podczas gdy w rzeczywistości wyjaśnił ją.
- (e) Że lekceważył i poniewiera autorów o innych przekonaniach. (...)

(f) Że wysuwa szkodliwe twierdzenie (...), że (...) istnieje pewna równość między umysłem boskim i ludzkim.

(...)

(h) Że błędnie przypisał przyływy oceanu stabilności Słońca i ruchowi Ziemi, które nie istnieją.” ([5], s. 224).

Jeśli niektóre zarzuty z powyższej listy wydają się Czytelnikom bezsensowne i bezzasadne, nie powinni powątpiewać w swoją zdolność rozumienia XVII-wiecznych dokumentów – były one równie bezsensowne i bezzasadne dla wielu ludzi już wtedy. W świetle ówczesnego prawa nie dało się sformułować „czystego” zarzutu opartego na samej treści *Dialogu*. Oskarżyciele gorączkowo poszukiwali jakiegokolwiek punktu zaczepienia – i wyszedł im wynik jak wyżej. Żadnego z tych zarzutów nie przedstawiono Galileuszowi potem podczas procesu. Dopiero ostatni punkt oskarżenia, złamanie zakazu z 1616 r., miał podstawę prawną.

Dnia 19 listopada 1632 r. Galileusz dostał drugie wezwanie. W odpowiedzi wysłał zaświadczenie o złym stanie zdrowia podpisane przez trzech lekarzy, które stwierdzało, że podróż może być niebezpieczna dla życia ich pacjenta. Papież odpowiedział, że takie uniki nie będą tolerowane i w przypadku dalszej zwłoki Galileusz odbędzie podróż do Rzymu w towarzystwie komisarza i lekarza, ale jako więzień zakuty w kajdany.

Galileusz przybył do Rzymu 13 lutego 1633 r. Proces odwlekał się. Inkwizycja była sławna ze swoich podstępnych metod. Niektórzy historycy domniemują, że jej sędziowie sami traktowali podejrzliwie zakaz z 26 lutego 1616 r. i celowo zwlekali z rozpoczęciem procesu, aby przyłapać Galileusza na przyznaniu się do znajomości zakazu i jego świadomego złamania ([5], s. 244).

Proces rozpoczął się 12 kwietnia i trwał ok. miesiąca. Jego wierne streszczenie rozsądziłoby ramy niniejszego artykułu; jest on dokładnie opisany, z cytatami z dokumentów, w książce G. de Santillany ([5], s. 257-81).<sup>8</sup> Hipoteza o sfałszowaniu dokumentu z 26 lutego 1616 r. łatwo objaśnia przebieg procesu. Galileusz twierdził, że kardynał Bellarmino odczytał mu dokument, który zabraniał mu wierzyć w teorię Kopernika, ale nie pamiętał, aby ktokolwiek zabraniał mu dyskutować o niej i nauczać jej jako hipotezy. Nie znał i nie mógł sobie przypomnieć

---

<sup>8</sup> Według zwyczaju Inkwizycji podsądny musiał być uwięziony i całkowicie odosobniony podczas procesu. Z uwagi na stan zdrowia Galileusza i w geście respektu dla wielkiego księcia Toskanii, tym razem oskarżonemu zezwolono na kontakty ze światem za pośrednictwem służącego i przydzielono mu kwaterę w budynku Inkwizycji. Warto przy okazji przypomnieć inne obyczaje sądów Inkwizycji: Porady prawne dla oskarżonego zostały zakazane przez sobór w Walencji w 1245 r., ponieważ „prawnicy przewlekali proces swoim hałasem”. Czasami powoływano obrońcę, który działał bez konsultacji z oskarżonym. Oskarżony nie był zawiadamiany o treści oskarżenia aż do momentu ogłoszenia wyroku ([5], s. 264-5).

nazwisk świadków, którzy byli przy tym obecni. Złożył na ręce sędziów kopię zawiadomienia od Bellarmina, że nie został ukarany. Nie pamiętał, czy ktoś oprócz Bellarmina mówił do niego podczas tamtej audiencji (proszę zajrzeć do tekstu tamtego dokumentu, mówi on, że zakaz głoszenia nauki Kopernika wypowiedział komisarz Seghizzi).

W czasie pierwszego przesłuchania Galileusz popełnił jeden fatalny w skutkach błąd. Stwierdził, że nie rozmawiał z księdzem Riccardim o ostrzeżeniu z 1616 r., nie uznał tego za konieczne, ponieważ, jak powiedział, jego książka była dowodem przeciwko teorii Kopernika i wykazała jej słabość. Stwierdzenie to było w oczywisty sposób nieprawdziwe, pięć dni później eksperci sądu przedstawili raport, w którym wykazali jego nieprawdziwość. W ten sposób Galileusz wpadł w pułapkę: został przyłapany na wierze w teorię Kopernika i obronie jej, złamał więc łagodniejszy zakaz z 25 lutego 1616 r.

Ksiądz Vincenzo da Firenzuola, któremu zezwolono na spotkanie z oskarżonym pomiędzy przesłuchaniami, wyjaśnił mu jego sytuację i namówił na zmianę linii obrony. Podczas drugiego przesłuchania, 30 kwietnia, Galileusz przyznał, że po powtórny przeczytaniu swojej książki, której nie widział od trzech lat, zauważył, że jego rozumowanie może być odebrane jako argumenty za teorią Kopernika i zgłosił gotowość dopisania dalszego ciągu, w którym dokładniej przedstawi przeciwną opinię. W czasie trzeciego przesłuchania, 10 maja 1633 r., Galileusz wręczył sędziom oświadczenie na piśmie, w którym obszernie wyjaśniał, że tekst z 26 lutego 1616 r. nie był mu znany, zaś zakazu z 25 lutego 1616 r. nie złamał przez fakt napisania *Dialogu*. Wyraził skruchę i prosił o łagodny wymiar kary argumentując, że jego wiek i ciężkie przeżycia związane z procesem same były już karą.

## 7. Wyrok

Po trzecim przesłuchaniu Galileusz został wypuszczony na wolność i w oczekiwaniu na wyrok zamieszkał w Villa Medici, rezydencji ambasadorów Florencji. Przebieg procesu i uwolnienie po przesłuchaniach pozwalały mieć nadzieję na pomyślny wynik. Niestety, znowu zadziałała anonimowa ręka wroga. Sprawozdanie z procesu, bez odpisów oryginalnych dokumentów i nie podpisane niczym nazwiskiem, zostało przesłane do władzy nadrzędnej jako materiał do podjęcia decyzji. Dokument ten streszcza historię sprawy od r. 1615, posługując się zniekształceniami cytatów z pism Galileusza, wziętymi z donosu księdza Loriniego. Tekst powołuje się na list do Castellego, ale stwierdza, że „było niemożliwością zdobycie oryginału”. To twierdzenie jest fałszywe, list do Castellego krążył w

wielu kopiach i trafił do rąk Bellarmina. Historycy przypuszczają, że oryginał został celowo usunięty z archiwum, ponieważ demaskowałby przeinaczenia Loriniego. Dalej sprawozdanie powołuje się na Cacciniego, ale zniekształca i zaostrza jego wypowiedzi, oraz cytuje dokumenty z 1616 r., również ze zniekształceniami na niekorzyść Galileusza. Oczywiście zataja ono sprzeczność między instrukcją papieża z 25 lutego 1616 r. a jej wykonaniem z 26 lutego 1616 r. Relacja z przesłuchań też została podretuszowana na niekorzyść oskarżonego. Historycy mają swoje hipotezy co do osoby autora tego raportu, ale na ich liście podejrzanych nie ma wyraźnego faworyta. Dodajmy, że w różnych listach z tamtego czasu zawarte są mniej lub bardziej wyraźne aluzje sugerujące, że ich autorzy (także sam Galileusz) coś wiedzieli o oszustwach wszechpotężnych mnichów.

Ludzie władni wydać wyrok, papież i główny inkwizytor, nie uczestniczyli w procesie. Dla nich, spreparowane sprawozdanie było głównym źródłem wiadomości (choć nie jedynym – Urban VIII jako kardynał był uczestnikiem niektórych wydarzeń z 1616 r.). Decyzja papieża nosi datę 16 czerwca 1633 r. i brzmi następująco:

„Sanctissimus rozporządził, że rzeczony Galileo ma być przesłuchany co do jego intencji, nawet z groźbą tortur, a jeśli ją podtrzyma, ma wyprzec się podejrzewanej u niego herezji na plenarnym zgromadzeniu Kongregacji Urzędu Świętego, potem ma być skazany na uwięzienie według upodobania Świętej Kongregacji i należy mu rozkazać, aby nie rozprawiał nadal, w jakikolwiek sposób, ani w słowach ani w piśmie, o ruchomości Ziemi i stabilności Słońca, w przeciwnym wypadku narazi się na kary za recydywę. Książka zatytułowana »Dialogo di Galileo Galilei Linceo« ma być zakazana.” ([5], s. 317-8).

Ostatnie przesłuchanie odbyło się 21 czerwca. Tym razem Galileusz twierdził, że nie wierzył w teorię Kopernika, a pisząc *Dialog* miał po prostu zamiar wyłożyć wszystkie argumenty obu stron, ponieważ nie były one wystarczające do udowodnienia żadnej z dwu przedstawionych tam teorii. Mimo powtarzanych przez sąd wezwań do mówienia prawdy i wypowiedzianej jawnie groźby tortur, Galileusz podtrzymał tę wypowiedź i nie rozwijał jej. Przesłuchanie zakończyło się po niecałej godzinie.

Dnia 22 czerwca 1633 r. Galileusz został doprowadzony do wielkiej sali dominikańskiego klasztoru Santa Maria Sopra Minerva ubrany w białą koszulę (zwycajowy strój ukaranych heretyków). Klęcząc w obecności 10 sędziów wysłuchał wyroku. Pełny tekst zawiera powtórzenie oskarżenia i uzasadnienie i jest dość długi ([5], s. 332-6). Galileusz miał wyprzec się swoich „błędów i herezji”, przekląć je i wyrazić wstręt do nich w formie przepisanej przez sąd. *Dialog* miał być

zakazany publicznym dekretem.<sup>9</sup> Galileusz został skazany na „formalne więzienie tego Urzędu Świętego na okres stosowny do naszego upodobania” i miał przez trzy lata raz na tydzień odmawiać siedem psalmów pokutnych.

Siedmiu z dziesięciu sędziów podpisało wyrok. Trzej sędziowie, kardynałowie Gasparo Borgia, Francesco Barberini i Laudivio Zacchia, woleli zaryzykować załamanie dalszej kariery niż przyłączyć się do niegodziwego spektaklu. Ich nazwiska będą załącznikiem do ewentualnej przyszłej rehabilitacji, obok nazwiska Ciampoliego i wielu innych, na które zabrakło tu miejsca. Nazwiska pozostałych sędziów pominiemy jako mało istotne (choć są zapisane w dokumentach, por. [5], s. 331).

Po odczytaniu wyroku sędziowie wręczyli Galileuszowi tekst do odczytania na głos. Ryzykując zaostrenie kary, Galileusz zaprotestował przeciwko dwu punktom. Był gotów odczytać cokolwiek sąd mu nakaże, ale nie stwierdzenie, że był złym katolikiem, ani nie przyznanie się do oszukania kogokolwiek, w szczególności w związku z publikacją *Dialogu*. Sąd uznał protest, a Galileusz ukląkł powtórnie i odczytał poprawiony tekst. Jest on znowu dość długi. Zawiera zapewnienie o wierze w naukę Kościoła katolickiego, przyznanie się do stawianych oskarżonemu zarzutów, formułę o wyparciu się i przeklęciu błędów oraz przysięgę, że nie popełni takich błędów w przyszłości i doniesie Urzędowi Świętemu o każdym heretyku lub podejrzanym o herezję ([5], s. 337-8).

Pod tekstem znajduje się data i podpis Galileusza.

## 8. „Eppur si muove”

Według legendy, Galileusz po odczytaniu formuły wyparcia się błędów i herezji miał powiedzieć do siebie pod nosem „A jednak się porusza”. Nie ma o tym wzmianki w dokumentach. Jest to legenda, ale całkowicie zgodna z charakterem Galileusza i pochodząca rzeczywiście z ostatniego okresu jego życia. Malarz, prawdopodobnie ze szkoły Murilla, być może sam mistrz, namalował w 1643 lub 1645 r. obraz przedstawiający Galileusza w lochu Inkwizycji. Obraz był w XX w. w posiadaniu pewnej belgijskiej rodziny i został w r. 1911 przesłany do oczyszczenia. Po wyjęciu z ramy okazał się on większy niż rama. Galileusz pokazywał palcem na ścianę lochu, w miejsce, które było ukryte poza zagięciem obrazu i niewidoczne, gdy płótno było w ramie. Na ścianie znajdował się tam napis „Eppur si muove”. Powiedzenie to zostało wprowadzone do literatury przez Giuseppe Baretiego w wydanej w 1757 r. w Londynie książce *The Italian library* ([11], s.

<sup>9</sup> Zakaz rozpowszechniania *Dialogu* spowodował błyskawiczne wykupienie i ukrycie wydrukowanych egzemplarzy, a ich czarnorynkowa cena podskoczyła od 8 do 12 razy ([5], s. 352).

357).

Dnia 30 czerwca 1633 r. Galileusz został oddany pod nadzór przyjaznego mu arcybiskupa Sieny. Po pięciu miesiącach miał być uwięziony we Florencji, ale zmieniono potem ten wyrok na dożywotni areszt domowy w jego własnym domu w Arcetri. Tam zmarł 9 stycznia 1642 r.

Mimo postępującej choroby i utraty wzroku przed śmiercią, Galileusz nie poddał się biernie losowi. Władza w Rzymie nie śmiała odmówić zezwoleń na wizyty u niego różnym osobistościom zza granicy. Dzięki takim wizytom udało się przemyścić za granicę i opublikować poza zasięgiem władzy papieża dwie książki: łaciński przekład *Dialogu* (wydany w 1637 r. w Strasburgu) oraz największe dzieło jego życia, *Dwie nowe nauki* (wydane w r. 1638 przez wydawnictwo Elzevir w Lejdzie).

W naszych czasach ludzie Kościoła lubią w związku ze sprawą Galileusza mówić o „bolesnej pomyłce”.<sup>10</sup> Ta retoryka pochodzi najwyraźniej z dużo późniejszego okresu. Gdy Galileusz w r. 1634 poprosił o zezwolenie na wizytę u lekarza we Florencji, w imieniu papieża odpowiedziano mu: „Sanctissimus odmówił zgody na prośbę i powiedział, że rzeczony Galileo powinien zostać ostrzeżony, aby zaprzestał przesyłania próśb, albo zostanie przeniesiony do więzienia Urzędu Świętego” ([5], s. 236). Po śmierci Galileusza wielki książę Toskanii zamierzał wystawić pomnik nad jego grobem. Papież (wciąż ten sam) ostrzegł księcia, że uzna to za obrazę swojego majestatu ([5], s. 356).

*Dialog* został wykreślony z Indeksu w r. 1822 ([5], s. 250). W czasach nowożytnych usprawiedliwiano często potępienie Galileusza twierdzeniem, jakoby teoria Kopernika była niewystarczająco udowodniona i nie przez wszystkich astronomów popierana w XVII wieku. Zdanie takie znalazło się nawet w komunikacie komisji papieskiej ogłoszonym w 1992 r. [1]. Oskarżenie Galileusza, jak tu wykazano, nie miało jednak nic wspólnego z astronomią i w XVII w. ten argument nie został użyty. Było ono oparte na zarzutach teologicznych i formalno-prawnych (te ostatnie zaś najprawdopodobniej zostały oparte na fałszerstwie). Zakaz rozpowszechniania *Dialogu* spowodował upadek nauk przyrodniczych we Włoszech i upadek Florencji jako centrum kultury ([5], s. 330).

Argument o nieuznawaniu teorii Kopernika przez XVII-wiecznych astronomów jest dość perfidny. Działanie Inkwizycji przeciwko Galileuszowi było bowiem elementem akcji zmierzającej do zdławienia teorii Kopernika przy użyciu terroru i przemocy, a jej zwolennicy nie mieli swobody wypowiedzania się. Gdyby działanie to było skuteczne, teoria Kopernika do dziś byłaby literaturą podziemną (w krajach katolickich; w krajach protestanckich nigdy nie była prześladowana).

---

<sup>10</sup> To nie jest dosłowny cytat z czyjejkolwiek wypowiedzi.



Największe zło tamtej akcji polegało na tym, że zaniepokojeni teologowie, zamiast słuchać nowych idei i próbować je zrozumieć, usiłowali dyktować fizykom i astronomom, co jest prawdziwe. Istnieją wyraźne wskazówki, że nawet jezuici w XVII w. byli „prywatnie” zwolennikami teorii Kopernika ([5], s. 315), ale na głośne przyznanie się do tego nie pozwalała im specyficznie pojęta lojalność oraz, oczywiście, bardzo realna perspektywa splonięcia na stosie lub przeżycia reszty dni w lochu.

Trudno dopatrzeć się jakichkolwiek okoliczności łagodzących dla Kościoła w całej tej historii. Nieumiejętność bezwarunkowego przyznania się do winy i próba ponownego samousprawiedliwienia po 350 latach zostaną prawdopodobnie dopisane do listy „bolesnych pomyłek”. Możemy tylko wszyscy wyciągnąć różne nauki na przyszłość z tego doświadczenia. Jedną z nich może być taka: oto do czego prowadzi podpieranie „wartości chrześcijańskich” świeckimi represjami karnymi.

### Literatura

- [1] P. Poupard, *L'Osservatore Romano* (wydanie polskie), nr 1/1993, s. 26.
- [2] [Jan Paweł II, tekst niepodpisany], *L'Osservatore Romano* (wydanie polskie), nr 1/1993, s. 23.
- [3] M. Heller, *L'Osservatore Romano* (wydanie polskie), nr 1/1993, s. 28.
- [4] E. Namer, *Sprawa Galileusza*, tłum. A. Galica (Czytelnik, Warszawa 1985).
- [5] G. de Santillana, *The crime of Galileo* (Time Inc., New York 1962).
- [6] *Sprawa Galileusza*, wybór i redakcja J. Życiński (Wydawnictwo Znak, Kraków 1991).
- [7] O. Gingerich, *Annali dell'Istituto Museo di Storia della Scienze di Firenze* 6, nr 2, 45 (1981).
- [8] O. Gingerich, *Sci. Am.*, Aug. 1982.
- [9] Galileo Galilei, *Dialog o dwu najważniejszych układach świata ptolemeuszowym i kopernikowym*, tłum. E. Ligocki i K. Giustiniani-Kępińska (PWN, Warszawa 1953, 1962).
- [10] L.S. Lerner, E.A. Gosselin, *Sci. Am.*, Nov. 1986.
- [11] S. Drake, *Galileo at work* (University of Chicago Press, Chicago 1982).

Największe zło tamtej akcji polegało na tym, że zaniepokojeni teologowie, zamiast słuchać nowych idei i próbować je zrozumieć, usiłowali dyktować fizykom i astronomom, co jest prawdziwe. Istnieją wyraźne wskazówki, że nawet jezuici w XVII w. byli „prywatnie” zwolennikami teorii Kopernika ([5], s. 315), ale na głośne przyznanie się do tego nie pozwalała im specyficznie pojęta lojalność oraz, oczywiście, bardzo realna perspektywa spłónięcia na stosie lub przeżycia reszty dni w lochu.

Trudno dopatrzeć się jakichkolwiek okoliczności łagodzących dla Kościoła w całej tej historii. Nieumiejętność bezwarunkowego przyznania się do winy i próba ponownego samousprawiedliwienia po 350 latach zostaną prawdopodobnie dopisane do listy „bolesnych pomyłek”. Możemy tylko wszyscy wyciągnąć różne nauki na przyszłość z tego doświadczenia. Jedną z nich może być taka: oto do czego prowadzi podpieranie „wartości chrześcijańskich” świeckimi represjami karnymi.

### Literatura

- [1] P. Poupard, *L'Osservatore Romano* (wydanie polskie), nr 1/1993, s. 26.
- [2] [Jan Paweł II, tekst niepodpisany], *L'Osservatore Romano* (wydanie polskie), nr 1/1993, s. 23.
- [3] M. Heller, *L'Osservatore Romano* (wydanie polskie), nr 1/1993, s. 28.
- [4] E. Namer, *Sprawa Galileusza*, tłum. A. Galica (Czytelnik, Warszawa 1985).
- [5] G. de Santillana, *The crime of Galileo* (Time Inc., New York 1962).
- [6] *Sprawa Galileusza*, wybór i redakcja J. Życiński (Wydawnictwo Znak, Kraków 1991).
- [7] O. Gingerich, *Annali dell'Istituto Museo di Storia della Scienze di Firenze* 6, nr 2, 45 (1981).
- [8] O. Gingerich, *Sci. Am.*, Aug. 1982.
- [9] Galileo Galilei, *Dialog o dwu najważniejszych układach świata ptolemeuszowym i kopernikowym*, tłum. E. Ligocki i K. Giustiniani-Kępińska (PWN, Warszawa 1953, 1962).
- [10] L.S. Lerner, E.A. Gosselin, *Sci. Am.*, Nov. 1986.
- [11] S. Drake, *Galileo at work* (University of Chicago Press, Chicago 1982).

**Michał Heller**

*Wydział Filozofii*

*Papieska Akademia Teologiczna*

*Kraków*

*i*

*Watykańskie Obserwatorium Astronomiczne*

*Watykan*

## **W sprawie „sprawy Galileusza”**

### **The case of the Galileo case**

*Abstract:* The paper contains a short comment on the article by Andrzej Krasieński. It is argued that the Galileo affair should be regarded as a conflict between the old image of the world and the newly born cosmology. Some recent papal documents concerning the Galileo case are briefly reviewed.

#### **1. Wstęp**

Pan Docent Andrzej Krasieński i Pan Profesor Adam Sobiczewski, redaktor *Postępów Fizyki*, zwrócili się do mnie z propozycją napisania artykułu, który – razem z artykułem Pana Krasieńskiego [1] – stanowiłby dwugłos w kwestii „sprawy Galileusza”. W propozycji obydwu Panów mogłem wyczuć oczekiwanie, że mój artykuł będzie odpowiedzią lub wręcz polemiką z tym, co napisał Pan Krasieński. Oczekiwanie to spełnię w niewielkim zakresie. Ograniczę się mianowicie na samym początku do kilku uwag krytycznych pod adresem artykułu [1], w dalszej części rozwijając pewne wątki, które – jak sądzę – nie będą polemiczne lecz raczej uzupełniające w stosunku do poglądów Pana Krasieńskiego.

Tekst, jaki przedstawię, będzie miał charakter dość subiektywny. Nie czuję się specjalistą od „sprawy Galileusza” i przyznam się, że początkowo „sprawa” ta interesowała mnie nie bardziej niż zapewne interesuje większość ludzi czynnie zajmujących się uprawianiem nauki. W centrum „sprawy Galileusza” znalazłem się raczej przypadkowo. Jako pracownik Watykańskiego Obserwatorium Astro-

nomicznego, a potem członek Papieskiej Akademii Nauk, brałem udział w wielu spotkaniach, seminariach i dyskusjach na ten temat, musiałem przeczytać wiele książek i artykułów, a także zetknąć się z wieloma wybitnymi historykami nauki, specjalistami od epoki Galileusza. Chcąc nie chcąc, nabrałem więc pewnego „otrząskania się” z tematem. W dalszym ciągu, świadom swoich ograniczeń pod tym względem, pragnę podzielić się z Czytelnikiem niektórymi doświadczeniami i przemyśleniami związanymi z całą „afarą”.

Zgodnie z zapowiedzią, zacznę jednak od uwag krytycznych.

1) Pan Krasieński, nie będąc historykiem nauki, czerpie informacje z drugiej ręki. Trudno zresztą o inne potraktowanie sprawy w artykule bądź co bądź popularnym. W zestawie cytowanej literatury uderza jednak brak kilku nowszych, fundamentalnych dzieł dotyczących Galileusza i jego procesu.

2) Nie trzeba zbyt głęboko wczytywać się w artykuł Pana Krasieńskiego, by zauważyć jego stronniczość. Nie podważam wiarygodności faktów, przytaczanych przez Niego, ale zarówno dobór faktów (oczywiście w artykule o tej objętości cały szereg okoliczności i faktów musi zostać pominiętych), jak i ich „oświetlenie”, nie świadczą o obiektywności Autora. Nie da się napisać historii „obiektywnej”, ale jednak większy wysiłek w tym kierunku byłby pożądany.

3) Co więcej, każda historia jest pisana z punktu widzenia chwili obecnej (niekiedy twierdzi się, że właśnie z tego powodu każde pokolenie musi napisać całą historię od nowa). Ostatnie zdanie artykułu [1] zdradza epokę (i miejsce w Europie), w jakiej ten artykuł został napisany.

4) Stwierdzenie, że „w krajach protestanckich [teoria Kopernika] nigdy nie była prześladowana”, wymaga komentarza. To prawda, że w krajach protestanckich nigdy nie doszło do konfliktu tej miary, co sprawa Galileusza, ale opory w przyjęciu kopernikanizmu wśród protestantów i katolików były porównywalne (por. [2] i [3]). Interesująca jest opinia na ten temat Johna H. Brooke’a, autora, którego trudno posądzić o stronniczość: „Na losach nowej kosmologii bardziej zaciążył antagonizm *między* katolickim a zreformowanym chrześcijaństwem, niż doktrynalne właściwości któregośkolwiek z nich” ([2], s. 89). Wśród historyków panuje dość rozpowszechnione przekonanie (osobiście podzielam je tylko częściowo; por. niżej), że do sprawy Galileusza mogło dojść jedynie w warunkach kontrreformacji.

Główna teza artykułu [1] mieści się – jak sądzę – w zdaniu: „Największe zło tamtej akcji polegało na tym, że zaniepokojeni teologowie, zamiast słuchać nowych idei i próbować je zrozumieć, usiłowali dyktować fizykom i astronomom, co jest prawdziwe”. Nie tylko zgadzam się z tą tezą, ale w dalszym ciągu postaram się ją naświetlić i głębiej uzasadnić przez sięgnięcie do szerszego kontekstu wydarzeń, jakie zaszły w pierwszych dekadach XVII w.

nomicznego, a potem członek Papieskiej Akademii Nauk, brałem udział w wielu spotkaniach, seminariach i dyskusjach na ten temat, musiałem przeczytać wiele książek i artykułów, a także zetknąć się z wieloma wybitnymi historykami nauki, specjalistami od epoki Galileusza. Chcąc nie chcąc, nabrałem więc pewnego „otrząskania się” z tematem. W dalszym ciągu, świadom swoich ograniczeń pod tym względem, pragnę podzielić się z Czytelnikiem niektórymi doświadczeniami i przemyśleniami związanymi z całą „afetą”.

Zgodnie z zapowiedzią, zacznę jednak od uwag krytycznych.

1) Pan Krasieński, nie będąc historykiem nauki, czerpie informacje z drugiej ręki. Trudno zresztą o inne potraktowanie sprawy w artykule bądź co bądź popularnym. W zestawie cytowanej literatury uderza jednak brak kilku nowszych, fundamentalnych dzieł dotyczących Galileusza i jego procesu.

2) Nie trzeba zbyt głęboko wczytywać się w artykuł Pana Krasieńskiego, by zauważyć jego stronniczość. Nie podważam wiarygodności faktów, przytaczanych przez Niego, ale zarówno dobór faktów (oczywiście w artykule o tej objętości cały szereg okoliczności i faktów musi zostać pominiętych), jak i ich „oświetlenie”, nie świadczą o obiektywności Autora. Nie da się napisać historii „obiektywnej”, ale jednak większy wysiłek w tym kierunku byłby pożądanym.

3) Co więcej, każda historia jest pisana z punktu widzenia chwili obecnej (niekiedy twierdzi się, że właśnie z tego powodu każde pokolenie musi napisać całą historię od nowa). Ostatnie zdanie artykułu [1] zdradza epokę (i miejsce w Europie), w jakiej ten artykuł został napisany.

4) Stwierdzenie, że „w krajach protestanckich [teoria Kopernika] nigdy nie była prześladowana”, wymaga komentarza. To prawda, że w krajach protestanckich nigdy nie doszło do konfliktu tej miary, co sprawa Galileusza, ale opory w przyjęciu kopernikanizmu wśród protestantów i katolików były porównywalne (por. [2] i [3]). Interesująca jest opinia na ten temat Johna H. Brooke’a, autora, którego trudno posądzić o stronniczość: „Na losach nowej kosmologii bardziej zaciążył antagonizm *między* katolickim a zreformowanym chrześcijaństwem, niż doktrynalne właściwości któregośkolwiek z nich” ([2], s. 89). Wśród historyków panuje dość rozpowszechnione przekonanie (osobiście podzielał je tylko częściowo; por. niżej), że do sprawy Galileusza mogło dojść jedynie w warunkach kontreformacji.

Główna teza artykułu [1] mieści się – jak sądzę – w zdaniu: „Największe zło tamtej akcji polegało na tym, że zaniepokojeni teologowie, zamiast słuchać nowych idei i próbować je zrozumieć, usiłowali dyktować fizykom i astronomom, co jest prawdziwe”. Nie tylko zgadzam się z tą tezą, ale w dalszym ciągu postaram się ją naświetlić i głębiej uzasadnić przez sięgnięcie do szerszego kontekstu wydarzeń, jakie zaszły w pierwszych dekadach XVII w.

## 2. Bieg historii i wahadło Galileusza

Artykuł [1] jest napisany nie tylko z pozycji solidarności z Galileuszem – uczonym, który za swoje naukowe poglądy spotkał się z prześladowaniem, lecz także w duchu protestu wobec prób naruszania autonomii badań naukowych w ogóle. Jeśli przypomnieć sobie np. losy kosmologii relatywistycznej i losy ludzi, którzy mieli odwagę zajmować się tą dziedziną nauki w Związku Radzieckim (do lat sześćdziesiątych), a także współczesne antynaukowe prądy, ciągle wzrastające na sile, to łatwo zrozumieć, że tego rodzaju protest nie jest tylko akademicką pozą. Zresztą reakcja Pana Krasieńskiego na tzw. rehabilitację Galileusza z 31 października 1992 r. jest dosyć typowa. Wiele środowisk naukowych zareagowało na nią w podobnym duchu. Troska o zagwarantowanie autonomii nauki jest mi osobiście bardzo bliską sprawą i przyznam się, że był to jeden z głównych motywów mojego zaangażowania się we współczesny dalszy ciąg sprawy Galileusza. Trzeba wszakże zauważyć, że jest to nasza perspektywa widzenia problemu – perspektywa odwróconego czasu: od dziś do epoki Galileusza. Prawdziwa historia działa się w przeciwnym kierunku: z przeszłości ku chwili obecnej. We właściwym kierunku czasu cały problem nabiera innych wymiarów.

Tak, Pan Krasieński ma rację – w potępieniu Galileusza nie chodziło o naukę. Gra toczyła się o znacznie większą, według ówczesnych kryteriów, stawkę. Średniowiecze wytworzyło bardzo spójny obraz świata. Gigantycznym wysiłkiem wielu pokoleń myślicieli, z ruin, jakie wędrówki ludów pozostawiły po starożytności (zarówno greckiej, jak i chrześcijańskiej), stworzono syntezę. Nigdy potem podobnej syntezy nie udało się osiągnąć. W skład tej syntezy wchodziły: filozofia, teologia i nauki przyrodnicze; te ostatnie (od w. XIII) w wydaniu arystotelesowskim. Sztuka i literatura z jednej strony same wniosły sporo elementów wyobrażeniowych do średniowiecznej syntezy, z drugiej zaś wydatnie przyczyniły się do jej utrwalenia i rozpowszechnienia. Ważnym elementem, niejako oprawiającym średniowieczną syntezę w ogólne ramy, była ówczesna kosmologia. Wywodziła się ona z astronomii, ale była mocno przyprawiona filozofią i teologią. Nie brakowało w niej także ornamentów poetyckich, obecnych zresztą w całej syntezie, dzięki czemu stanowiła ona także coś w rodzaju dzieła sztuki. (Na temat średniowiecznej syntezy por. np. [4].)

Pęknięcia na średniowiecznej syntezie pojawiły się znacznie wcześniej, ale u progu czasów nowożytnych jej upadek był już przesądzony. Ostateczny cios został wymierzony przez Keplera, Galileusza i Newtona; jest jednak dziś rzeczą oczywistą, że ich dokonania stały się możliwe, ponieważ zostały przygotowane przez mrówczą pracę i częściowe wyniki wielu innych. Stary świat legł w gruzach. Tym razem nie w wyniku fizycznej destrukcji (jak to się działo, gdy starożytność

ginęła zadeptywana wędrownkami ludów), lecz w wyniku potęgi myśli ludzkiej. Coś analogicznego tylko raz przedtem zdarzyło się w dziejach – wówczas gdy młode chrześcijaństwo – nie tylko bez użycia siły, lecz wbrew sile – zmieniło ducha cywilizowanego świata.

Niewątpliwie idee kontrreformacyjne poważnie przyczyniły się do zaistnienia sprawy Galileusza, ale sądzę, że niezależnie zarówno od kontrreformacji, jak i od osoby autora *Dialogu o dwu najważniejszych układach świata* i tak musiało dojść do ostrego spięcia pomiędzy starym i nowym światem.

Trzeba również uwzględnić czynnik walki o wpływy i znaczenie. W średniowieczu Kościół był jedyną, w pewnym sensie naturalną, ponadnarodową instytucją pielęgnującą nauki i szeroko rozumianą wiedzę. Nowe nauki zaczęły rodzić się na terenie niekontrolowanym przez kościelną jurysdykcję. To musiało budzić niepokój i reakcję. Ale w sprawie Galileusza nie przeceniałbym tego czynnika. Wątpię, czy którakolwiek z kościelnych osobistości, zaangażowanych w tę aferę, zdawała sobie sprawę z zagrożenia, jakie dla starego świata stanowił teleskop Galileusza i jego rozważania na temat równi pochyłej czy matematycznego wahadła. Krótkowzroczność jest znacznie częstszym elementem wpływającym na historię niż się nam wydaje.

O tym, jak bardzo powoli przyjmowała się nowa wizja świata, niech świadczy fakt, że historykom nauki udało się zidentyfikować tylko dziesięciu (!) zwolenników kopernikanizmu, działających w okresie od 1543 do 1600 r. ([3], s. 85).<sup>1</sup>

### 3. „Kompleks Galileusza”

Zespolenie teologii ze średniowiecznym obrazem świata stało się dla niej fatalne. Chciałoby się w tym miejscu napisać zdanie: „Z chwilą gdy zaczął walić się średniowieczny obraz świata, wydawało się, że teologia runie wraz z nim”. Byłoby to jednak narzucaniem historii naszych o niej wyobrażeń. Gdy stary obraz świata *de facto* już leżał w gruzach, sprawę z tego zdawała sobie tylko garstka ludzi rozumiejących nową naukę. Co więcej, ludzie ci w przeważającej większości uważali, że tworzą nową naukowo-teologiczną syntezę; nazwano ją fizyko-teologią (por. np. [2]). Deistyczne i ateistyczne interpretacje nauki przyszły dopiero później.

Za krótkowzroczność swoich przedstawicieli w sprawie Galileusza Kościół płaci do dziś. Ale przegranie konkretnej „sprawy” to tylko stosunkowo niewielka część tej ceny. „Sprawa Galileusza” stała się bowiem jedynie zewnętrznym symp-

<sup>1</sup> Może nie od rzeczy będzie wymienić ich nazwiska: Rheticus, Michael Maestlin, Christopher Rothmann, Johannes Kepler, Giordano Bruno, Galileusz, Thomas Digges, Thomas Harriot, Diego de Zuñiga, Simon Stevin.

tomem znacznie głębiej sięgającego kryzysu. To prawda, że nauki przyrodnicze, rozwijając się w kierunku wytyczonym przez Keplera, Galileusza i Newtona, unieważniły średniowieczną syntezę, ale teologia i filozofia nie przestały istnieć. Ich przystosowanie do dawnej wizji świata było zbyt daleko posunięte, by mogły się zaadaptować do nowych warunków. Uruchoimiły więc mechanizmy izolacji. Mniej więcej od początku czasów nowożytnych „naukowa myśl świecka” i „myśl kościelna” rozwijały się równolegle i, praktycznie rzecz biorąc, niezależne od siebie. Nieliczne próby „nawiązywania kontaktów”, podejmowane przez przedstawicieli myśli kościelnej, nie przyniosły poważniejszych rezultatów, a bardzo często przybierały charakter nowych konfliktów. Oświeceniowe, materialistyczne i pozytywistyczne interpretacje nauki pogłębiły jeszcze proces rozdziału. Sytuacja ta, pomimo rozmaitych deklaracji (bo deklaracje oczywiście niczego nie załatwiają) trwa do dziś. (Obszerniej o tych zjawiskach pisałem w [5] i [6].)

Czy ludzie odpowiedzialni dziś za Kościół rozumieją tę sytuację? Mam na myśli zarówno tych, co „mają władzę”, jak i tych, których zadaniem jest rozwijanie „myśli kościelnej”, a więc filozofów i teologów, związanych z instytucjami i uczelniami kościelnymi. Sądzę, że odpowiedź na postawione pytanie powinna być w zasadzie pozytywna. Świadczą o tym choćby rozmaite inicjatywy podejmowane w celu „zakończenia” sprawy Galileusza. Ale tylko w zasadzie; problem bowiem polega na tym, że naukę i jej racje naprawdę są w stanie zrozumieć tylko ci, którzy sami ją czynnie uprawiają. Inni mogą dysponować zbiorem mniej lub bardziej trafnych informacji o *nauce*, ale widzieć świat przez pryzmat naukowej metody może tylko ten, kto tą metodą włada (przynajmniej w jakimś jej fragmencie). A drogi nauki i drogi myśli kościelnej rozeszły się w czasach Galileusza... Liczba duchownych-naukowców jest znikoma i zwykle zbyt są oni zajęci sprawami naukowymi, by piąć się po szczeblach administracyjnej kariery.

Z racji swoich obowiązków dość często przebywając w Rzymie, zauważyłem tam coś, co byłbym skłonny nazwać „kompleksem Galileusza”. Przy rozmaitych okazjach wraca się do tej sprawy. Nie tylko z racji uroczystych wystąpień, ale także w publikacjach, sympozjach, spotkaniach i całkiem prywatnych dyskusjach. Roztrząsa się racje historyczne, właściwości epoki, teologiczne aspekty i metodologiczne konsekwencje. Ale czegoś w tym wszystkim brakuje...

Rzym dysponuje dwiema instytucjami, które mogłyby spełnić rolę naturalnych pomostów. Mam na myśli Watykańskie Obserwatorium Astronomiczne i Papieską Akademię Nauk. Obserwatorium jest małą, ale nowoczesną instytucją badawczą, Akademia zrzesza kilkudziesięciu wybitnych uczonych, specjalistów z zakresu nauk przyrodniczych i ścisłych, wśród nich wielu laureatów Nagrody Nobla. Ale obydwie te instytucje, choć mieszczą się w Rzymie i w swoich dziedzinach dobrze funkcjonują, nie mają większego wpływu na „rzymską atmosferę”.



#### 4. Inicjatywy

Jestem daleki od twierdzenia, że „inicjatywy zewnętrzne” i „administracyjne poparcie” nie są potrzebne. Utrzymuję tylko, że jeżeli nie uruchomią one mechanizmów zmierzających do zmiany mentalności, to pozostaną bezskuteczne. Kontakty Jana Pawła II, jeszcze jako Karola Wojtyły, z krakowskimi fizykami i jego zainteresowania tą dziedziną nauki były znane od dawna. Należało się więc spodziewać jakichś kroków w stronę problematyki „Kościół a nauki”. Pierwszą okazją stała się setna rocznica urodzin Einsteina w 1979 r. Na uroczystej sesji Papieskiej Akademii Nauk przemówienia wygłosili Carlos Chagas, ówczesny prezes Akademii, Paul Dirac i Victor Weisskopf. Odpowiedział papież w dłuższym wystąpieniu. Ale tylko połowa jego przemówienia była poświęcona Einsteinowi. Reszta dotyczyła Galileusza. Już na początku papież powiedział: „Czysta nauka jest dobrem; każdy człowiek musi mieć możliwość uprawiać ją w pełnej wolności od wszelkich form międzynarodowego zniewolenia lub intelektualnego kolonializmu”. W dalszym ciągu Jan Paweł II dał wyraz swojemu pragnieniu, by teologowie, uczeni i historycy podjęli się przestudiowania sprawy Galileusza, tak by „otworzyć drzwi przyszłej współpracy” [7].

Krążyły wówczas we Włoszech pogłoski, że papież ma zarządzić nadzwyczajną rewizję procesu Galileusza i doprowadzić do jego formalnej rehabilitacji. Legaliści twierdzili, że proces byłby kolejnym nadużyciem, bo przecież Kościół nie ma jurysdykcji nad nauką i nie może orzekać prawdziwości czy fałszywości naukowych teorii. Oczywiście można to traktować jako prawny wybieg niechętnych temu, by przyznawać się do popełnionych błędów. Niezależnie wszakże od pogłosek, sądzę, że inicjatywa papieża była słuszna: poniechać prawnoformalnych zabiegów na rzecz podjęcia studiów nad całym zagadnieniem.

W lipcu 1981 r. została powołana „Komisja do spraw studiów nad dziejami sporu ptolemejsko-kopernikańskiego w XVI i XVII w.”. Rozpoczęła ona pracę w czterech sekcjach roboczych: egzegetycznej, kultury, naukowo-epistemologicznej i historyczno-prawnej. Sporadycznie brałem udział w pracach trzeciej grupy. Warto wiedzieć, że w rzymskim dialekcie epistemologia znaczy to, co gdzie indziej określa się mianem filozofii nauki. W pracy tej sekcji, kierowanej przez O. George’a Coyne’a, dyrektora Watykańskiego Obserwatorium Astronomicznego, zaangażowani byli światowej rangi specjaliści. Kontakty z nimi były dla mnie dużym życiowym doświadczeniem.

W 1987 r. wypadła trzechsetna rocznica opublikowania *Principiów* Newtona. Cały cywilizowany świat obchodził ją jako symboliczny jubileusz powstania nowożytnych nauk empirycznych. W Castel Gandolfo odbyło się bardzo udane sympozjum. Tom sprawozdań z tego sympozjum pt. *Physics, Philosophy and Theology*:

*A Common Quest for Understanding* [8] został dobrze przyjęty przez międzynarodową opinię naukową; był recenzowany – rzecz raczej wyjątkowa – w specjalistycznych czasopismach naukowych (natomiast przez teologów został prawie niezauważony). Jan Paweł II skierował do uczestników sympozjum, na ręce George’a Coyne’a, list, poświęcony omówieniu wzajemnych relacji pomiędzy nauką a religią (tekst listu w [8], polski przekład w [9]). List ten w stylu znacznie odbiega od oficjalnych wystąpień papieskich, a w treści nie poprzestaje na ogólnikach, lecz draży temat kompetentnie od strony naukowej i twórczo pod względem teologicznym. Żałuję, że nie zbierałem wycinków z naukowej prasy. Czytało się w niej, że jest to najważniejsze wystąpienie tego pontyfikatu i być może w ogóle najważniejszy dokument Kościoła w sprawie „teologia a nauki”.

Tymczasem trwały prace „Komisji do spraw studiów nad dziejami sporu ptolemejsko-kopernikańskiego”. Ukazywały się kolejne tomy, zawierające wyniki badań. Najdonioślejszym chyba pozostanie tom zawierający dokumenty dotyczące procesu Galileusza, jakie zachowały się w rzymskich archiwach [10]. Dnia 31 października 1992 r. postanowiono dokonać formalnego zakończenia prac Komisji. Przypuszczam, że cel był formalno-spektakularny – by stworzyć okazję do oficjalnego zamknięcia sprawy Galileusza, raz na zawsze. I to oczywiście się nie uda. A nawet byłoby źle, gdyby się udało. Z historii trzeba nadal wyciągać wnioski. Wiadomo mi, że prace zapoczątkowane przez Komisję, przynajmniej w jej „naukowo-epistemologicznej” sekcji, będą trwały nadal. Kolejne, ważne tomy studiów są w przygotowaniu.

Przemówienie papieskie z okazji zamknięcia prac Komisji [11] środki masowego przekazu nazwały rehabilitacją Galileusza, chociaż słowo „rehabilitacja” ani razu w nim nie padło. Jeżeli miało to być zamknięcie sprawy Galileusza, to – w intencji papieża – nie formalno-prawne, lecz moralno-naukowe.

Jednak tym razem sukces „Listu do Coyne’a” nie powtórzył się. Sądzę, że winna jest temu nie tylko atmosfera pewnego rodzaju niechęci środków masowego przekazu wobec szeregu ostatnich wypowiedzi i decyzji z Watykanu. Ten dokument jest po prostu inny od poprzedniego. Łatwo w nim rozpoznać styl teologów Kurii Rzymskiej. Cytowanie nauki nie jest tym samym, co myślenie jej kategoriami.

## 5. Dwa oblicza dramatu

Dramat Galileusza ma przynajmniej dwa oblicza. Pierwsze oblicze polega na tym, że użyto siły i środków formalno-prawnych celem ograniczenia autonomii badań naukowych. Pan Krasieński zaprotestował w imię tego aspektu sprawy. Ale

jest i drugie oblicze; polega ono na tym, że myśl kościelna zerwała łączność z naukowym myśleniem nowożytnego świata. Nie sądzę, by to drugie oblicze miało tylko wewnątrzkościelne znaczenie. Chrześcijaństwo ma zbyt ważne posłannictwo do spełnienia w stosunku do ludzkości, by nie wyciągać wniosków ze swojej historii.

### Literatura

- [1] J. Krasieński, „Sprawa Galileusza”, *Postępy Fizyki* 44, 487 (1993) – poprzedni artykuł.
- [2] J.H. Brooke, *Science and Religion – Some Historical Perspectives* (Cambridge University Press, Cambridge 1991).
- [3] R.S. Westman, „The Copernicans and the Churches”, w: *God and Nature*, red. D.C. Lindberg, R.L. Numbers (University of California Press, Berkeley 1986), s. 76-113.
- [4] C.S. Lewis, *The Discarded Image* (Cambridge University Press, Cambridge 1988), polski przekład: *Odrzucony obraz* (Pax, Warszawa 1986).
- [5] M. Heller, „Trzysta lat współistnienia Kościoła i nauk przyrodniczych”, w: *Nauka – Religia – Dzieje: IV Seminariusz w Castel Gandolfo*, red. J.A. Janik, P. Lenartowicz (Wyd. Wydziału Filozoficznego Towarzystwa Jezusowego, Kraków 1988), s. 86-100.
- [6] M. Heller, *Nowa fizyka i nowa teologia* (Biblos, Tarnów 1992).
- [7] *Einstein – Galileo*, Pontificia Academia Scientiarum, Libreria Editrice Vaticana, Città del Vaticano 1979.
- [8] *Physics, Philosophy and Theology: A Common Quest for Understanding*, red. R.J. Russell, W.R. Stoeger, G.V. Coyne, Vatican Observatory, Vatican City State 1988.
- [9] *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce* 12, 2 (1990).
- [10] *I documenti del processo Galilei*, Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia, LIII, red. S.M. Pagano, A. G. Luciani, Ex Aedibus Academicis in Civitate Vaticana, 1984.
- [11] *L'Osservatore Romano* (wydanie polskie) 15, nr 1 (1993), s. 23-6.

## WSPOMNIENIA – ROCZNICE

**Jerzy Bartke**

*Instytut Fizyki Jądrowej  
im. H. Niewodniczańskiego  
Kraków*

### Wspomnienie o Profesorze Marianie Mięśowiczu (1907 – 1992)

**In memory of Professor Marian Mięśowicz (1907 – 1992)**

Dnia 5 kwietnia 1993 r. minęła pierwsza rocznica śmierci profesora Mariana Mięśowicza – jednego z najwybitniejszych polskich fizyków i organizatorów nauki.

W 1988 r., z okazji wybrania prof. Mięśowicza członkiem honorowym Polskiego Towarzystwa Fizycznego i osiemdziesiątej rocznicy urodzin, ukazał się w *Postęпах Fizyki* [1] artykuł Andrzeja Olesia, omawiający działalność Jubilata. Ten sam Autor napisał również ostatnio artykuł wspomnieniowy, przeznaczony do publikacji w *Biuletynie Polskiej Akademii Umiejętności*, a także w *Zeszytach Naukowych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie* [2]. W 1984 r. *Postępy Fizyki* opublikowały wywiad, który z Mięśowiczem przeprowadzili Andrzej Białas i Kacper Zalewski [3]. Poza tym sam Mięśowicz napisał i wydał w 1987 r. obszerny artykuł pod tytułem „Notatki autobiograficzne fizyka”. Artykuł ten, liczący 55 stron tekstu i ilustrowany 25 zdjęciami, wydrukowany został w *Kwartalniku Historii Nauki i Techniki*, wydawanym przez Instytut Historii Nauki, Oświaty i Techniki PAN [4]. Profesor Mięśowicz rozdawał liczne odbitki autorskie tego artykułu, opatrując je osobistymi dedykacjami. Dedykacja dla mnie brzmi: „Mojemu Uczniowi i długoletniemu współpracownikowi prof. Jerzemu Bartke ze wspomnieniami wielu lat”. To „wiele lat” oznacza okres od jesieni 1957 r., kiedy jako magi-strant Sekcji Fizyki Wydziału Mat-Fiz-Chem UJ trafiłem do kierowanego przez

prof. Mięśowicza zespołu fizyki wysokich energii w ówczesnym oddziale krakowskim Zakładu VI Instytutu Badań Jądrowych (od 1970 r. Zakład V Instytutu Fizyki Jądrowej).

W tej sytuacji zacznę od zwięzłego przypomnienia działalności Mięśowicza do końca lat pięćdziesiątych na podstawie przytoczonej literatury, a następnie omówię szerzej lata późniejsze, opierając się na moich własnych wspomnieniach i obserwacjach z okresu pracy w jego zespole.

Mięśowicz pochodził ze Lwowa. Studia fizyki ukończył na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie w 1930 r., tam też uzyskał w 1932 r. stopień naukowy doktora za pracę pt. „O krótkich, powoli zanikających falach elektromagnetycznych”, wykonaną pod kierunkiem prof. Konstantego Zakrzewskiego. Od 1931 r. pracował w Katedrze Fizyki Akademii Górniczej, gdzie pod kierunkiem prof. Mieczysława Jeżewskiego rozpoczął badania ciekłych kryształów. Przy pomocy oryginalnej, skonstruowanej przez siebie aparatury, wykrył zjawisko anizotropii lepkości ciekłych kryształów spolaryzowanych zewnętrznym polem magnetycznym. Wprowadził kierunkowe współczynniki lepkości, które weszły do literatury jako „współczynniki lepkości Mięśowicza”. Prace nad ciekłymi kryształami stały się podstawą jego rozprawy habilitacyjnej.

W 1936 r. Mięśowicz wyjechał na roczne stypendium do Holandii, gdzie zetknął się z fizyką jądrową i zajął się budową liczników Geigera-Müllera do badań w tej dziedzinie fizyki. Po powrocie do Krakowa był jednym ze współtwórców aparatury licznikowej do badania promieniowania kosmicznego, która miała być zainstalowana w gondoli balonu stratosferycznego „Gwiazda Polski”. Lot tego balonu, przygotowany pod protektoratem najwyższych władz państwowych i mający być przedsięwzięciem o dużym prestiżowym znaczeniu dla Polski, nie doszedł niestety do skutku z powodu pożaru balonu w czasie napełniania go wodorem w Dolinie Chochołowskiej we wrześniu 1938 r. Sytuacja ogólna uniemożliwiła budowę nowego balonu.

W czasie wojny Mięśowicz był nauczycielem w Średniej Szkole Górniczej i wykładał fizykę dla studentów tajnego Uniwersytetu Jagiellońskiego. Jednocześnie starał się śledzić postęp badań naukowych na świecie, w szczególności dotyczących promieniowania kosmicznego.

Zaraz po wojnie przystąpił do uruchomienia dydaktyki fizyki na AGH i do pracy naukowej, budując aparaturę licznikową do badania promieniowania kosmicznego na dużych głębokościach (w kopalni soli w Wieliczce). Eksperymenty w Wieliczce zaowocowały nie tylko interesującymi wynikami naukowymi (pierwsza po wojnie publikacja polskich fizyków w *Physical Review* [5]), ale dały początek zastosowaniu metod fizyki jądrowej w geofizyce – tzw. profilowaniu jądrowemu odwiertów geologicznych. Pierwsza sonda licznikowa została zapuszczona do od-

wiertu w 1949 r. i już w kilka lat później powstała w AGH pracownia geofizyki jądrowej, kierowana przez jednego z najbliższych współpracowników Mięśowicza – Leopolda Jurkiewicza. Pracownia ta stała się załącznikiem późniejszego Międzyresortowego Instytutu Fizyki i Techniki Jądrowej (obecnie Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH), zajmującego się zastosowaniami metod fizyki jądrowej w geologii i różnych gałęziach przemysłu.

Z początkiem lat pięćdziesiątych Marian Danysz i Jerzy Pniewski w Warszawie i Marian Mięśowicz w Krakowie, zorganizowali grupy kliszowe, w których badano oddziaływania cząstek promieniowania kosmicznego w kliszach jądrowych naświetlonych w balonowych lotach stratosferycznych. Technika ta umożliwiała włączenie się do aktualnych badań światowych fizykom pracującym na miejscu w kraju, i poza zakupem kilku mikroskopów nie wymagała dużych nakładów finansowych. Zespół warszawski, po odkryciu hiperjąderek przez Danysza i Pniewskiego, zajął się głównie fizyką hiperjądrową, podczas gdy zespół krakowski zainteresował się procesami „mnożenia się” cząstek przy bardzo wysokich energiach: kaskadami elektronowo-fotonowymi i tzw. wielorodną produkcją cząstek. Uzyskano doświadczalne potwierdzenie przewidzianej przez Landaua, Feinberga i Pomeranczuka zmiany widma fotonów w kaskadzie spowodowanej koherentnym wpływem gęstego ośrodka. Stwierdzono także zmniejszenie efektywnej jonizacji wysokoenergetycznej pary elektronowej na początku jej przebiegu, przewidziane przez Czudakowa jako efekt częściowej kompensacji ładunku elektronu i pozytonu. W oddziaływaniach cząstek kosmicznych o energii rzędu 1 TeV z jądrami emulsji zaobserwowano dwumaksimową strukturę rozkładów w zmiennej *pseudo-rapidity*,<sup>1</sup> wskazującą na emisję cząstek z dwóch centrów. Była to bardzo ciekawa obserwacja. W tym właśnie okresie trafiłem do grupy kliszowej jako magistrant. Pamiętam, że grupa zbierała się wówczas codziennie w gabinecie prof. Mięśowicza celem dyskusji tych danych. Na tych spotkaniach powstawał tzw. model fireballi. Doktor Tomir Coghén (obecnie profesor, kierownik Zakładu V IFJ), opracowywał relatywistyczną kinematykę modelu, z Warszawy przyjeżdżał prof. Przemysław Zieliński (zmarł w 1991 r.), konsultując statystyczne opracowanie danych pomiarowych. Model dwucentrowy (czyli „fireballi”), opublikowany w 1958 r. [6], szybko zrobił światową karierę.

W tym czasie, kiedy technika kliszowa pokazała swe wielkie możliwości, Mięśowicz dowiedział się o nowej, rozwijającej się właśnie przy akceleratorach, technice komór pęcherzykowych, która również umożliwiała pracę „w domu” przy opracowywaniu zdjęć otrzymanych z ośrodka przeprowadzającego eksperymenty akceleratorowe. Korzystając ze swojej znajomości z Gilbertem Bernardinim, który

---

<sup>1</sup> Zmienna kinematyczna używana w fizyce relatywistycznej, bliska zmiennej *rapidity*.

był wówczas wicedyrektorem Europejskiego Centrum Badań Jądrowych (CERN) w Genewie, Mięśowicz załatwił stypendium, które umożliwiło delegowanie mnie w jesieni 1959 r. do CERN-u, celem zapoznania się z tą nową techniką. Oleg Czyżewski (zmarł w 1970 r.) wyjechał wtedy do Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej w podobnym celu.

W czasie pobytu w Genewie poznałem nowe dla mnie cechy Mięśowicza jako wymagającego i stanowczego przełożonego. Profesor życzył sobie otrzymywać mniej więcej raz w miesiącu listy „sprawozdawcze” z mojej działalności (pamiętajmy, że wówczas znacznie trudniejsze było podróżowanie i mniej rozwinięte różne formy przekazywania informacji, do których istnienia zdążyliśmy się już teraz przyzwyczać). Pod koniec dwuletniego pobytu w Genewie, kiedy zgłosiłem mu, że otrzymałem propozycję wyjazdu do jednego z uniwersytetów amerykańskich, gdzie organizowano wówczas grupę komór pęcherzykowych (chyba był to Uniwersytet Rutgers), stanowczo się sprzeciwił i przypomniał mi szkoleniowy cel mojego wyjazdu do CERN-u. Podporządkowałem się jego poleceniu i z perspektywy lat widzę, że ten moment mógł zaważyć na całym moim życiu, ponieważ wyjazd w młodym wieku do USA bardzo często prowadzi, niestety, do definitywnego zerwania z krajem. Po powrocie z Genewy zorganizowaliśmy wraz z Olegiem Czyżewskim grupę komór pęcherzykowych w Krakowie, pracując na materiałach otrzymywanych z eksperymentów w CERN-ie i ZIBJ-cie. Technika komór pęcherzykowych na świecie rozwijała się doskonale. Budowano wielkie komory o objętości kilkudziesięciu metrów sześciennych, analizowano miliony zdjęć.

I wtedy, na początku lat siedemdziesiątych, Mięśowicz ponownie pokazał swą wielką intuicję i rozeznanie tendencji rozwoju fizyki, zachęcając współpracowników do podjęcia badań przy użyciu nowych, bezfilmowych, czysto elektronicznych metod rejestracji cząstek. Działalność ta, podjęta przez Krzysztofa Rybickiego i Michała Turałę zaowocowała nie tylko udziałem w wielu eksperymentach w wiodących ośrodkach akceleratorowych, ale także opanowaniem technologii wytwarzania nowoczesnych detektorów i zapewniła całemu zespołowi dalszą perspektywę. W latach osiemdziesiątych komory pęcherzykowe wyszły z użycia i nasza grupa również przeszła na inne metody detekcji. Wchodzący obecnie w końcowe stadium eksperyment NA35, poświęcony badaniu oddziaływań relatywistycznych jąder, był ostatnim eksperymentem w CERN-ie, wykorzystującym technikę wizualną: fotograficzną rejestrację cząstek w komorze strimerowej umieszczonej w polu magnetycznym; kontynuacja tych badań będzie już prowadzona techniką bezfilmową – przy użyciu tzw. komory projekcji czasowej. Nowe techniki detekcji mogły się tak rozwinąć dzięki wspalanemu rozwojowi elektroniki, ale to Mięśowicz najwidoczniej także przewidział. . .

W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych Mięśowicz poświęcał ogromnie

dużo czasu i wysiłku organizacji nauki polskiej: był wiceprezesem PAN (1969-77) i przewodniczącym krakowskiego oddziału PAN, posłem na Sejm przez dwie kadencje (VI i VII), koordynatorem tzw. Programu Węzłowego „Badanie procesów jądrowych i wykorzystanie techniki jądrowej w społeczno-gospodarczym rozwoju kraju” (1981-85), a następnie głównym koordynatorem Centralnego Programu Badań Podstawowych „Badania cząstek elementarnych i procesów jądrowych” (1986-90). Zależało mu bardzo na rozwoju zarówno badań podstawowych w zakresie fizyki jak i stosowanych. Wszędzie, we wszystkich instancjach szczebla rządowego i wojewódzkiego cierpliwie wyjaśniał znaczenie badań podstawowych i ich ścisłe powiązanie z bardziej wówczas popieranymi badaniami stosowanymi. Ośrodek, który stworzył w Krakowie, był najlepszą ilustracją jedności badań podstawowych i stosowanych, co Mięśowicz podkreślał przy każdej okazji i wykorzystywał dla pozyskiwania funduszy na badania. W tych latach wszyscy podziwialiśmy, oprócz poświęcenia dla sprawy rozwoju fizyki, także i wytrzymałość fizyczną Profesora, który w związku z działalnością w PAN-ie i w Sejmie musiał stale jeździć do Warszawy – czasem nawet kilka razy w tygodniu. Byliśmy także, oczywiście, świadkami jego licznych zaszczytów: doktoratów *honoris causa* Uniwersytetu Jagiellońskiego, Akademii Górniczo-Hutniczej i Uniwersytetu Warszawskiego, przyznawania mu najwyższych odznaczeń państwowych i nagród naukowych, uroczystości jubileuszowych. Ale chyba największą satysfakcję sprawiło Mięśowiczowi powtarne „odkrycie” przez fizyków badających ciekłe kryształy jego prac z tej dziedziny z lat trzydziestych. Prace te, o których wspomniałem na początku niniejszego artykułu, zaczęły być licznie cytowane i omawiane w monografiach poświęconych ciekłym kryształom [7-9].

W 1982 r., w 46 lat po publikacji swojego artykułu, Mięśowicz został zaproszony do wygłoszenia inauguracyjnego, historycznego referatu na Międzynarodowej Konferencji Ciekłych Kryształów w Bangalore (Indie). Drugim takim wydarzeniem było zaproszenie go przez papieża Jana Pawła II do wygłoszenia referatu na prywatnym seminarium papieskim w Watykanie w 1986 r. Mięśowicz wybrał jako temat swego referatu problem tzw. wielkiej unifikacji oddziaływań, który żywo go interesował w ostatnich latach [10].

Profesor Mięśowicz wychował liczną kadrę pracowników naukowych. Był promotorem kilkudziesięciu prac doktorskich, ponad 30 jego współpracowników habilitowało się i około 20 uzyskało tytuły profesorskie. Miał zdolność gromadzenia wokół siebie zespołów badawczych. Zrobił bardzo wiele dla integracji krakowskiego środowiska naukowego. W pierwszym rządzie mam tu na myśli fizykę wysokich energii. Cotygodniowe seminaria wspólne z teoretykami, którym patronują prof. Andrzej Białaś i prof. Krzysztof Fiałkowski, stały się już tradycją. Początkowo odbywały się one w soboty. Pamiętam, że przez kilka lat bezskutecznie



staraliśmy się przełożyć je na piątek, aby mieć wolną sobotę, ale Profesor upierał się przy sobocie, ponieważ w ten dzień był zawsze w Krakowie. Dopiero gdy zrezygnował z części swoich licznych funkcji wymagających wyjazdów do Warszawy, zgodził się na przeniesienie tego seminarium na piątek.

Profesor Mięśowicz cieszył się ogromnym autorytetem u współpracowników. Był w pewnym sensie symbolem i przez długie lata, gdy ktoś w Zakładzie cytował jakąś opinię jako pochodzącą od „Profesora”, czy też użył wyrażenia „gabinet Profesora”, to nikt nie miał wątpliwości, że miał na myśli prof. Mięśowicza, chociaż w Zakładzie było już kilku młodych profesorów. W późniejszych latach nazywaliśmy go także „Starym”. To określenie dotarło do niego, ale zupełnie się o to nie obrażał, traktując je, zgodnie zresztą z naszą intencją, jako synonim słowa „majster”, używanego np. przez czeladników i uczniów w rzemiośle. Będzie może interesujące przytoczenie tu „Przykazań dla kierownika zespołu naukowego”, sformułowanych przez Mięśowicza:

### **Pięć przykazań dla kierownika zespołu naukowego**

- 1) Dobry kierownik dobiera sobie pracowników, którzy w przyszłości mogą być lepsi od niego.
- 2) Dobry kierownik cieszy się z tego, że jego uczeń staje się szybko naukowo samodzielny.
- 3) Dobry kierownik stymuluje dyskusje i nie boi się sytuacji, kiedy młody pracownik przeforsuje swoje stanowisko sprzeczne z jego własnym.
- 4) Dobry kierownik pozwala publikować pracownikom samym, natomiast uczy i pilnuje skrajnej rzetelności tych publikacji.
- 5) Dobry kierownik winien być wyrozumiały na „wysoki” temperamentu swych młodych współpracowników. Stwarza to doskonałą sytuację do uczenia kultury.

Mięśowicz kochał góry, a szczególnie Tatry. W młodych latach dokonywał nawet trudniejszych przejść tatrzańskich, potem chodził na łatwiejsze wycieczki, a Bukowina Tatrzańska pozostała do końca życia jego ulubionym miejscem letniego wypoczynku. Cieszył się, gdy ktoś z nas odwiedził go tam w czasie wakacji. Pokazywał nam wtedy co czyta wieczorami i w słotne dni (zawsze była to fizyka). Profesor miał jeszcze inne hobby: fotografowanie. Podczas górskich wycieczek powstał piękny zbiór zdjęć tatrzańskich, niektóre z nich były reprodukowane w czasopiśmie *Wierchy*. Mało kto wie, że Mięśowicz napisał broszurę pt. *Jak fotografować – krótki poradnik dla fotografa-amatora* (II wydanie ukazało się w 1946 r.). W okresie późniejszym Profesor chętnie zwiedzał muzea sztuki i fotografował obrazy. Po wielu latach zgromadził już dość bogaty zbiór reprodukcji dzieł malar-

skich na kolorowych przezroczach i pokazywał tę kolekcję swoim przyjaciołom i na prelekcjach w środowisku uczelnianym. Raz miałem okazję towarzyszyć mu w wizycie z aparatem fotograficznym na głośnej wystawie „Moskwa-Paryż”, którą razem oglądaliśmy w moskiewskim muzeum im. Puszkina. Pamiętam, że tłumy zwiedzających (wystawa cieszyła się ogromnym zainteresowaniem i ludzie stali w kilkugodzinnych kolejkach aby ją zobaczyć) bardzo utrudniały fotografowanie, ale Mięśowicz wykazywał dużo cierpliwości wyczekując na odpowiednią chwilę kiedy nikt nie zasłaniał interesującego go obrazu.

W ostatnich latach pogarszający się stan zdrowia utrudniał Mięśowiczowi poruszanie się, zawsze jednak przyjeżdżał do Zakładu na piątkowe seminaria z teoretykami oraz na posiedzenia Rady Naukowej IFJ. Po raz ostatni uczestniczył w posiedzeniu Rady Naukowej IFJ w styczniu 1991 r., potem nie opuszczał już swojego mieszkania.

Wszyscy wspominamy prof. Mięśowicza jako naszego nauczyciela i wielkiego człowieka, z którym mieliśmy szczęście mieć bliski kontakt przez wiele lat. Sądzimy, że powstające obecnie w Krakowie środowiskowe międzyresortowe „Centrum Fizyki Wysokich Energii im. Mariana Mięśowicza” będzie trwałym wyrazem uznania dla jego wieloletniej działalności na rzecz rozwoju i integracji tego środowiska.

## Literatura

- [1] A. Oleś, *Postępy Fizyki* **39**, 141 (1988).
- [2] A. Oleś, *Biul. PAU* w druku; *Zesz. Nauk. AGH*, w druku.
- [3] „Rozmowa z profesorem Marianem Mięśowiczem”, *Postępy Fizyki* **35**, 47 (1984).
- [4] M. Mięśowicz, *Kwart. Hist. Nauki Techn.* **32**, 545 (1987).
- [5] M. Mięśowicz, L. Jurkiewicz, J.M. Massalski, *Phys. Rev.* **77**, 380 (1950).
- [6] P. Ciok et al., *Nuovo Cimento* **10**, 741 (1958).
- [7] M.J. Stephen, J.P. Straley, *Rev. Mod. Phys.* **46**, 617 (1974).
- [8] S. Chandrasekhar, *Liquid Crystals*(Cambridge Univ. Press, Cambridge 1977).
- [9] P.G. de Gennes, *The Physics of Liquid Crystals*(Clarendon, Oxford 1979).
- [10] M. Mięśowicz, *Postępy Fizyki* **34**, 107 (1983).

## ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Niemiecko-Polskie Sympozjum Fizyki  
Półprzewodników Półmagnetycznych

W dniach 7-9 czerwca 1993 r. odbyło się w ośrodku szkoleniowym „Energetyk” w Jachrance nad Zalewem Zegrzyńskim „Niemiecko-Polskie Sympozjum nt. Fizyki Półprzewodników Półmagnetycznych”. Spotkanie zorganizowane zostało przez Instytut Fizyki PAN i Politechnikę w Brunzshwiku. Dla podkreślenia tego faktu współprzewodniczącymi Sympozjum zostali Robert R. Gałązka i Michael von Ortenberg, profesorowie tych instytucji. Organizacją konferencji zajmowali się Witold Dobrowolski i Elżbieta Grodzicka z Instytutu Fizyki PAN. Do spotkania mogło dojść dzięki subwencji Fundacji Współpracy Polsko-Niemieckiej, która ze środków Republiki Federalnej Niemiec pokryła w znacznej części koszty pobytu w Jachrance, oraz dzięki Fundacji W.-E. Heraeus, która sfinansowała koszty podróży uczestników niemieckich. W spotkaniu wzięło udział 48 naukowców z Niemiec i Polski. Dwudziestu trzech uczestników niemieckich reprezentowało 6 ośrodków, w których uprawiana jest fizyka półprzewodników półmagnetycznych, a mianowicie: Uniwersytet im. Humboldta w Berlinie, Politechnikę w Berlinie, Politechnikę w Brunzshwiku, Uniwersytet w Bayreuth, Uniwersytet w Ratzbonie, Uniwersytet w Würzburgu i Instytut im. Maxa Plancka w Stuttgarcie. Dwudziestu pięciu uczestników polskich reprezentowało Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk oraz Instytut Fizyki Teoretycznej i Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego.

Celem Sympozjum było pogłębienie istniejącej współpracy i nawiązanie nowych kontaktów pomiędzy polskimi i niemieckimi ośrodkami naukowymi prowadzącymi badania półprzewodników półmagnetycznych. Zdaniem organizatorów, nowe możliwości, które zaistniały dzięki zmienionej sytuacji politycznej w Europie, nie zostały do tej pory wykorzystane przez środowisko fizyków zajmujących się tą gałęzią wiedzy. Prawdopodobną przyczyną tego stanu rzeczy są wewnętrzne problemy obydwóch społeczności naukowych.

Program Sympozjum zawierał 23 wykłady o charakterze przeglądowym i 19 prac przedstawionych w postaci plakatów.

Tematyka wystąpień obejmowała praktycznie wszystkie współczesne kierunki fizyki półprzewodników półmagnetycznych. Znaczna ich część poświęcona była metodom wzrostu, wyznaczaniu parametrów i badaniu struktur otrzymywanych metodą wiązek molekularnych (MBE). W tematyce tej niewątpliwie wiódł prym ośrodek w Würzburgu. G. Landwehr z tego uniwersytetu wygłosił wykład pt. „Ekscytony w studniach kwantowych CdTe-(CdMn)Te”, a D. Schaack omówił spektroskopię ramanowską w warstwach (CdMn)Te otrzymywanych metodą MBE. Ponadto autorzy z Würzburga przedstawili

trzy prace dotyczące zarówno technologii wzrostu, jak i badań struktur i warstw epitaksjalnych hodowanych metodą MBE. W. Gebhardt z Ratzbony zajął się w swoim wykładzie problemami realnej struktury krystalograficznej heterozłącz otrzymywanych metodami MBE. U. Rössler, przedstawiciel Niemiec w Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej, naświetlił teorię zjawisk relaksacji w asymetrycznych studniach kwantowych. Badaniom struktur ZnSe/ZnMnSe metodami spektroskopii o rozdzielczości czasowej poświęcony był wykład F. Hennebergera z Uniwersytetu im. Humboldta w Berlinie. Polski akcent stanowił wykład J. Gaja z Uniwersytetu Warszawskiego zatytułowany „Magnetoptyczne metody wyznaczania parametrów międzypowierzchni struktur CdTe/CdMnTe”. Ciekawy wykład o metodach otrzymywania „drutów” i „kropek” kwantowych wygłosił D. Schikora z Politechniki w Brunszwiku. G. Grabecki z Instytutu Fizyki PAN w Warszawie opowiedział o zjawiskach mezoskopowych zachodzących w strukturach otrzymywanych z półprzewodników półmagnetycznych.

Jak stąd wynika wkład Polaków do tego nurtu tematycznego Sympozjum był raczej skromny. Jednak spodziewamy się, że już niedługo polscy naukowcy będą publikować również ciekawe wyniki badania struktur wyhodowanych w obecnie instalowanej w IF PAN aparaturze do MBE.

Kilka wykładów poświęconych było badaniom związków IV–VI. I tu część przedstawionego materiału pochodziła z pomiarów próbek otrzymywanych metodą hodowli z wiązek molekularnych. Przeglądu własności półprzewodnikowych związków IV–VI dokonał H. Pascher z Uniwersytetu w Bayreuth. Część wykładu poświęcił on na omówienie supersieci otrzymywanych z tych materiałów. J.W. Tomm z Uniwersytetu im. Humboldta w Berlinie podjął temat hybrydyzacji stanów 4f europu z pasmem walencyjnym w mieszanych kryształach  $Pb_{1-x}Eu_xSe$ . R.R. Gałazka z Instytutu Fizyki PAN ilustrował swój wykład, poświęcony wpływowi jaki podukład elektronowy wywiera na właściwości magnetyczne półprzewodników półmagnetycznych, przykładami zaczerpniętymi z badań materiałów II–VI i IV–VI. Badaniom zjawisk elektronowego rezonansu paramagnetycznego w kryształach  $Pb_{1-x-y}Sn_yMn_xTe$  poświęcony był wykład T. Storego z tego samego Instytutu.

Problematyka pozostałych wykładów była na tyle zróżnicowana, że trudno podzielić je na grupy tematyczne.

H.-E. Gumlich z Politechniki Berlińskiej przedstawił wyniki badań fotoemisji z epitaksjalnych warstw MnTe i MnSe wzbudzonej promieniowaniem synchrotronowym. Półprzewodniki MnTe i MnSe stanowią związki graniczne (o  $x = 1$ ) większości badanych dotychczas półprzewodników półmagnetycznych. Wyliczone z eksperymentu parametry struktur pasmowych okazały się zgodne z przewidywanymi teoretycznie.

T. Ruf z Instytutu im. Maxa Plancka w Stuttgarcie omówił bardzo ciekawe efekty rezonansowe zaobserwowane poprzez badanie rozpraszania ramanowskiego w kryształach  $Cd_{0.95}Mn_{0.05}Te$ . Obserwacja tych zjawisk jest możliwa jedynie w półprzewodnikach półmagnetycznych, a to dzięki jednemu w swoim rodzaju wpływowi temperatury i pola magnetycznego na strukturę pasmową.

M. von Ortenberg, obecnie z Uniwersytetu im. Humboldta w Berlinie, omówił zjawiska przejść z odwróceniem spinu w kryształach CdMnTe. A. Witowski z Uniwersytetu Warszawskiego przedstawił zagadnienie relaksacji magnetyzacji w półprzewodnikach półmagnetycznych. O. Portugall zajął się w swoim wykładzie problemami związanymi z

wykorzystaniem megagaussowych pól magnetycznych do badania półprzewodników. Interesujące wykorzystanie zjawiska fotopamięci do badań przejść fazowych metal – izolator w półprzewodnikach półmagnetycznych przedstawił T. Wojtowicz z Instytutu Fizyki PAN.

Ciekawą grupę stanowiły wykłady T. Dietla z Instytutu Fizyki PAN i J. Spałka z Uniwersytetu Warszawskiego stanowiące wyjście poza ogólnie stosowane do opisu zjawisk zachodzących w półprzewodnikach półmagnetycznych przybliżenie pola molekularnego.

Problemowi oddziaływania nośników prądu z jonami paramagnetycznymi poświęcony był wykład J. Blinowskiego z Uniwersytetu Warszawskiego. Autor pokazał, że własności spinowe kryształów zależą w sposób istotny od konfiguracji elektronowej jonów paramagnetycznych.

Dwa wykłady dotyczyły badań materiałów zawierających jako domieszkę magnetyczną żelazo. A. Mycielski z Instytutu Fizyki PAN pokazał jaki wpływ wywiera najbliższe otoczenie jonu żelaza na właściwości magnetyczne materiału. W pewnym stopniu zbliżony tematycznie był referat P. Sobkowicza o symulacjach rozkładów zjonizowanych atomów domieszki żelaza w HgSe metodą Monte Carlo. W materiale tym żelazo może występować w dwóch stanach ładunkowych, co stwarza możliwość korelacji położeń ładunków na domieszkach.

Sesja plakatowa wniosła interesujące uzupełnienie do tematyki przedstawionej w czasie referatów. Obok prac pokrewnych tematycznie pokazano wiele innych, poruszających m.in. takie zagadnienia jak: zjawiska optyki nieliniowej w CdMnTe i HgSe:Fe, wpływ rezonansowych donorów na własności przenoszenia elektronów w kryształach PbTe:Cr czy własności magnetyczne supersieci CdTe/CdMnTe.

Podsumowując można stwierdzić, że w fizyce półprzewodników półmagnetycznych, podobnie jak w całej fizyce ciała stałego, coraz poważniejszą rolę odgrywają badania zjawisk fizycznych zachodzących w próbkach otrzymywanych technologiami nierównowagowymi. Dzięki metodzie MBE możliwe stały się np. wyhodowanie i badanie kryształów MnSe i MnTe o strukturze krystalograficznej blendy cynkowej, znanych dotychczas jedynie w strukturze typu NaCl lub NiAs. Technologia MBE umożliwiła też wzrost heterostruktur, studni kwantowych czy supersieci. Pojawienie się tej nowej klasy próbek spowodowało, że krąg zagadnień fizyki półprzewodników półmagnetycznych powiększył się o zjawiska wynikające z ograniczenia efektywnej wymiarowości do 2, 1 czy 0 wymiarów.

Na uwagę zasługuje rosnące, jak się wydaje, zainteresowanie materiałami grupy IV–VI. Związki te wyróżniają się silniejszą niż w innych materiałach możliwością wpływu na własności magnetyczne kryształów poprzez zmianę parametrów półprzewodnikowych. Można tu nadmienić, że interpretacja obserwowanych zjawisk wymaga stosowania skomplikowanych teorii wychodzących poza przybliżenie kryształu wirtualnego i średniego pola.

Przez wiele lat za półprzewodniki półmagnetyczne uważane były zazwyczaj związki półprzewodnikowe zawierające mangan jako jeden ze składników. Obecnie klasa badanych materiałów rozszerzyła się o związki zawierające inne metale przejściowe takie jak żelazo, chrom czy kobalt, a nawet jony ziem rzadkich np. europ i gadolin. Z prowadzonych doświadczeń wynika, że własności magnetyczne półprzewodników półmagnetycznych zależą w istotny sposób od rodzaju jonu paramagnetycznego, a dokładnie od jego konfiguracji elektronowej, co wyjaśnia teoria zaproponowana przez J. Blinowskiego i P. Kacman.

W opinii uczestników, wyrażonej przez G. Landwehra w czasie zamknięcia Sympozjum, spotkanie należy uznać za udane i wartościowe. Miarą tego może być fakt, że zaproponowano zorganizowanie następnego spotkania za dwa lata na terenie Niemiec.

*Witold Dobrowolski i Elżbieta Grodzicka*

Instytut Fizyki PAN

Warszawa

## RECENZJE

Adam Dubik: *Zastosowanie laserów*  
WNT, Warszawa 1991, seria „Fizyka dla Przemysłu”, s. 308

Książka dra hab. Adama Dubika *Zastosowanie laserów* ukazała się w serii Fizyka dla Przemysłu Wydawnictwa Naukowo-Technicznego. Na tylnej okładce książki w notce Wydawcy możemy się dowiedzieć, że „zadaniem serii . . . jest przenoszenie idei i wyników z laboratoriów badawczych do praktyki przemysłowej. . . . Seria ta przyczyni się do szybszego wdrażania wyników badań podstawowych w fizyce do celów przemysłowych”. Zazdrościć należy pewności siebie piszącego te słowa. Nie jest tu miejsce na tłumaczenie co może przyczynić się do czego a co nie może. Stwierdzam jedynie, że powyższy sąd Wydawcy może tylko zniechęcić do kupna książki, tak jak prawdziwych koneserów zniechęca każdy brak skromności, żeby nie powiedzieć niczym nie uzasadniona zarozumiałość.

Zacznijmy od przejrzenia książki i od kilku szczegółów. Wszak w szczegółach podobno siedzi diabeł.

Książka liczy ok. 300 stron. Jej szata graficzna jest uboga. Czarno-białe obrazki, obok piktogramów, to w większości zdjęcia pudełek. Na wiarę należy przyjmować, że np.: dwa pudła to uniwersalna obrabiarka laserowa (s. 39); wielka szafa z dwoma okienkami to spawarka laserowa (s. 53); konsola na s. 68 to urządzenie z laserem Nd:YAG. Podobnie zdjęcia na s. 75, 83, 243, 258, 278 nie zawierają informacji o przyrządach, a będąc średnie jakościowo nie przynoszą nawet pozytywnych doznań estetycznych. Ukoronowaniem jest reprodukowane na s. 291 zdjęcie laserowego lancetu. Równie dobrze może to być lodówka. Mimo wszystko jednak, to że książka ma wiele ilustracji jest jej niewątpliwą zaletą.

Po przejrzeniu zacznijmy systematyczną lekturę.

Początek pierwszego rozdziału – to znów radość dla złośliwego recenzenta: „W roku 1917 Albert Einstein opublikował pracę omawiającą istotę zjawiska emisji i absorpcji spontanicznej i wymuszonej . . .”. Nie tłumaczy jednak Autor, co to jest owa absorpcja spontaniczna i czym się różni od absorpcji wymuszonej. Niezręczności tego rodzaju jest w książce sporo, co bezwzględnie uatrakcyjnia jej lekturę. Wiele zwrotów zaczerpnięto z laboratoryjnego podziemia: „laser na kryształach rubinu”, „milion przejść laserowych umożliwiających uzyskanie inwersji obsadzeń” (s. 16) – w tym przypadku nie powinno być wątpliwości typu co było pierwsze, czy jajko czy kura – najpierw musi być inwersja obsadzeń a dopiero wtedy może nastąpić akcja laserowa; „lasery zawierające krystaliczne ośrodki aktywne jak rubin i granat . . . oraz barwnikowe”(?) (s. 37); „. . . uruchomienie docelowego lasera . . .”; „elementy nieprzeziernie” goszczą wielokrotnie na łamach książki, słowa nieprzezierny nie ma jednak w *Słowniku Poprawnej Polszczyzny* PWN.

Po uwagach szczegółowych, a niezupełnie merytorycznych kilka zdań o samej zawartości rzeczowej książki. Składa się ona z siedmiu rozdziałów. Pierwszy rozdział to wstęp ogólnohistoryczny o laserach, z wieloma tabelami własności konstrukcji laserowych wy-

branych firm. Rozdział 2 poświęcony jest laserowej obróbce materiałów. Wydaje się on najbardziej interesującym rozdziałem książki. Rozdział 3 – „Lasery w badaniach środowiska naturalnego” – poświęcony jest rodzajom rozproszenia światła na zanieczyszczeniach, rodzajom lidarów. Stanowi on dość powierzchowny wybór materiału, aczkolwiek jest również interesujący. Nie wspomniano wprawdzie o spektroskopowych badaniach laserowych, ale trudno pisać o wszystkim. Rozdział 4 – „Optyczne przetwarzanie informacji” – jest chyba w tej książce nieporozumieniem, a przynajmniej jest niepotrzebny w takim ujęciu. Jest nudny i nie zawiera informacji konstrukcyjno-fizycznych. Zawiera natomiast formuły matematyczne dotyczące przekształcania sygnału optycznego – całkowanie, przekształcenie Fresnela, Mellina, splot i korelację. Rozdział ten, opatrzony stosownym wstępem i bardziej szczegółowym opisem zastosowań mógłby sam stanowić jakąś broszurę, przeznaczoną jednak dla innego czytelnika. W tej książce służy jako element zniechęcający do jej kupna a tym bardziej przeczytania. Rozdziały 5, 6 i 7 znowu poświęcono laserom i ich zastosowaniom. Rozdział 5 opisuje lasery wielkiej mocy i ich zastosowanie, głównie do wytwarzania reakcji termojądrowej. Ani słowa o roli laserów w obaleniu komunizmu, czyli niedoszłych gwiazdnych wojnach. Rozdział 6, o zastosowaniu laserów w geodezji, jest wyważony i dość dobry. Rozdział 7 – „Inne zastosowania laserów” – stanowi właściwie spis problemów nie opisanych, m.in. bardzo bogaty i interesujący problem laserów w telekomunikacji. Takiej tematyce, a nie transformatom powinien być poświęcony rozdział o przetwarzaniu informacji.

Podsumowując – książka jest nudna i niepociągająca. Pewne rozdziały są proste, inne skomplikowane i niepotrzebne. Strona graficzna służy w znacznym stopniu wydłużeniu książki, a nie zilustrowaniu opisywanych zagadnień.

Proponowałbym zdecydować się nie na uzdrawianie naszego przemysłu, ale (po poprawieniu lapsusów i strony graficznej) na przerobienie na prostą książeczkę dla młodzieży. Z piękną szatą graficzną.

*Maciej Kolwas*

Instytut Fizyki PAN  
Warszawa



## K R O N I K A

## P T F

**Wieczór pamięci  
Grzegorza Białkowskiego  
w Oddziale Rzeszowskim**

Dnia 20 maja 1993 r. w Instytucie Fizyki WSP w Rzeszowie odbył się pierwszy z planowanego cyklu wieczór wspomnień poświęcony pamięci prof. Grzegorza Białkowskiego.

W zorganizowanym przez Oddział Rzeszowski PTF i Pracownię Fizyki Ciała Stałego Zakładu Fizyki Doświadczalnej Instytutu Fizyki rzeszowskiej WSP wieczorze udział wzięli pracownicy Instytutu Fizyki oraz nauczyciele – byli studenci, którzy w przeszłości brali udział w spotkaniach z prof. Białkowskim jako wykładowcą.

Po powitaniu i słowie wstępnym wygłoszonym przez C. Sołtysa, sylwetkę prof. Białkowskiego – naukowca, nauczyciela i przyjaciela w sprawach zarówno naukowych jak i pozanaukowych – przedstawił J.K. Snakowski. Uczestnikom wieczoru udostępniono kopie wystąpień Białkowskiego traktujące o problemach organizacji nauki, twórczym kształceniu młodzieży i znaczeniu regionalnych ośrodków akademickich. Obrazowały one, jak wielką rolę przywiązywał Białkowski do kształcenia nauczycieli w uczelniach pedagogicznych oraz idei nauczania fizyki w szkołach średnich. Wyrażał to nie tylko słowem ale i pracą, prowadząc przez wiele lat kursowe wykłady z mechaniki kwantowej, z historii fizyki oraz wykłady specjalistyczne dla studentów Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Rzeszowie.

Wspomnieniami o prof. Białkowskim

jako świetnym dydaktyku i popularyzatorze fizyki, o swoich z nim spotkaniach i związanych z nimi przeżyciach, podzielili się byli studenci Profesora (A. Snakowska, M. Wiśniewska, P. Witkowski, M. Klisowska). Podkreślano wpływ osobowości Białkowskiego – tak silnej, że wyczuwalnej już w pierwszych słowach rozmowy. Obdarowując innych szczerze swoim czasem przyciągał do siebie ludzi, dla których kontakt z nim, ze względu na jego rozległą erudycję, stawał się z czasem znaczącym przeżyciem.

O swoich kontaktach z Białkowskim jako poetą i odbiorze jego twórczości poetyckiej opowiedziała M. Klisowska z Zakładu Dydaktyki Fizyki WSP. Odczytano utwory z tomików *Mgła*, *Przemienienie*, *Całopalenie*.

W ramach wieczoru przedstawiono zdjęcia i przeźrocza z prywatnych zbiorów C. Sołtysa oraz nagrania archiwalne wykładów z historii fizyki, wygłoszonych przez prof. Białkowskiego dla studentów III roku fizyki WSP w Rzeszowie.

Na zakończenie przyjęto formułę kolejnych spotkań, jako wieczorów naukowych im. prof. Grzegorza Białkowskiego. Kolejne odbędzie się w czwartą rocznicę śmierci Profesora.

*Małgorzata Klisowska*

## E P S

**Komitet Wykonawczy**

W marcu 1993 r. na zebraniu w Nicei Rada Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (EPS) wybrała Komitet Wykonawczy

na kadencję 1993/4 w następującym składzie: prezes – N. Kroo (Budapeszt), wiceprezes – C. van der Leun (Utrecht), sekretarz – A. Taroni (Brescia), wicesekretarz – C.A. Sébenne (Paryż), skarbnik – H. Beck (Neuchâtel), wiceskarbnik – E. Jakeman (Malvern), członkowie – A.F. Andrejew (Moskwa), C.M. Ferreira (Lizbona), E. Osnes (Oslo), G.C. Morrison (Birmingham), H. Schopper (Genewa).

### Grupa ds. Nauczania

Rada EPS zatwierdziła utworzenie międzyoddziałowej Grupy ds. Nauczania Fizyki. Sekretarz generalny Portugalskiego Towarzystwa Fizycznego, C.M. Ferreira, wyraził opinię, że nowo utworzona Grupa powinna być bardzo pomocna dla wielu nauczycieli fizyki, członków towarzystw narodowych należących do EPS. Także inni członkowie zebrania byli zdania, że Grupa może podnieść status nauczycieli przez propozycje ulepszeń w systemie ich oceny i procedury zatrudniania i ustalenie kryteriów kwalifikacji zawodowej, a także przez współpracę z sekcjami dydaktycznymi towarzystw członkowskich EPS. Podnoszono również niepokojącą sprawę coraz częstszego nauczania fizyki w szkołach średnich przez osoby nie mające formalnego wykształcenia fizyka. Proponowano też inne formy działalności, jak np. organizowanie wycieczek nauczycieli do wielkich ośrodków badawczych, przypominając, że CERN z dużym sukcesem urządził już takie zwiedzania dla grup nauczycieli z Włoch i z Portugalii.

W ramach Grupy ds. Nauczania działać będą: Forum Nauczania, Sekcja Kształcenia Uniwersyteckiego i Komisja Ruchliwości Studentów Fizyki.

Forum Nauczania, kierowane przez G. Tibella (Uppsala) i G. Marxa (Budapeszt) zajmie się nauczaniem przeduniwersyteckim, m.in. przez organizowanie specjal-

nych spotkań i koordynowanie ich z innymi głównymi konferencjami międzynarodowymi nt. nauczania.

Sekcja Kształcenia Uniwersyteckiego przejmie działalność dotychczasowej Komisji Edukacji, w szczególności ma dokonać przeglądu i oceny programów studiów w różnych krajach europejskich, urządzić spotkanie koordynatorów sieci fizycznej programu ERASMUS, a także zaopiekować się czasopismem *European Journal of Physics*.

W Europejskim Systemie Ruchliwości bierze udział ponad 120 instytucji. E. Heer (Genewa) stwierdził, że System jest już przygotowany do pierwszej wymiany studentów na jesieni 1993 r. Szwecja ustanowiła specjalne stypendia dla studentów ze środkowej i wschodniej Europy.

Bardziej szczegółowych informacji mogą udzielić:

- Interdivisional Group on Physics Education: C.M. Ferreira, Centro de Electrodinamica, Univ. Técnica de Lisboa, P-1096 Lisboa, adr.el.: d845@alfa.ist.utl.pt,
- Forum on Education: G. Marx, Inst. of Atomic Physics, Eötvös Univ., Puskin ut 5-7, H-1088 Budapest; G. Tibell, Dep. of Radiation Sciences, Uppsala Univ., POB 535, S-75121 Uppsala, adr.el.: gtibell@tsl.uu.se,
- European Mobility Scheme for Physics Students: E. Heer, Dép. de physique nucléaire et corpusculaire, Univ. de Genève, 24 quai Ernest-Ansermet, CH-1211 Genève 4, adr.el.: heer@sc2a.unige.ch.

### *Europhysics Letters*

Redaktor naczelny tego czasopisma, R. Balian, stwierdził, że liczba prac nadsyłanych do redakcji stale wzrasta, przy czym do publikacji przyjmuje się ok. 60%. Wyraził wdzięczność recenzentom i redaktorom

(75% manuskryptów wymaga wprowadzenia poprawek). Wystąpił z apelem do Oddziałów EPS o pomoc aby zapewnić lepszy rozkład geograficzny autorów i rozkład tematyczny prac (*Europhys. Lett.* nie chciałyby stać się pismem publikującym komunikaty tylko z jednej lub paru dziedzin). Spada natomiast liczba prenumeratorów. Ciosem była decyzja Fundacji im. W.-E. Heraeusa zaprzestania z końcem 1993 r. opłacania prenumeraty dla 60 instytucji we wschodniej i środkowej Europie.

*Europhys. News* 24, nr 3 (1993)

B. W.

### Nominacje profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta RP, otrzymali w dniach 20 stycznia, 31 marca i 21 kwietnia 1993 r.: Michał Baj (UW, Warszawa), Mieczysław Chybicki (PG, Gdańsk), Michał Kurzyński (UAM, Poznań), Jan Lasa (IFJ, Kraków), Krzysztof Ruebenbauer (WSP, Kraków), Jan Smoliński (Centrum Astronomiczne PAN, Toruń), Józef Spałek (UW, Warszawa), Eugeniusz Trojnar (INTiBS PAN, Wrocław), Elżbieta Zipper (UŚI, Katowice).

*Sprawy Nauki*, nr 1 i 2 (1993)

### Zmiany w Zarządzie FNP

Rada Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP) powołała w październiku 1992 r. nowego prezesa w osobie prof. Macieja Władysława Grabskiego oraz dwóch nowych członków Zarządu: prof. Mariana Grynberga i mgra Grzegorza Krawczyka.

Maciej Władysław Grabski (ur. 1934) studiował na Wydziale Mechaniczno-Technologicznym Politechniki Warszawskiej, zajmuje się inżynierią materiałową, a w szczególności strukturą granic ziaren w metalach i związkiem między budową i własnościami polikryształów. Jest profesorem (od 1979) Politechniki Warszawskiej, członkiem (od 1985) Towarzystwa Naukowego Warszawskiego i (od 1989) Polskiej Akademii Nauk.

Marian Grynberg (ur. 1940) studiował fizykę na Uniwersytecie Warszawskim, zajmuje się fizyką półprzewodników, w szczególności badaniami w dalekiej podczerwieni wzbudzeń elementarnych w silnych polach magnetycznych. Jest profesorem (od 1980) Uniwersytetu Warszawskiego, członkiem (od 1982) TNW i sekretarzem Komisji Fizyki Półprzewodników IUPAP.

Grzegorz Krawczyk (ur. 1962) jest absolwentem Wydziału Ekonomii Produkcji SGPiS (obecnie SGH), od 1991 pracuje w FNP jako specjalista ds. ekonomii i marketingu.

*Sprawy Nauki*, nr 1 (1993)

B. W.

### FNP w 1992 r.

Fundacja na rzecz Nauki Polskiej, której fundusz założycielski pochodzi z części niezagospodarowanych na dzień 31.12.1990 środków zniesionego Centralnego Funduszu Rozwoju Nauki i Techniki, realizuje swoje cele statutowe przez udzielanie subwencji, pożyczek niskoprocentowych, stypendiów dla młodych pracowników naukowych, przyznawanie nagród oraz prowadzenie przedsięwzięć dla zwiększenia środków finansowych na swoją działalność statutową. W 1992 r. w dziale „subwencje” Fundacja przyznawała wsparcia badaniom naukowym związanym z ochroną zdrowia dziecka, bezpieczeństwem i higieną pracy, rozwojem samorządności i przedsiębiorczości lokalnej oraz ratowaniem dóbr archiwalnych. W 1993 r. kierunkiem priorytetowym wspieranym przez FNP jest biologia molekularna. Inną formą działania w 1992 r. był program PONT (Pomóż Nauce Teraz). Ponieważ środki z budżetu państwa na finan-

sowanie badań naukowych były znacznie mniejsze niż wnioskowane przez Komitet Badań Naukowych, Fundacja przeznaczyła 200 mld zł ze swoich dochodów na sfinansowanie wybranych drogą konkursu przedsięwzięć naukowych zaopiniowanych przez KBN pozytywnie lecz nie sfinansowanych z braku środków. Wśród finansowanych przez PONT przedsięwzięć znalazły się m.in.: „Analiza i interpretacja nieregularnej zmienności wybranych obiektów astronomicznych” (CAMK PAN, Warszawa) – 5000 mln zł, „Spektroskopia fourierowska FT NOR w ekstremalnych warunkach termodynamicznych i symulacje komputerowe układów molekularnych” (IFM PAN, Poznań) – 2046 mln zł, „Uruchomienie technologii metodą epitaksji z wiązek molekularnych kryształów o obniżonej wymiarowości” (IF PAN i ITE, Warszawa) – 7500 mln zł, „Studia nad dynamiką par elektronowych w silnych polach koherentnych i stochastycznych” (CFT PAN, Warszawa) – 500 mln zł, „Wpływ struktury elektronowej i krystalicznej na właściwości nowych materiałów nadprzewodzących i magnetycznych” (INTiBS PAN, Wrocław) – 2800 mln zł, „Badania warstwowych struktur półprzewodnikowych pod działaniem wysokich i ultrawysokich ciśnień” (ZWC PAN, Warszawa) – 1500 mln zł, „Zasady maksimum entropii i stochastyczne układy drgające” (IPPT PAN, Warszawa) – 55 mln zł, „Wieloskładnikowe materiały monokrystaliczne dla zastosowań w technice mikrofalowej, optoelektronice, technice laserowej i nadprzewodnictwie” (ITME, Warszawa) – 2700 mln zł, „Trakt pomiarowy dla akceleratora liniowego typu Van de Graaffa” (IFJ, Kraków) – 645 mln zł, „Rozbudowa Trójmiejskiej sieci komputerowej TASK” (Uniw. Gdański) – 3248 mln zł, „Dyfraktometr rentgenowski firmy Siemens” (IF UŚI, Katowice) – 1840 mln zł.

W 1992 r. zostały przyznane nagrody

FNP. W dziedzinie nauk ścisłych nagrodę otrzymał dr Aleksander Wolszczan za odkrycie pierwszego pozasłonecznego układu planetarnego. Wysokość nagrody – 125 mln zł.

*Sprawy Nauki*, Suplement 1 (1993)

B. W.

### Nagroda Hewletta-Packarda

W 1993 r. Nagrodę Hewletta-Packarda, którą przyznaje Europejskie Towarzystwo Fizyczne za wybitne osiągnięcia w fizyce ciała stałego, otrzymała grupa fizyków rosyjskich. Laureatami są: Boris L. Altshuler (obecnie w MIT), Arkadij G. Aronow, Dawid E. Chmielnicki (Khmelnitski) i Anatolij L. Larkin z Instytutu Fizyko-technicznego im. Joffego w Petersburgu oraz Boris Z. Spivak (obecnie Univ. of Washington, Seattle).

Prace nagrodzonych doprowadziły do głębszego zrozumienia zjawisk przenoszenia ładunku w nieuporządkowanych metalach. Wykazali oni, że w pewnych przypadkach trzeba do elektronów przewodnictwa stosować pełny aparat mechaniki kwantowej i że może to prowadzić do istotnych poprawek kwantowych do klasycznego opisu przewodnictwa elektronowego. Ich podejście opiera się na pojęciu trajektorii kwantowych, gdzie po wielokrotnych zderzeniach sprężystych elektronów z defektami faza amplitudy jest zachowana. Zachowanie fazy prowadzi do efektów interferencyjnych między amplitudami dla różnych dróg elektronów. Efekt jest szczególnie silny gdy elektrony wracają do punktu wyjścia (np. pętla zamknięta).

Uwzględnienie odpychania kulombowskiego między elektronami, efektów interferencyjnych i nieporządku doprowadziło do stworzenia teorii ujemnej wartości współczynnika magnetooporu w nieuporządkowanych metalach. Zjawisko to było od kilkadziesiąt lat znane, ale brakowało wła-

ściwego wyjaśnienia.

Efekty interferencyjne są szczególnie interesujące w obecności pola magnetycznego. Ze względu na efekt Bohma-Aharonowa strumień magnetyczny przez zamkniętą pętlę wprowadza periodyczne zmiany w widmie interferencyjnym. Prowadzi to do oscylacji oporu cienkich, pustych w środku walców metalicznych w polu magnetycznym równoległym do osi walca. Te efekty dały podstawę do powstania nowego działu – fizyki układów mezoskopowych (patrz np. artykuł Altshulera i Lee'ego, *Postępy Fizyki* 41, 139 (1990)).

*Europhys. News* 24, nr 1 (1993)

B. W.

### Nagroda Einsteina dla Bethego i Rotblata

Pokojową Nagrodę Einsteina otrzymali ostatnio Hans Bethe i Józef Rotblat. Nagroda ta, finansowana przez Fundację Alberta Einsteina, ma na celu zwrócenie uwagi społeczeństwa na ludzi, którzy w ważnym stopniu przyczynili się do rozbrojenia jądrowego.

Bethe, który kierował Działem Teorii w Manhattan Project, został nagrodzony za publikowanie po II wojnie światowej wypowiedzi o niebezpieczeństwach związanych z bronią jądrową i za rolę, jaką odegrał w utworzeniu Związku Naukowców Zainteresowanych (Union of Concerned Scientists).

Rotblat, który w czasie wojny brał początkowo udział w pracach nad bronią jądrową, odsunął się od tego gdy stało się jasne, że Niemcy przegrają wojnę. Został nagrodzony w szczególności za rolę, jaką odegrał w założeniu i działaniu organizacji Pugwash, stworzonej w 1955 r. przez elitę naukowców i dążącej do wprowadzenia kontroli broni jądrowej i rozbrojenia.

*Phys. Today* 46, nr 3 (1993)

B. W.

### Europejskie źródło neutronów

Rozpoczęły się prace nad projektem studyjnym przyszłego europejskiego źródła neutronów (European Spallation Source). Chodzi tu o zbudowanie silnego źródła powolnych neutronów z wykorzystaniem zjawiska kruszenia jąder (spalacji). Prace zaplanowane są na 2 lata i będą prowadzone niezależnie w dwóch ośrodkach: w KFA (Jülich, RFN) pod kierunkiem T. Springera i w Rutherford Appleton Laboratory (Wielka Brytania) pod kierunkiem P. Williamsa. Koordynator naukowy projektu, J.L. Finney (RAL) będzie kierował studiami nad potrzebami przyszłych użytkowników, natomiast kierownik projektu H. Lengler (CERN) będzie prowadził badania techniczne mające na celu osiągnięcie impulsów 10-50 Hz o mocy 5 MW i czasie trwania 3  $\mu$ s, co mniej więcej odpowiadałoby średniemu strumieniowi stermalizowanych neutronów uzyskiwanych w reaktorze w Instytucie Lauego-Langevina w Grenoble.

*Europhys. News* 24, nr 3 (1993)

B. W.

### Fizyka ciała stałego w CERN-ie

CERN-owski separator izotopów na wiązce ISOLDE po przyłączeniu go do synchrotronu dającego energie 1 GeV staje się w coraz większym stopniu narzędziem fizyki ciała stałego. Obecnie ok. 30% czasu pracy jest wykorzystywane do badań z tej dziedziny, resztę zajmują: fizyka jądrowa, fizyka atomowa, astrofizyka jądrowa i biofizyka. Na początku kwietnia odbyło się w CERN-ie zebranie robocze „Materiałoznawstwo za pomocą izotopów promieniotwórczych”. Głównymi celami zebrania było:

- pokazanie wyjątkowych możliwości jakie stwarza ISOLDE w stosowaniu krótkożyłowych izotopów w doświad-

czalnych badaniach ciała stałego,

- wzmożenie dyskusji między fizykami stosującymi metody jądrowe i stosującymi inne metody,
- wyszukanie możliwości współpracy między obecnymi użytkownikami ISOLDE a innymi badaczami.

Dotychczas prace z fizyki ciała stałego wykonywane z użyciem tego separatora koncentrują się na badaniu defektów i zanieczyszczeń półprzewodników. Przewiduje się też badania metali, powierzchni i międzypowierzchni z zastosowaniem metod jądrowych, takich jak dyfuzja wskaźników promieniotwórczych, kanałowanie emitowanych cząstek, spektroskopia mössbauerowska i spektroskopia stosująca metodę zaburzonych korelacji kątowych (Perturbed Angular Correlation Spectroscopy – PACS). Stało się możliwe uzyskiwanie informacji o wygrzewaniu defektów radiacyjnych po implantacji ciężkich jonów i o zobojętnianiu wodorem domieszek akceptorowych. Pomiar kanałowania emitowanych cząstek stosowano do wyznaczenia położenia w sieci zaimplantowanego  $^8\text{Li}$ .

Izotopy promieniotwórcze umożliwiają również stosowanie nowych metod, np. spektroskopii elektronów konwersji dla konfiguracji elektronów walencyjnych (Conversion Electron Spectroscopy of Valence Electron Configurations – CESVEC), metody, która dzięki detekcji elektronów konwersji przy zastosowaniu spektrometru beta o wysokiej zdolności rozdzielczej, daje gęstość stanów elektronów walencyjnych atomów próbki. Również zastosowanie izotopów promieniotwórczych w innych metodach, optycznych czy elektrycznych, daje nowe możliwości.

## Na rzecz fizyki w Irlandii

W Irlandii podjęta została „kampania na rzecz fizyki”, której patronuje minister zatrudnienia pani Mary O'Rourke. Kampania rozpoczęła się spotkaniem przedstawicieli prasy, radia i telewizji z pięcioma fizykami zajmującymi ważne stanowiska „niefizyczne” (wiceprezes Banku Irlandii, jeden z dyrektorów tegoż Banku, dwóch dyrektorów wielkich przedsiębiorstw i telewizyjny prezydent meteorologiczny). Fizycy ci wyjaśniali w jaki sposób ich wykształcenie fizyczne wpłynęło na kształtowanie się ich karier.

Kampania ma na celu uświadomić społeczeństwu wagę i możliwości fizyki oraz jej rolę w tworzeniu dobrobytu.

W Irlandii rośnie liczba miejsc pracy w przemyśle silnie wykorzystującym fizykę, podczas gdy w innych gałęziach przemysłu spada. Obniża się natomiast liczba studentów fizyki w stosunku do globalnej liczby studiujących. Również niewielu fizyków podejmuje pracę w szkołach.

Fizycy irlandzcy biorą udział w programach badawczych Wspólnoty Europejskiej, brak im jednak właściwej strategii długoterminowych planów badań.

Kampania na rzecz fizyki zaplanowana jest na wiele lat. Przewiduje się m.in. wyprodukowanie kaset video i broszur nt. kariery fizyka, skierowanych do uczniów, oddziaływanie w środkach masowego przekazu i dialog z rządem.

## Pożegnanie z Bevatronem

W końcu lutego 1993 r. spotkało się prawie stu obecnych i dawnych pracowników Lawrence Berkeley Laboratory aby być świadkami wyłączenia po raz ostatni

Bevatronu, który był użytkowany od prawie czterdziestu lat. Obecny był nawet Owen Chamberlain, który wspólnie z Emiliem Segré otrzymał w 1959 r. Nagrodę Nobla za doświadczalne stwierdzenie istnienia antyprotonu, dokonane dzięki właśnie temu akceleratorowi.

We wczesnych latach Bevatronu prowadzono badania kaonów, które doprowadziły do głębszego zrozumienia oddziaływań słabych i silnych. Na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych, gdy Luis Alvarez ulepszył komorę pęcherzykową Glasera, poszukiwano przede wszystkim rezonansów.

Bevatron (lub Bevalac, jak był nazywany od czasu połączenia go w latach siedemdziesiątych z akceleratorem liniowym SuperHILAC) umożliwił zasadnicze postępy w czterech różnych dziedzinach: fizyce wysokich energii, fizyce ciężkich jonów, badaniach medycznych i terapii oraz badaniach uszkodzeń radiacyjnych związanych z lotami kosmicznymi.

Ostatnio Bevalac był używany do pionierskich prac w dziedzinie fizyki relatywistycznych ciężkich jonów. Uwagę skoncentrowano na materii jądrowej w ekstremalnych warunkach. Definitywnie stwierdzono kolektywny przepływ materii jądrowej w warunkach wysokiej temperatury i gęstości. Prowadzono systematyczne badania produkcji par leptonowych. Dzięki użyciu wtórnych wiązek lekkich jąder promieniotwórczych zaobserwowano „halo neutronowe” w jądrze  $^{11}\text{Li}$ . Jądro to składa się z 9 nukleonów „rdzenia” otoczonego stosunkowo odległymi i słabo związanymi dwoma neutronami. Dalsze badania relatywistycznych ciężkich jonów są prowadzone za pomocą akceleratorów pozwalających uzyskać jeszcze wyższe energie – w Brookhaven National Laboratory i w CERN-ie.

## N.N. Bogolubow (1909 – 1992)

Dnia 13 lutego 1992 r. zmarł Nikołaj Nikołajewicz Bogolubow, wybitny matematyk i fizyk rosyjski.

Bogolubow urodził się 21 sierpnia 1909 r. w Niżnym Nowgorodzie. Już mając 13 lat zaczął brać udział w seminariach N.N. Kryłowa, a mając lat 15 napisał swoją pierwszą pracę naukową. Był profesorem Uniwersytetu Kijowskiego, potem Moskiewskiego. Od 1956 r. kierował Laboratorium Fizyki Teoretycznej w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej, a w latach 1965-89 był dyrektorem tego Instytutu.

W 1932 r. Bogolubow wspólnie z Kryłowem zaczęli rozwijać zupełnie wówczas nowy dział fizyki matematycznej: mechanikę nieliniową. Podstawowe idee Bogolubowa w tej dziedzinie dały początek rozwojowi badań w wielu innych gałęziach fizyki.

Jego rozważania nad kondensacją Bosego-Einsteina w gazie nieidealnym doprowadziły do stworzenia mikroskopowej teorii nadciekłości helu II. Uogólnił potem tę metodę na fermiony i zastosował ją do wyjaśnienia nadprzewodnictwa ciekłego helu. Sformułował teorię, w której nadprzewodnictwo jest traktowane jako nadciekłość gazu elektronowego w metalu. Miał duży wkład do rozwoju statystycznej teorii procesów nieodwracalnych wprowadzając pojęcie *hierarchii czasów*, w których zachodzą charakterystyczne zmiany w układach podobnych. Szczególnie wyróżniającym się osiągnięciem Bogolubowa było stworzenie aksjomatycznej kwantowej teorii pól i zastosowanie jej do różnych oddziaływań cząstek elementarnych. Wprowadził nową liczbę kwantową dla kwarków, która potem otrzymała nazwę „kolor”. Pojęcie koloru jest teraz jednym z najważniejszych w teorii oddziaływań silnych.

Charakterystyczne dla umysłowości Bogolubowa było to, że bardzo szybko

orientował się w istocie nowego problemu, a potem nie przerażając się trudnościami opracowywał ogólną i skuteczną metodę rozwiązania.

N.N. Bogolubow był doktorem *honoris causa* Uniwersytetu Warszawskiego.

*Phys. Today* 46, nr 3 (1993)

B. W.

### J.A. Smorodinski (1917 – 1992)

Dnia 16 października 1992 r. zmarł w Moskwie Jakow Abramowicz Smorodinski, znany fizyk rosyjski.

Smorodinski, urodzony 30 grudnia 1917 r. w Małej Wiszerii, studiował na Uniwersytecie Leningradzkim. Od 1939 r. pracował u Landaua w Instytucie Problemów Fizycznych w Moskwie, gdzie uzyskał stopień doktora w 1941 r. W okresie wojny był zatrudniony przy pracach związanych z energią jądrową. Od 1956 r. kierował jedną z grup teoretyków w ZIBJ w Dubnej.

Jego wczesne prace, wspólne z Landauem, dotyczyły teorii mezonów (rozpro-

szczenie komptonowskie i kulombowskie, produkcja par) i rozpraszania proton-proton. Prace wojenne były związane z teorią kaskadowego rozdzielania izotopów. W Dubnej zajmował się zastosowaniami teorii grup, topologii i geometrii algebraicznej do problemów fizyki jądrowej i fizyki cząstek elementarnych.

Był, wspólnie z Landauem, autorem podręcznika *Wykłady z teorii jądra atomowego* (polskie tłumaczenie 1956), a także, wspólnie z W.N. Dubrowskim i E.L. Surkowem, wydał w bibliotece *Kwantu* popularną książkę *Relatywistyczny świat* (1984).

W ostatnich latach zajmował się głównie działalnością wydawniczą, był m.in. redaktorem (i częściowo tłumaczem) rosyjskiego przekładu dzieł Einsteina i Pauliego, przygotował także rosyjskie wydanie pism Heisenberga. Miał szerokie zainteresowania. W swojej prywatnej, bardzo bogatej bibliotece gromadził dzieła wychodzące daleko poza zakres fizyki.

*Phys. Bl.* 49, nr 5 (1993)

B. W.



## KALENDARZ IMPREZ

Informacje podajemy w następującej kolejności: data i miejsce imprezy, nazwa, instytucje organizujące, nazwisko osoby, która może udzielić bliższych informacji, Z – termin nadsyłania zgłoszeń, A – termin nadsyłania streszczeń, P – przewidziane wydanie materiałów, U – liczba uczestników, język (jeśli inny niż polski).

### 1994

1994, Wrocław

#### **11th Int. Conf. Solid Compounds of Transition Elements**

Inst. Niskich Temp. i Badań Strukturalnych PAN, prof. W. Suski, INTiBS PAN, pl. Katedralny 1, 50-950 Wrocław.

maj 1994, Warszawa

#### **4th Int. Symposium on Systems with Fast Ionic Transport**

Inst. Fizyki Politechniki Warszawskiej, prof. W. Jakubowski, IF PW, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel: 499831, tlx: 813307 pw.

16 – 20 maja 1994, Warszawa

#### **Interferometry '94**

SPIE – Polish Chapter i Politechnika Warszawska, dr hab. Małgorzata Kujawińska, Inst. Konstrukcji Przyrządów Precyzyjnych i Optycznych PW, Chodkiewicza 8, 02-525 Warszawa, fax 292962 lub 490392

A: 15.11.93, ang.

18 – 26 maja 1994, Ustroń-Jaszowiec

#### **Int. School and Symposium on Synchrotron Radiation in Natural Science – ISSRNS '94**

Polskie Towarzystwo Promieniowania Synchrotronowego, dr K. Ławniczak-Jabłońska, Inst. Fizyki PAN, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, tel: 437001, fax: 430926, adr.el.: jablo@ifpan.edu.pl

P, U: 120, ang.

22 - 26 sierpnia 1994, Poznań

#### **Int. Conf. on Magnetism, ICM '94**

Inst. Fizyki Molekularnej PAN, prof. J. Morkowski, IFM PAN, Smoluchowskiego 17/19, 60-179 Poznań.

24 – 31 sierpnia 1994, Poznań

#### **Symmetry and Structural Props. of Condensed Matter, Int. Summer School on Theor. Phys. (SSPCM '94)**

W. Florek, Matejki 48/49, 60-769 Poznań, adr.el.: sspcm@plpuam11.bitnet

Z:1.6.94, A:15.4.94, P, ang.

19 – 23 września 1994, Kraków

**2nd European Fluid Mechanics Conf.**

IPPT PAN, prof. H. Zorski, Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa.

## NOWE KSIĄŻKI

- A. Hennel, W. Krzyżanowski, W. Szuszkiewicz, K. Wódkiewicz, *Zadania i problemy z fizyki. Mechanika klasyczna i relatywistyczna*, wyd. 3, PWN, Warszawa 1993, s. 256.
- A. Hennel, W. Szuszkiewicz, *Zadania i problemy z fizyki. Pola, obwody, termodynamika*, wyd. 3, PWN, Warszawa 1993, s. 246.
- Michel Westphal, przy współpracy Helgi Pfaff, *Paleomagnetyzm i własności magnetyczne skał*, z jęz. francuskiego tłum. Magdalena Kądziałko-Hofmokl, PWN, Warszawa 1993, s. 176.
- Wolfgang Demtröder, *Spektroskopia laserowa*, z jęz. ang. tłumaczyli: Bogusław Bierniak, Małgorzata Głódź, Włodzimierz Komar, Mirosław Łukaszewski, PWN, Warszawa 1993, s. 667.
- Michał Heller, *Fizyka ruchu i czasoprzestrzeni*, PWN, Warszawa 1993, s. 185.
- Andrzej Oleś, *Metody eksperymentalne fizyki ciała stałego. Leptony i fotony*, WNT, Warszawa 1993, s. 313.
- Robert Resnick, David Halliday, *Fizyka tom 1*, z jęz. ang. tłumaczyli: Wojciech Ratyński i Teresa Kaniowska, wyd. IX, PWN, Warszawa 1993, s. 701.
- David Halliday, Robert Resnick, *Fizyka tom 2*, z jęz. ang. tłumaczyli: Teresa Kaniowska i Wojciech Ratyński, wyd. VII, PWN, Warszawa 1993, s. 661.
- Jerzy Bronisław Brojan, *Fizyka, podręcznik dla klasy I liceum ogólnokształcącego*, PWN, Warszawa 1993, s. 219.
- L.D. Landau, E.M. Lifszyc, *Teoria sprężystości*, z jęz. ros. tłumaczył S. Kłosowicz, wyd. III zmienione, PWN, Warszawa 1993, s. 227.
- H.G. Schuster, *Chaos deterministyczny, wprowadzenie*, z jęz. ang. tłumaczyli: P. Peplowski i K. Stefański, PWN, Warszawa 1993, s. 274 + XVII tabl.
- Stephen W. Hawking, *Krótką historia czasu*, z jęz. ang. tłumaczył P. Amsterdamski, Wydawnictwo „Alfa”, Warszawa 1993, s. 182.

---

Wychodząc naprzeciw zainteresowaniom części młodzieży lubiącej fizykę i traktującej ten przedmiot jako swoje *hobby* Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk organizuje

### III OGÓLNOPOLSKI KONKURS UCZNIOWSKICH PRAC NAUKOWYCH Z FIZYKI

Konkurs ma charakter otwarty, co oznacza, że może w nim wziąć udział każdy uczeń szkoły średniej dowolnego typu. Dobór tematyki, jej poziomu trudności i metod badawczych pozostawia się wyłącznie inwencji uczestników. Prace mogą być zarówno teoretyczne jak i doświadczalne. Przy ocenie prac najważniejszymi czynnikami będą: własny wkład pracy Autora, jego sposób rozumowania i czytelność sposobu przedstawienia wyników.

Wszystkich zainteresowanych prosimy o przysłanie swych prac (w 2 egzemplarzach maszynopisu) do 31 marca 1994 r. na adres:

**Instytut Fizyki PAN  
(Konkurs Prac Naukowych)  
Al. Lotników 32/46  
02-668 Warszawa**

Prace zostaną ocenione najpóźniej w pierwszej połowie czerwca 1994 r. Autorzy najlepszych opracowań zostaną zaproszeni na koszt organizatorów Konkursu (w terminach ustalonych indywidualnie) do Instytutu Fizyki PAN na krótkoterminowy staż naukowy, podczas którego będą mogli zapoznać się z pracami prowadzonymi w Instytucie i włączyć się do nich (z możliwością kontynuowania rozpoczętych badań w przyszłości).

W razie potrzeby prosimy zwracać się o dodatkowe informacje do Sekretarza Naukowego Konkursu (dr Waldemar Gorzkowski, Instytut Fizyki PAN, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, tel. 437001 w. 373).

*Prof. dr hab. Jacek Kossut*

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego

---

## Informacje dla autorów

Komitet Redakcyjny prosi autorów o opracowywanie materiałów przeznaczonych do druku w *Postęпах Fizyki* zgodnie z podanymi niżej wytycznymi:

- 1) Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków. Bardziej szczegółowe wskazówki co do ich charakteru przedstawione są w *Postęпах Fizyki* **24**, 701 (1973); **33**, 299 (1982). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.
- 2) *Postępy Fizyki* są obecnie składane komputerowo. Aby skrócić cykl wydawniczy proponujemy Autorom przygotowującym swe artykuły na komputerach nadsyłać, **wraz z maszynopisami**, tekstów artykułów pocztą elektroniczną (nasz adres: [postepy@fuw.edu.pl](mailto:postepy@fuw.edu.pl)) lub na dyskietkach. Możemy przyjmować dyskietki 5.25" i 3.5", o dowolnej gęstości zapisu, w standardzie IBM lub Mac. Redakcja gwarantuje zwrot dyskietek natychmiast po skopiowaniu zapisów.
  - Osoby korzystające z  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ -a mogą nadsyłać gotowe składy (zapisane krojem podstawowym, bez wyróżnień strony tytułowej itp.), najlepiej w formacie Plain z polskimi literami kodowanymi zgodnie z systemem MeX.
  - Teksty z ChiWritera (z podaniem klucza stosowanego dla polskich liter) możemy przyjmować w wersji oryginalnej.
  - Przy innych edytorach prosimy o przygotowanie niesformatowanego pliku ASCII i listy kodów, pod którymi ukryte są znaki polskiego alfabetu.
- 3) Maszynopisy pracy (**oryginał i jedną pełną – z rysunkami, tablicami itd. – kopię**) należy nadsyłać pod adresem: Redakcja *Postępów Fizyki*, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres (również komputerowy) do dalszej korespondencji.
- 4) Maszynopis winien być napisany **na arkuszach formatu A4 jednostronnie, z podwójną interlinią** (nie więcej niż 30 wierszy na stronie) i marginesem 3.5 cm z lewej strony.
- 5) Rysunki należy wykonać starannie na oddzielnych arkuszach w rozmiarze 2 do 4 razy większym niż mają być w druku. Napisy, ograniczone do minimum, winny być czytelne i tylko w języku polskim. Na odwrocie rysunku należy podać jego numer, nazwisko autora i pierwsze wyrazy tytułu pracy. Podpisy do rysunków, tablice (z ich tytułami) i spis literatury winny być napisane na oddzielnych stronach.
- 6) Układ strony tytułowej, tekstu, odnośników literaturowych itd. powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły np. w tym numerze).
- 7) Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej, którą należy zwrócić w ciągu 3 dni pod adresem Redakcji. Przetrzymanie korekty może spowodować przesunięcie artykułu do następnego zeszytu.
- 8) Autor otrzymuje bezpłatnie 25 egz. odbitek pracy.
- 9) Maszynopisów prac nie zamówionych i nie zakwalifikowanych do druku Redakcja nie zwraca.

# POSTĘPY FIZYKI

(dwumiesięcznik)

## WARUNKI PRENUMERATY

1. Wpłaty na prenumeratę są przyjmowane na okresy półroczne.
2. Cena prenumeraty krajowej w 1993 r. wynosi 45 000 zł za pół roku. Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę jest o 100% wyższa od krajowej.
3. Wpłaty na prenumeratę przyjmują:
  - prenumerata krajowa – jednostki kolportażowe „Ruch” właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora,
  - prenumerata zagraniczna – Zakład Kolportażu Prasy i Wydawnictw, 00-958 Warszawa, konto: PBK, XIII Oddział Warszawa, nr 370044-1195-139-11.
4. Dostawa zamówionej prasy następuje:
  - prenumerata krajowa – przez jednostki kolportażowe „Ruch” w sposób uzgodniony z zamawiającym,
  - prenumerata zagraniczna – pocztą zwykłą na wskazany adres. W przypadku zlecenia dostawy za granicę pocztą lotniczą, koszt przesyłki lotniczej w pełni pokrywa prenumerator.
5. Terminy przyjmowania prenumeraty krajowej i zagranicznej: do 20 stycznia – na I półrocze, do 20 maja – na II półrocze.

## PRENUMERATA DLA CZŁONKÓW PTF

Członkowie PTF, którzy optacają prenumeratę w Oddziałach PTF na cały rok, otrzymują 20% zniżki.

## INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to the Zakład Kolportażu Prasy i Wydawnictw, 00-958 Warszawa, Poland. Our banker: Państwowy Bank Kredytowy, XIII Oddział Warszawa, Poland, account no. 370044-1195-139-11.

---

## U W A G A C Z Y T E L N I C Y !

Od drugiego półrocza br. „Ruch” nie przyjmuje już prenumeraty *Postępów Fizyki* za pośrednictwem urzędów pocztowych, a jedynie za pośrednictwem swoich jednostek kolportażowych. Wszystkich Czytelników zainteresowanych otrzymywaniem naszego pisma drogą pocztową prosimy o wpłacenie należności za prenumeratę (45 000 zł za II półrocze br.) na konto Zarządu Głównego PTF: 300009-6695-132, Bank Gdański IV O/W-wa. Po otrzymaniu tej wpłaty Redakcja będzie wysyłać kolejne numery *Postępów Fizyki*.

Warunki prenumeraty *Postępów Fizyki* w przyszłym roku podamy w następnym numerze.

*Redakcja*

---

## SPIS TREŚCI

A. Hrynkiewicz – Promieniotwórczość naturalna w środowisku .....	439
B.W. Petley – Podstawowe stałe fizyki i spektroskopii .....	463
RÓŻNE	
A. Krasieński – Sprawa Galileusza .....	487
M. Heller – W sprawie „sprawy Galileusza” .....	507
WSPOMNIENIA – ROCZNICE	
J. Bartke – Wspomnienie o Profesorze Marianie Mięgowiczu (1907–1992) ...	515
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI .....	523
RECENZJE .....	527
KRONIKA .....	529

## CONTENTS

A. Hrynkiewicz – Natural radioactivity in the environment .....	439
B.W. Petley – The fundamental constants of physics and spectroscopy .....	463
MISCELLANEA	
A. Krasieński – The Galileo affair .....	487
M. Heller – The case of the Galileo case .....	507
RECOLLECTIONS – ANNIVERSARIES	
J. Bartke – In memory of Professor Marian Mięgowicz (1907–1992) .....	515
MEETINGS AND CONFERENCES .....	523
REVIEWS .....	527
CHRONICLE .....	529