



Z przyjemnością informujemy, że od połowy 1995 roku *Delta* jest dostępna również jako kwartalnik w języku angielskim w sieci INTERNET pod adresem:  
<http://sunsite.icm.edu.pl/~delta/>

## SPIS TREŚCI NUMERU 6(265)

CERN

– Europejska Organizacja  
Badań Jądrowych  
*Maurice Jacob*

str. 1

CERN

– Pro Polonia  
– Pro publico bono  
– Pro technica  
– Pro medicina  
*Piotr Zalewski*

str. 4

Typowy detektor

str. 7

Pociąg do Paryża  
odjedzie z toru...

str.12

Zrobione w CERN-ie  
– antywodór

str.13

Zadania

str.13

Klub 44

str.14

Akceleratory CERN-u  
*Maciej Górski*

str.16

Epsilon

str.17

**W następnym numerze:**

Zrobione w CERN-ie  
– WWW

Okladka i ilustracje  
Photo CERN

Wydawca:  
Uniwersytet Warszawski

„Delta” – matematyczno-fizyczno-astronomiczny miesięcznik popularny Polskiego Towarzystwa Matematycznego, Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, wydawany przy poparciu Ministerstwa Edukacji Narodowej. Wydanie publikacji dofinansowane przez Komitet Badań Naukowych.

Komitet Redakcyjny:  
Andrzej Białynicki-Birula  
Bogdan Cichoński  
– wiceprzewodniczący

Jan A. Gaj  
Tomasz Hofmokl  
Marta Kicińska-Habior  
Krzysztof Maślanka  
Andrzej Mąkowski  
Andrzej Pelczar  
Zbigniew Plochowski  
Zdzisław Pogoda  
Michał Różycka  
Konrad Rudnicki  
Zbigniew Semadeni  
Grzegorz Sitarski  
Mieczysław Subotowicz  
Andrzej Szymacha  
Andrzej Woszczyk  
Wacław Zawadowski  
Wiesław Żelazko – przewodniczący

Redaguje kolegium w składzie:

Wiktor Bartol  
Krzysztof Biesaga  
Jan Kalinowski – z-ca red. naczk.  
Krystyna Kordos – sekr. red.  
Marek Kordos – red. naczk.  
Tomasz Kwast  
Anna Ludwicka  
Krzysztof Rejmer  
Anna Rudnik  
Paweł Strzelecki  
Joanna Udalska  
Adres Redakcji:  
ul. Smyczkowa 5/7, 02-678 Warszawa  
tel. 43-02-43 wewn. 21  
PAWELST@MIMUW.EDU.PL

Wydrukowano  
w Drukarni Naukowo-Technicznej  
w Warszawie, ul. Mińska 65  
Skład systemem TeX wykonała Redakcja

### WARUNKI PRENUMERATY W FIRMIE AMOS

01-806 Warszawa, ul. Zuga 12 (tel. 34-65-21)

Wpłaty przyjmowane są non-stop, do 10. dnia miesiąca poprzedzającego okres prenumeraty. **Okres prenumeraty wynosi co najmniej trzy (3) miesiące.** Cena jednego numeru w 1996 roku wynosi 2 zł. Przy wpłacie prosimy o zaznaczenie okresu prenumeraty.

W prenumeracie zagranicznej (też przez okres **co najmniej trzech miesięcy**) cena numeru w 1996 r. wynosi 4 zł. W przypadku życzenia dostawy drogą lotniczą odpowiednią dopłatę ponosi zamawiający.

**Uwaga!** Dla zamawiających minimum 10 egzemplarzy każdego numeru AMOS funduje dodatkowo jeden egzemplarz pisma.

Konto AMOS-u: PKO VIII O/W-wa, nr 1586-77578-136

### WARUNKI PRENUMERATY W RUCH-u

1. Wpłaty na prenumeratę przyjmowane są tylko na okresy kwartalne.

2. Cena prenumeraty na IV kwartał 1996 r. wynosi 6 zł.

3. Wpłaty na prenumeratę przyjmują na teren kraju:

- a) jednostki kolportażowe „Ruch” S.A. właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora; dostawa egzemplarzy następuje w uzgodniony sposób;
  - b) od osób zamieszkałych lub instytucji mających siedzibę w miejscowościach, w których nie ma jednostek kolportażowych RUCH, wpłaty należy wnieść na konto „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy w PBK S.A. XIII Oddział Warszawa 370044-16551 lub w kasach Oddziału Warszawa, ul. Towarowa 28, czynnych codziennie od poniedziałku do piątku w godz. 8<sup>00</sup> – 14<sup>00</sup>;
- dostawa w takim przypadku odbywa się pocztą zwykłą w ramach opłaconej prenumeraty, tzn. „pod opaką”.

4. Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę jest o 100% wyższa od krajowej. Wpłaty przyjmują „RUCH” S.A. na konto lub w kasach Oddziału. Dostawa odbywa się pocztą zwykłą w ramach opłaconej prenumeraty, z wyjątkiem zlecenia dostawy drogą lotniczą, której koszt w pełni pokrywa zamawiający.

5. Terminy przyjmowania wpłat na prenumeratę krajową i zagraniczną ze zleceniem dostawy za granicę od osób zamieszkałych w kraju:  
do 5 XII na I kwartał roku następnego,  
do 5 III na II kwartał,  
do 5 VI na III kwartał,  
do 5 IX na IV kwartał.

6. Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego numeru w danym roku kalendarzowym.

Informacji o warunkach prenumeraty i sposobie zamawiania udziela „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, 00-958 Warszawa, ul. Towarowa 28, tel. 620-10-39, 620-10-19, 620-12-71 w. 2442, 2366.

**Cena 1 egzemplarza 2 zł, 20 000 zł**



10 czerwca 1955 r. Felix Bloch, pierwszy dyrektor generalny CERN-u, w towarzystwie Maxa Petipierre'a, ówczesnego prezydenta Szwajcarii, położył kamień węgielny pod budowę laboratorium.

Edoardo Amaldi fizyk włoski, jeden z twórców fizyki jądrowej we Włoszech.

Pierre Victor Auger odkrył zjawisko nazwane zjawiskiem Augera. Pochłonięcie kwantu promieniowania rentgenowskiego przez atom powoduje wybite elektronu z powłoki K. Elektron przeskakujący z wyższej powłoki na wolne miejsce w powłoce K może spowodować emisję kwantu rentgenowskiego albo wyrzucenie elektronu, tzw. elektronu Augera, z jednej z powłok zewnętrznych.

Isidor Isaac Rabi urodził się w Rymanowie. Fizyk amerykański, rozwinął metodę jądrowego rezonansu magnetycznego do badania magnetycznych własności atomów, za co w 1944 r. otrzymał Nagrodę Nobla.



Ernest O. Lawrence trzymający w ręku skonstruowany przez siebie cyklotron o średnicy 13 cm.

# CERN – Europejska Organizacja Badań Jądrowych

*Maurice JACOB*

Skrót CERN pochodzi od nazwy „Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire”. Pod tą nazwą przez dwa lata działała Rada Europejska do spraw Badań Jądrowych, zanim powstała w 1954 r. Europejska Organizacja Badań Jądrowych. W 40 lat po jej powstaniu Organizacja grupuje 19 europejskich krajów członkowskich i zarządza kompleksem laboratoriów rozciągających się po obu stronach granicy francusko-szwajcarskiej w pobliżu Genewy (patrz str. 16). Prawie 6000 fizyków pracujących w CERN-ie ma do dyspozycji urządzenia unikalne nie tylko w Europie, ale i na świecie. W ciągu ostatnich 20 lat liczba naukowców korzystających z CERN-u wzrosła ponad 4-krotnie.

Autor jest fizykiem teoretykiem pracującym w CERN-ie. W latach 80. był dyrektorem grupy teoretycznej. Wcześniej był prezesem Francuskiego Towarzystwa Fizycznego, następnie prezesem Europejskiego Towarzystwa Fizycznego. Obecnie jest doradcą dyrektora generalnego CERN-u do spraw państw członkowskich. Pracował w wielu laboratoriach fizyki cząstek elementarnych, przez wiele lat był redaktorem *Physics Reports*. Kilkakrotnie odwiedzał Polskę w okresie od końca lat 60. do początku lat 90.

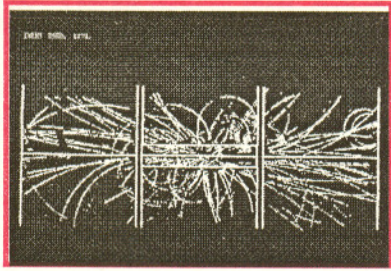
## Historia CERN-u

Od powstania Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych minęło już ponad 40 lat. CERN tworzyli ludzie z wizją. Na początku lat 50. Eduardo Amaldi i Pierre Auger, korzystając z poparcia Isidora Rabięgo, wystąpili z ideą utworzenia międzynarodowego laboratorium fizyki cząstek elementarnych. Nowatorskość tej idei polegała na zaangażowaniu rządów państw członkowskich, niedawnych śmiertelnych wrogów, w tworzenie ośrodka badań podstawowych w celu zniwelowania przepaści naukowo-technicznej między USA a zniszczonymi przez wojnę państwami Europy. Obecnie, po czterdziestu latach, więcej fizyków z USA pracuje w CERN-ie, niż Europejczyków korzysta z urządzeń w Stanach. Dzisiaj z CERN-u korzysta połowa fizyków cząstek elementarnych. Amaldi i Auger rozumieli, że w latach 50. szansę na sukces miał jedynie pomysł ograniczony do Europy Zachodniej. Nawet i to nie było proste, gdyż wielu ludzi nie było skłonnych do dzielenia się osiągnięciami naukowymi. Fizycy jednak szybko przekonali się, że pracując wspólnie można więcej osiągnąć i przykład CERN-u utorował drogę do międzynarodowej współpracy naukowej w innych dziedzinach, na przykład w astronomii (European Southern Observatory), czy w biologii molekularnej (European Molecular Biology Laboratory).

## Fizyka cząstek elementarnych w wielkim skrócie

Przymiotnik „jądrowy” w nazwie CERN-u jest mylący, tak jak przymiotnik „atomowy”, który jest często używany w odniesieniu do energii jądrowej. Celem CERN-u jest badanie struktury materii w skali ponad 10 000 razy mniejszej niż rozmiary jąder atomowych. W tych badaniach w pełni ujawnia się kwantowa i relatywistyczna natura fizyki. Zgodnie z obecnym stanem badań podstawowymi cegiełkami materii są kwarki (z których zbudowane są protony i neutrony) i leptony (na przykład elektron i neutrino). Na poziomie kwarków i leptonów natura odsłania swoją jedność i prostotę – cechy, które są dalekie od różnorodności i złożoności materii dostępnej bezpośrednio naszemu zmysłowi. Dzięki tym badaniom udało nam się zrozumieć naturę sił działających w przyrodzie i powiązać ich występowanie z własnościami symetrii materii. Rozumiemy teraz, jak obecność i natura podstawowych sił wynika z niezmienniczości praw fizyki względem transformacji modyfikujących własności kwarków i leptonów. Własności symetrii, mówiąc językiem fachowym – teorie z cechowaniem, są fundamentem naszego zrozumienia podstawowych praw natury. To podczas słynnej konferencji w 1938 r. w Warszawie Oscar Klein wprowadził je do języka fizyki. Chciał za ich pomocą w jednolity sposób opisać siły elektromagnetyczne i jądrowe i chociaż próba ta się nie udała, to prace Kleina można uznać za początek współczesnych teorii unifikujących oddziaływania fundamentalne. Na poziomie kwarków i leptonów siły elektromagnetyczne (przenoszone przez fotony) i siły słabe (przenoszone przez bozony  $W$  i  $Z$ ) są przejawem jednej i tej samej siły i opisywane są

przez jednolitą teorię oddziaływań elektroslabych. Odkrycie neutralnych oddziaływań słabych (przenoszonych przez bozony  $Z$ ) w 1973 r. oraz odkrycie bozonów  $W$  i  $Z$  w 1983 r. były wspaniałymi osiągnięciami w historii CERN-u. Siły oddziaływań jądrowych (przenoszone przez gluony) mają wiele cech wspólnych z oddziaływaniami elektroslabymi, co silnie sugeruje jeszcze większą unifikację oddziaływań fundamentalnych (tzw. wielką unifikację sił jądrowych i elektroslabych). Okazuje się jednak, że symetrie, na których opiera się konstrukcja teorii, nie są ściśle (w żargonie mówi się o symetriach złamanych), co powoduje, że foton ma masę zero, a bozony  $W$  i  $Z$  są bardzo ciężkie. Teorię z symetrią przybliżoną (złamaną) można rozpatrywać jako analogiczną do opisu ferromagnetyka, a złamanie symetrii – do pojawienia się spontanicznego namagnesowania (wskazującego pewien dowolny, ale konkretny kierunek) ferromagnetyka ochłodzonego poniżej temperatury Curie.



Rejestracja przypadku produkcji bozonu  $W$  w detektorze UA1.

Z praw fizyki kwantowej wynika, że aby poznać strukturę materii na bardzo małych odległościach, należy zderzać przy bardzo wysokich energiach cząstki, które chcemy zbadać. Zdolność rozdzielcza, jaką umiemy osiągnąć w takich badaniach, zależy liniowo od energii zderzanych cząstek. Około 40 lat temu, gdy powstawał CERN, osiągalne energie były rzędu 100 MeV ( $1 \text{ MeV} = 10^6$  elektronowoltów). Pozwalało to na badania w skali rzędu 10–15 fm ( $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ ), co odpowiada rozmiarowi protonu. Dzisiaj, dysponując energiami zderzeń rzędu 100 GeV ( $1 \text{ GeV} = 1000 \text{ MeV}$ ) możemy „widzieć” z dokładnością 1000 razy lepszą. Zderzenia przy bardzo wysokich energiach są bardzo skomplikowane, gdyż energia może się swobodnie zamienić w cząstki i antycząstki. W zderzeniach o energii 100 GeV często produkowanych jest ponad 40 cząstek rozbiegających się we wszystkie strony i dających spektakularne obrazy w urządzeniach je rejestrujących. Termin *badania struktury materii* na tak głębokim poziomie stał się prawie synonimem fizyki wysokich energii. Dzięki takim eksperymentom dobrze poznaliśmy fizykę zjawisk zachodzących przy osiągniętych energiach. To z kolei prowadzi nas do problemów dotyczących początków Wszechświata z nadzieją na znalezienie odpowiedzi na pytania rodzące się przy badaniach Kosmosu.

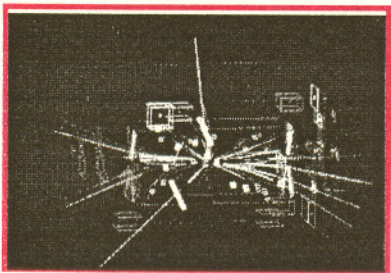
Nasz Wszechświat powstał w wyniku Wielkiego Wybuchu około 15 miliardów lat temu i im bardziej posuwamy się wstecz w czasie w badaniach jego historii, z tym większymi gęstościami materii i wyższymi energiami mamy do czynienia. Badania fizyki wysokich energii pozwalają więc poznać świat w jego wczesnym okresie. Przy skali 100 MeV badamy prawa fizyki rządzące światem w  $10^{-4}$  sekundy po wybuchu, a przy skali 100 GeV – w  $10^{-10}$  sekundy po wybuchu. To co się działo wtedy, ukształtowało świat, jaki dzisiaj obserwujemy.

### Rola CERN-u

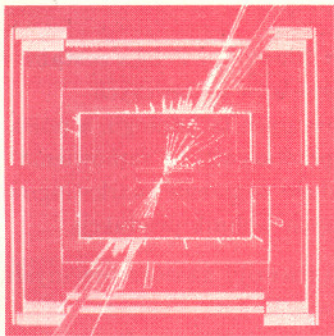
Pomimo ograniczenia w przeszłości swej działalności do Europy Zachodniej CERN odgrywał istotną rolę w promocji współpracy naukowej z laboratoriami na całym świecie, w tym i z laboratoriami w Dubnej i Sierpuchowie. Gościł u siebie wielu naukowców z krajów środkowej i wschodniej Europy. Po upadku „żelaznej kurtyny” CERN pozwala sprawdzić w praktyce ideę paneuropejskiej współpracy w fizyce. Na początku lat 90. CERN przyjął w poczet swoich członków Polskę, Węgry, Czechy i Słowację. Rozszerzenie listy państw członkowskich nastąpiło w interesującym dla CERN-u okresie. Z podjęciem realizacji nowego wielkiego projektu naukowego LHC (Large Hadron Collider) CERN przeistacza się z laboratorium europejskiego w laboratorium otwarte na przedsięwzięcia wymagające współpracy światowej. CERN ma szansę stać się modelem współpracy globalnej, tzw. megascience – tak gorąco dyskutowanej w ramach krajów OECD (Organization for Economical Cooperation and Development). Właśnie LHC, zatwierdzony projekt budowy kolajdera protonów o olbrzymiej energii zderzeń wynoszącej 14 TeV ( $1 \text{ TeV} = 10^{12}$  elektronowoltów), jest szczególnie dobrą okazją do tej transformacji.

### Przyszłość CERN-u – LHC, wielki kolajder hadronowy

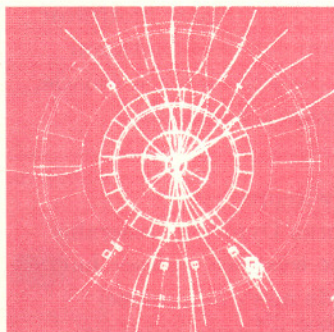
Obecnie „flagową” maszyną CERN-owską jest LEP – kolajder elektronów i pozytonów o energii zderzenia „jedynie” około 100 GeV.



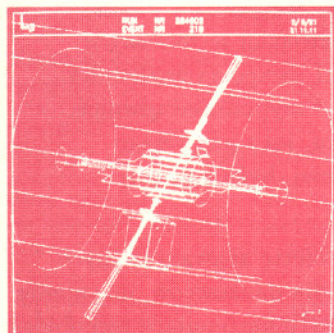
Pierwszy przypadek rozpadu bozonu  $Z$  na parę elektron-pozyton zarejestrowany 30 kwietnia 1983 r. przez detektor UA1.



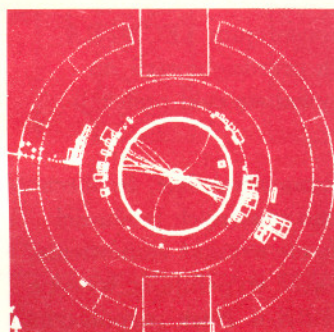
ALEPH



DELPHI



L3



OPAL

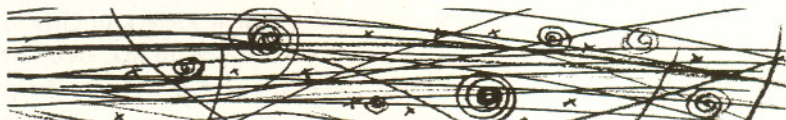
W tym roku (1996) energia zderzeń w LEP-ie ulegnie podwojeniu. LHC (Large Hadron Collider) będzie zainstalowany w tunelu LEP. Docelowa energia zderzeń protonów z protonami będzie wynosiła 14 TeV, co wymaga zainstalowania magnesów wytwarzających pole o natężeniu 8,5 tesli i chłodzonych nadciekłym helem o temperaturze 1,8 kelwina. Przy obecnym poziomie finansowania LHC ma być zbudowany etapami; w pierwszym – do roku 2004 – ma być osiągnięta energia 9 TeV, a docelowa energia do roku 2008. Wielu jednak ma nadzieję, że udział krajów nieczłonkowskich (USA i Japonia) w finansowaniu tego projektu pozwoli ukończyć budowę wcześniej.

Projekt LHC wykorzystuje w dużym stopniu całą infrastrukturę CERN-u. Synchrotron protonów (PS – „flagowa” maszyna w latach 60.) będzie działał jako źródło protonów dla super synchrotronu protonów (SPS – „flagowa” maszyna w latach 70.), który z kolei będzie zasiliał LHC. Dzięki temu oraz dzięki wykorzystaniu tunelu (o długości 27 km), w którym obecnie mieści się LEP, do zainstalowania LHC, koszt jego budowy będzie dwukrotnie mniejszy w porównaniu z kosztami, jakie należałoby ponieść przy jego budowie w innym miejscu. W przyszłości planuje się również zderzanie w LHC ciężkich jonów – np. jąder ołowiu o energii 6 TeV na nukleon. W późniejszym etapie rozpatrywana jest możliwość rekonstrukcji LEP-u w tym samym tunelu i badanie zderzeń elektronów z protonami. Planowane są dwa doświadczenia przy LHC – Atlas i CMS. Prace studyjne nad budową układów detektorów dla tych eksperymentów są prowadzone już od dawna przez grupy doświadczalne z Krakowa i z Warszawy. Pierwsza z nich jest kierowana przez Michała Turałę, a druga przez Jana Królikowskiego.

Urządzenie LEP było budowane z myślą o dokładnym zbadaniu modelu standardowego oddziaływań elektroslabych, dla których typową skalą energii jest masa bozonów pośredniczących  $W$  i  $Z$  wynosząca około 100 GeV. W LHC energia zderzenia składników protonu kwark–kwark będzie wynosić około 2 TeV (średnio kwark „niesie” 1/3 energii protonu), a więc znacznie więcej niż skala oddziaływań elektroslabych. Dlatego też wszyscy spodziewają się, że badania w LHC pozwolą zbadać obecne modele unifikujące oddziaływania elektroslabe z jądrowymi oraz rozwikłać zagadkę mas cząstek występujących w przyrodzie. To z kolei wiąże się z historią naszego Wszechświata w jego wczesnym etapie rozwoju. Tego typu modele przewidują istnienie nowych cząstek o masach rzędu 1 TeV, co pozwala oczekiwać bardzo interesujących wyników doświadczeń przy LHC, do przeprowadzenia których szykuje się już około 3000 fizyków z całego świata.

### Polska i CERN

Nawet w okresie zimnej wojny Polska utrzymywała dobre stosunki z CERN-em i wielu fizyków polskich brało udział w prowadzonych tam badaniach naukowych. Od 1964 roku Polska miała status obserwatora w Radzie CERN-u i, jako pierwszy kraj bloku wschodniego, wystąpiła o pełne członkostwo w Organizacji. Jako kraj członkowski Polska stała się współwłaścicielem jednego z największych laboratoriów badawczych na świecie. Wzięła również na siebie część odpowiedzialności za zarządzanie laboratorium, tak aby przynosiło ono korzyść jak najszerszej grupie naukowców. Zainteresowanie fizyką cząstek elementarnych było w Polsce zawsze silne. W przeszłości Polska gościła wiele międzynarodowych imprez naukowych poświęconych fizyce cząstek elementarnych – w tym bardzo udane konferencje w Kazimierzu i letnie szkoły w Zakopanem. Świadectwem umacniania roli Polski w CERN-ie może być powierzenie jej organizacji Europejskiej Szkoły Fizyki Wysokich Energii w Zakopanem w 1993 roku oraz największej konferencji z fizyki cząstek elementarnych w Warszawie w lipcu 1996 roku.



(fragment artykułu, który ukazał się w grudniowym numerze *Spraw Nauki* z 1995 r.)

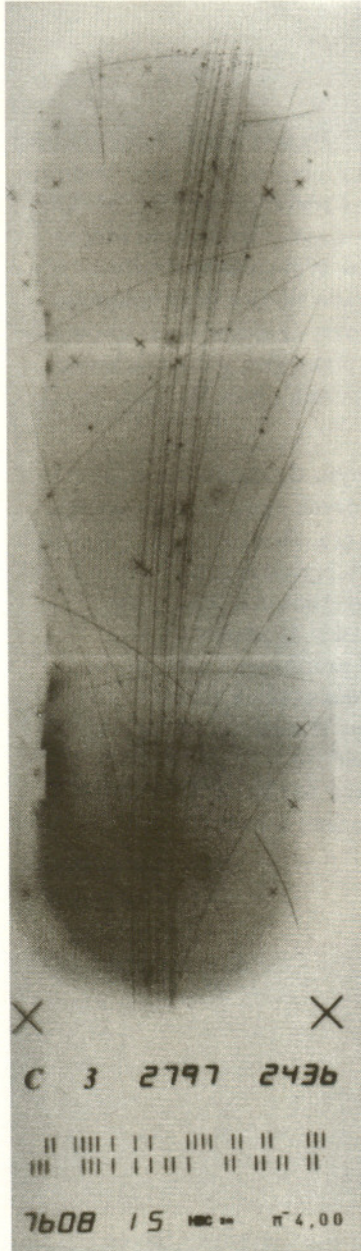
Stając się pełnoprawnym członkiem CERN-u 1 lipca 1991 roku Polska została współwłaścicielem jednego z najbardziej istotnych ośrodków badawczych w świecie. Dzięki temu uzyskała dostęp do zaawansowanych technologii, a polski przemysł uzyskał priorytet kraju członkowskiego w przetargach na zamówienia dla CERN-u. Poza korzyściami finansowymi ma to duże znaczenie marketingowe oraz stymuluje wprowadzanie i rozwijanie nowoczesnych technik produkcji.

Powodzenie w wykorzystaniu CERN-u do promocji i rozwoju naszego przemysłu zależy w znacznej mierze od działalności informacyjnej. W tym właśnie celu Polska Agencja Atomistyki, przy finansowym wsparciu Komisji Badań Naukowych, zorganizowała, w dniach od 28 listopada do 1 grudnia 1995 roku, pierwszą polską wystawę technologiczną „Poland at CERN”, stwarzając znakomitą okazję promocji polskiej technologii i przemysłu i dając możliwość nawiązania lub nasilenia kontaktów pomiędzy polskimi przedsiębiorstwami a jednym z najbardziej prestiżowych centrów badań podstawowych w świecie, będącym jednocześnie ośrodkiem wiodącym w tworzeniu i wdrażaniu najnowocześniejszych technologii.

Uroczystej inauguracji wystawy dokonali: ówczesny wicepremier, Przewodniczący KBN, profesor Aleksander Łuczak oraz Dyrektor Generalny CERN-u, profesor Chris Llewellyn Smith. Otwierając wystawę profesor Łuczak powiedział: „Ta pierwsza polska ekspozycja zapowiada nowy etap naszej obecności w CERN-ie. Umożliwia ona członkom CERN-u lepsze poznanie naszego potencjału przemysłowego, a z drugiej strony, pozwala naszym wystawcom dowiedzieć się więcej o samym Ośrodku i o jego wspaniałych pracownikach. Jest to wyjątkowa okazja spotkania się specjalistów z obu stron i wymiany poglądów na temat najnowszych rozwiązań technicznych i technologicznych.” Profesor Llewellyn Smith zwrócił uwagę na znakomity wkład naukowy polskich fizyków w rozwój Ośrodka. Przypomniał również, że przystąpienie Polski do CERN-u w lipcu 1991 roku, jako pierwszego pełnoprawnego członka z Europy Środkowo-Wschodniej, było ważnym przełomem politycznym.

Dwadzieścia cztery przedsiębiorstwa zaprezentowały ofertę zaawansowanych technologicznie wyrobów o podstawowym znaczeniu dla naukowców, inżynierów i techników pracujących w CERN-ie. Prezentowane były następujące technologie: kriogenika, techniki próżniowe, zasilanie elektryczne, elektronika wysokich mocy, mechanika wielkogabarytowa i precyzyjna, oprzyrządowanie elektryczne i mechaniczne, elektronika, oprogramowanie i optoelektronika. Od strony organizacyjnej wystawę koordynowało wrocławskie konsorcjum TECHTRA, powołane do życia w celu ułatwienia dostępu polskich przedsiębiorstw do Ośrodka pod Genewą. Równoległe do ekspozycji odbywał się cykl prelekcji przedstawiających wystawców.

Na rezultaty trzeba trochę poczekać, ale już teraz można stwierdzić, że obecność naszego przemysłu jest już wyraźnie zaznaczona. Mimo znacznych trudności w przystosowaniu się do wymogów konkurencji, udało się uzyskać zamówienia, z których polskie przedsiębiorstwa potrafiły się wywiązać wypełniając wysokie wymagania stawiane produktom dostarczanym do CERN-u. Nasz „współczynnik zwrotu składki członkowskiej” wynosi około 70% i należy do najwyższych wśród krajów członkowskich. CERN kupuje zbiorniki próżniowe do magnesów nadprzewodzących w kieleckim CHEMARZE i raciborskim RAFAKO, dennice kriostatów w kościańskim METALCHEMIE. Elementy instrumentów naukowych wykonywane są np. w Instytucie Problemów Jądrowych im. A. Sołtana czy Instytucie Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego. Większość ciekłego helu





**Rozwiązanie zadania F 429.** Żeby ten egzotyczny satelita mógł pozostać na orbicie (o ile to słowo jest tu na miejscu), siła odśrodkowa musi równoważyć siłę ciężkości, a zatem

$$\int_R^{R+1} r\omega^2 \rho dr = \int_R^{R+1} \frac{GM}{r^2} \rho dr,$$

gdzie  $\omega$  jest prędkością kątową Ziemi,  $l$  zaś – długością liny. Calkując otrzymujemy

$$R(l + 2R)(l + R) = \frac{2GM}{\omega^2} = \frac{2gR}{\omega^2}.$$

Jest to równanie kwadratowe, którego rozwiązanie mające sens fizyczny jest postaci

$$l = \frac{-3R + \sqrt{9R^2 + 4\left(\frac{2gR}{\omega^2} - 2R^2\right)}}{2}.$$

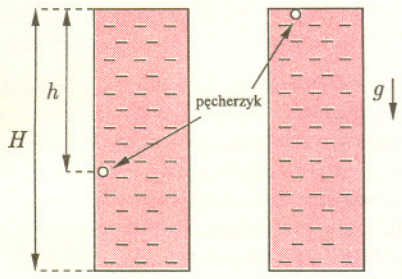
Podstawiając wartości liczbowe  $g$ ,  $R$  i  $\omega$  dostajemy

$$l = 1,5 \cdot 10^8 \text{ m}.$$

Jest to długość równa niemalże połowie odległości Ziemia-Księżyc.



**Rozwiązanie zadania F 430.** Ponieważ ciecz jest nieściśliwa, pęcherzyk wypływając ku górze nie zmienia swej objętości. Jeśli stała jest temperatura, stałe jest także ciśnienie wewnątrz pęcherzyka. Stała jest także różnica ciśnień w pęcherzyku i na zewnątrz. Wynika stąd, że ciśnienie w bezpośrednim otoczeniu pęcherzyka jest cały czas takie samo i równe  $p_0 + \rho gh$ , niezależnie od tego, gdzie znajduje się pęcherzyk ( $p_0$  jest początkowym ciśnieniem pod górną pokrywą cylindra). Ciśnienie końcowe wywierane przez ciecz na górną pokrywę jest więc równe  $p_0 + \rho gh$ , natomiast ciśnienie końcowe wywierane na dno cylindra wynosi  $p_0 + \rho g(H + h)$ .



Dla małej wartości  $p_0$  i dużej głębokości  $h$  wzrost ciśnienia może być znaczny. W przypadku szybu naftowego o głębokości kilku kilometrów może osiągnąć wartość atmosfer (złożom ropy naftowej zwykle towarzyszą złoża gazu). Takie ciśnienie może rozerwać zamknięcie szybu i skruszyć skały na dnie odwiertu. Z tego powodu odwierty naftowe nie są zamykane. W przypadku głębokiego szybu naftowego nie jest poprawne założenie o stałości temperatury, nie istnieją też nieściśliwe ciecze, mimo to wzrost ciśnienia mógłby być niebezpieczny.

w CERN-ie jest produkowana w Odolanowie. Po Ośrodku jeżdżą wyprodukowane w Tychach *Cinquecento*, a firma DETRON dostarczyła pokazowy detektor promieniowania kosmicznego, który stanowił część ekspozycji CERN-u na wystawie światowej w Sewilli.

W dniu 16 grudnia 1994 roku Rada CERN-u zatwierdziła program budowy kolajdera hadronowego LHC. Jest to wyzwanie nie tylko dla naukowców, ale również dla przemysłu. To wielka szansa promocji przedsiębiorstw, którym uda się zaangażować w tę prestiżową budowę. CERN jest jakby minipaństwem i potrzebuje dosłownie wszystkiego. Nie jest to jednak łatwy rynek. Wymagana jest najwyższa jakość. CERN, znając swoją wartość i pragnąc optymalnie wykorzystać środki, jakimi dysponuje, ustala wygodne dla siebie warunki płatności. W praktyce oznacza to, że małe firmy lub instytuty badawczo-rozwojowe nie mogą sobie pozwolić na nawiązywanie większych kontraktów bez gwarancji kredytowych, np. ze strony rządu lub powołanych do tego celu agend rządowych. Zgodnie z podpisaną przez Polskę i CERN umową okres budowy LHC wyznacza stopniowe dochodzenie do płacenia pełnej składki członkowskiej (której wysokość uzależniona jest od wysokości przychodu narodowego netto, docelowo będziemy pokrywać około 1,3% budżetu, mniej więcej tyle co Finlandia, Norwegia, Czechy albo Węgry; dzięki negocjacjom naszych przedstawicieli udało się zaoszczędzić około półtorej składki finalnej). W praktyce oznacza to otwartą drogę do dziesięciokrotnego zwiększenia udziału polskich przedsiębiorstw w zamówieniach CERN-u. Naprawdę na tym skorzystamy, jeżeli uda się nam sprzedać najlepsze wytwory polskiej myśli technicznej, wykorzystać współpracę ze specjalistami spod Genewy do podniesienia jakości wytworów naszego przemysłu i rozszerzenia jego oferty. Badania marketingowe zlecone przez CERN wykazały, że uzyskane tam zamówienia procentują w przyszłości sprzedażą produktów lub usług o 3–4 krotnie większej wartości. Produkowanie dla CERN-u jest w praktyce równoważne uzyskaniu najwyższych certyfikatów jakości. Wiąże się to również z bezpłatną oceną ekonomiczną przedsiębiorstwa, gdyż CERN przy pomocy swoich fachowców sprawdza strukturę kosztów kupowanych przez siebie wyrobów.

Wśród wielu dziedzin, w których mamy szansę zaistnieć w CERN-ie, zwróciłbym szczególną uwagę na optoelektronikę. Przesyłanie informacji za pomocą światła przeżywa okres rozkwitu na całym świecie. Mamy znakomitych specjalistów w tej dziedzinie (np. na Politechnice Warszawskiej). To, co jest potrzebne w CERN-ie, różni się od standardowych potrzeb telekomunikacji odległością, na jaką trzeba przesyłać olbrzymie ilości danych w jak najkrótszym czasie. W przypadku LHC będą to dziesiątki metrów zamiast kilometrów. Ten sposób przesyłania informacji może być naszą szansą i ma przed sobą dużą przyszłość w postaci ultraszybkich sieci lokalnych, które zaczynają powstawać w instytutach naukowych, szpitalach czy bankach.

Podsumowując, współpraca Polski z CERN-em niesie w sobie ogromne potencjalne korzyści dla polskiej techniki. Aby je wykorzystać, potrzebne jest znalezienie tych dziedzin, w których polski przemysł może być konkurencyjny i zapewnienie im środków niezbędnych do osiągnięcia sukcesu. Wystawa „Poland at CERN” była znaczącym elementem tego procesu, który – mam nadzieję – będzie intensyfikowany. Na koniec spójrzmy, jak to robią inni. Dużo możemy się nauczyć (i już się nauczyliśmy) od Finlandii. Od wielu lat staramy się jednak zbudować „drugą Japonię”. Kraj kwitnącej wiśni znany jest z rozwiniętej myśli technicznej. W zbliżeniu okazuje się, że nauka japońska – poprzez sposoby jej finansowania – jest jedną z najbardziej pragmatycznych na świecie. Otóż ta pragmatyczna Japonia, jako pierwszy kraj pozaeuropejski (jeśli bez geograficznego aptekarstwa uznamy europejskość Izraela) uzyskała w czerwcu 1995 roku status obserwatora przy Radzie CERN-u, wpłacając jednocześnie okrągłą sumę 5 miliardów jenów jako „wkład rządu japońskiego w przyspieszenie budowy LHC”. Oni muszą mieć w tym jakiś interes.

(na podstawie *CERN Courier*, raportu OECD pt. *Particle physics* i książki: F. Close, M. Marten, C. Sutton pt. *Particle Explosion*)

„Raison d'être” CERN-u jest badanie struktury materii w celu znalezienia odpowiedzi na pytanie, co to w ogóle jest „materia”, jaka jest jej historia i jakie rządzą nią prawa. Poszukiwania takie są istotnym elementem rozwoju ludzkiej kultury. Odkrycia doświadczalne wymagają wyjaśnień teoretycznych, a te stymulują dalsze badania. Na podstawie materiału doświadczalnego nagromadzonego do początku lat siedemdziesiątych (w dużej mierze dzięki CERN-owi) powstał „model standardowy oddziaływań fundamentalnych”. Można go uważać za prawdziwy pomnik osiągnięć naukowych naszego stulecia, który pozwala w jednolity sposób wyrazić prawa rządzące wszystkimi znanymi oddziaływaniami fundamentalnymi, z wyjątkiem grawitacji. Włączenie grawitacji w ten spójny opis pozostaje jednym z najbardziej intrygujących wyzwań intelektualnych.

Fizyka cząstek elementarnych postrzegana jest jako nauka oderwana od codziennego życia. Zajmuje się bowiem badaniem oddziaływań cząstek przy energiach o kilka rzędów wielkości większych niż fizyka jądrowa i o następnych kilka rzędów wielkości większych niż fizyka atomowa czy chemia. Jednak wczorajsze „wysokie energie” stają się z czasem celem badań lub narzędziem nauk pokrewnych dnia dzisiejszego, a jutro znajdą zastosowania w medycynie lub przemyśle. Pierwszą znaną cząstką, uważaną do dzisiaj za elementarną, był, odkryty przez J.J. Thomsona w 1897 roku, elektron. Zrozumienie kwantowej natury elektryczności umożliwiło burzliwy rozwój elektroniki i chemii teoretycznej. Naprawdę trudno znaleźć dzisiaj produkt przemysłowy nie mający nic do zawdzięczenia tym dziedzinom nauki. Thomson przed swoim odkryciem dostawał dobre rady „żeby zostawił swoją aparaturę i zajął się czymś pożytecznym”... W zeszłym roku agencje prasowe doniosły o wytworzeniu atomów antywodoru w CERN-ie. Trudno w tej chwili przewidzieć, jakie znaczenie dla nauki i jakie zastosowania praktyczne będzie miało to osiągnięcie. Podobnie, kiedy trzydzieści lat temu powstał pierwszy pierścień akumulacyjny elektronów, nikt nie przypuszczał, jak zawrotną karierę zrobi promieniowanie synchrotronowe – niepożądany efekt uboczny zakrzywiania torów relatywistycznych elektronów. Stosowane jest ono obecnie, między innymi, w biologii molekularnej, medycynie, farmakologii, chemii, fizyce ciała stałego, materiałoznawstwie czy mikrolitografii. Najbardziej spektakularne z punktu widzenia nauki są chyba osiągnięcia biologii molekularnej. Zastosowanie promieniowania synchrotronowego, wraz z metodami wizualizacji wywodzącymi się częściowo z analizy danych stosowanej w fizyce wysokich energii, umożliwiło odkrycie struktury przestrzennej szeregu białek składających się z tysięcy atomów.

Wpływ fizyki cząstek elementarnych nie ominął humanistyki. Korzysta się z niej w archeologii, historii sztuki, czy renowacji zabytków. Akceleratorowa spektroskopia masy pozwala na precyzyjne datowanie dzieł za pomocą minimalnych ilości pierwiastków promieniotwórczych, a aktywacja akceleratorami jonowymi odślania przed specjalistami historię dzieł mistrzów pędzla, umożliwia odkrycie zamalowanych arcydzieł i identyfikację fałszerstw.

Fizyka cząstek elementarnych wywiera istotny wpływ na edukację. Uczniowie współpracujący z CERN-em to w znacznej mierze wykładowcy uniwersytetów całego świata. Przekraczanie granicy poznania pozwala im rozbudzać ciekawość swoich następców. A pragnienie odkrycia nieznanego jest od zawsze głównym motorem postępu. Szeroko rozumiana popularyzacja wiedzy stanowi jeden z priorytetów CERN-u. Przez laboratorium przewijają się tysiące zwiedzających, głównie młodych ludzi. Mają oni możliwość obejrzenia z bliska działających instrumentów, zwiedzenia specjalnie dla nich utrzymywanej ekspozycji „Microcosm”, wysłuchania prelekcji wprowadzających w mikroświat i zaawansowane technologie używane do jego badania. Poznają pytania i problemy nurtujące uczonych. Staje się to często impulsem do rozpoczęcia własnej przygody z nauką. Owocuje łatwiejszym odnajdywaniem się w nasyconym techniką współczesnym świecie. Ze względu na oczywisty zwiedzanie CERN-u przez polską młodzież jest utrudnione. Aby temu zaradzić, polskie instytuty współpracujące z Ośrodkiem organizują za jego pomocą wystawy promujące badanie struktury materii. Pierwsza taka ekspozycja miała miejsce w Warszawie w roku 1992, a drugą pt. „Od kwarków do gwiazd” zorganizowano w październiku 1995 roku w Krakowie. Obydwie cieszyły się ogromnym powodzeniem. Trwałą pamiątkę wystawy krakowskiej stanowią filmy popularnonaukowe wyprodukowane przez CERN i opatrzone komentarzem w języku polskim, które są obecnie rozprawdane wśród polskich szkół.



Radiografia nerki wykonana za pomocą detektorów skonstruowanych przez G. Charpaka w CERN-ie.



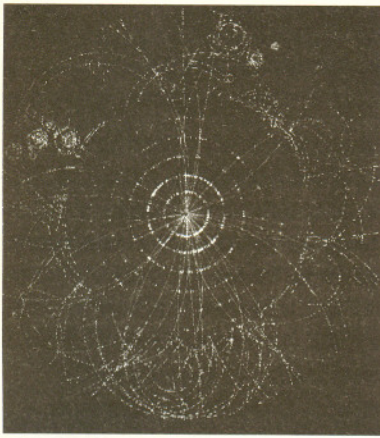
#### Rozwiązanie zadania M 774.

Niech  $b_n$  (odpowiednio  $c_n$ ) oznacza prawdopodobieństwo tego, że po  $n$  ruchach cząstka znajdzie się w wierzchołku  $B$  (odpowiednio  $C$ ). Łatwo zauważyć, że dla każdej liczby naturalnej  $n$  zachodzi równość

$$a_{n+1} = \frac{1}{2}b_n + \frac{1}{2}c_n.$$

Istotnie, aby cząstka po  $n+1$  ruchach znalazła się w punkcie  $A$ , musi do niego przejść z punktu  $B$  lub  $C$ , gdzie musi być po  $n$  ruchach. W obu przypadkach przejście do wierzchołka  $A$  dokona się z prawdopodobieństwem  $\frac{1}{2}$ .

Ponadto, dla dowolnego  $n$  mamy  $a_n + b_n + c_n = 1$ , więc  $a_{n+1} = \frac{1}{2}(1 - a_n)$ . Zatem,  $d_n = a_n - \frac{1}{3}$  spełnia zależność  $d_{n+1} = -\frac{1}{2}d_n$ . Stąd otrzymujemy  $\lim_{n \rightarrow \infty} d_n = 0$ , a więc  $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \frac{1}{3}$  (wynik skądinąd zgodny z intuicją). A jak będzie wyglądać błądzenie po wierzchołkach kwadratu?



Symulacja przypadku produkcji bozonu Higgsa w zderzeniu pp w LHC w wewnętrznym detektorze ATLAS-u.

Fizycy wielkich energii wyruszyli na poszukiwanie najdrobniejszej struktury materii. Okazuje się, że jest to jednocześnie droga do zrozumienia wielkoskalowej struktury i historii Wszechświata. Wszystko wskazuje na istnienie tej „zachodniej drogi do Indii”. Zatwierdzona już budowa wielkiego, hadronowego akceleratora wiązek przeciwbieżnych LHC przypomina wielkie wyprawy w nieznanne. Pragniemy znaleźć odpowiedź na podstawowe pytanie o pochodzenie masy cząstek elementarnych. W modelu standardowym masy cząstek powstają na skutek spontanicznego złamania symetrii cechowania. Poniżej pewnej energii pole skalarnie, zwane polem Higgsa, przyjmuje wartość różną od zera (podobnie jak namagnesowanie ferromagnetyka poniżej temperatury Curie). Pole to wypełnia całą przestrzeń i pozostałe cząstki oddziałując z tym „eterem końca XX wieku” uzyskują masę. Przypomnienie teorii eteru kosmicznego nie jest przypadkowe. W drugiej połowie XIX wieku dominującą teorią była mechanika, więc próbowano znaleźć ośrodek wypełniający próżnię, którego obecność wyjaśniłaby propagację fal świetlnych. W drugiej połowie XX wieku dominującymi są teorie z cechowaniem, więc próbujemy odkryć wszechobecne cząstki Higgsa, które wyjaśniłyby zagadkę masy. Powracając koncepcją jest bogata struktura „pustej przestrzeni”. Czy odkryjemy „eter końca XX wieku” w LHC, czy też po raz kolejny czeka nas zweryfikowanie naszych poglądów? Nie wiadomo. W końcu Krzysztof Kolumb nie odkrył nowej drogi do Indii, tylko Amerykę, najgorzej byłoby jednak, gdybyśmy zamiast odkrywać nowe światy, wszyscy „zajęli się czymś pożytecznym”.

### Typowy detektor (patrz ostatnia strona okładki)

Eksperymenty fizyki wysokich energii przeprowadzane są w wielu ośrodkach na świecie, gdzie znajdują się akceleratory zdolne przyspieszać cząstki elementarne. Pomimo różnorodności akceleratorów, przyspieszanych wiązek cząstek elementarnych czy nawet badanych problemów fizycznych, detektory stosowane w tych doświadczeniach wykazują szereg cech wspólnych. Wynika to z tego, że stawiane detektorom zadania są w tych przypadkach bardzo podobne. Zadaniem detektora jest zarejestrowanie i ewentualne zidentyfikowanie cząstek wyprodukowanych w badanych oddziaływaniach. Zadanie to realizowane jest przez różne podzespoły detektora, które same są zresztą nazywane detektorami. Cząstki emitowane z punktu oddziaływania przechodzą przez kolejne elementy detektora, w których wyznaczany jest, na przykład, ich tor w polu magnetycznym (pomiar pędu cząstki) czy mierzona jest całkowita energia, jaką zdeponuje cząstka w detektorze (kalorymetryczny pomiar energii cząstki). Jasne jest, że pomiar kalorymetryczny jest ostatnim pomiarem, jakiego możemy dokonać, jako że w wyniku tego pomiaru cząstka zostaje w kalorymetrze pochłonięta.

Bardzo istotną cechą detektora jako całości jest jego hermetyczność, to znaczy zdolność do zarejestrowania możliwie wszystkich cząstek emitowanych w badanym oddziaływaniu. W takim detektorze proste sprawdzenie praw zachowania pędu i energii pozwalałoby wnosić o produkcji cząstek nowego typu, które w detektorze nie oddziałują. Kłopot jednak polega na tym, że nie ma detektorów rejestrujących z zadowalającym prawdopodobieństwem znane już neutrino. Trzeba ten fakt uwzględnić w bilansie energetycznym. Poza tym, wyprowadzenie sygnałów z detektorów wymaga kabli, które wraz z elementami nośnymi detektora, stanowią obszary martwe, przez które mogą uciec cząstki. Z tego powodu żądanie hermetyczności odciska silne piętno na projekcie każdego detektora.

W przypadku wiązek przeciwbieżnych detektor zbudowany jest wokół rury (bądź rur), w których krążą zderzające się wiązki cząstek. Zwykle składa się on z części centralnej, nazywanej beczką, oraz dwóch pokryw. Układ detektorów w pokrywach jest podobny do tego w beczce.

W części obszaru beczki wytwarzane jest pole magnetyczne, które zakrzywia tory cząstek naładowanych. Najczęściej używa się solenoidalnych magnesów nadprzewodzących dających pole do kilku tesli. Najbliższym punktu oddziaływania znajduje się tak zwany detektor wierzchołka, którego zadaniem jest określenie punktów rozpadu krótkożyjących cząstek wtórnych. Najczęściej jest to wielowarstwowy detektor półprzewodnikowy. Następnym to detektor śladowy, którego celem jest określenie torów cząstek w polu magnetycznym. Aby wyznaczyć pęd cząstki z rozsądną dokładnością, należy ją śledzić w polu magnetycznym na odpowiednio długiej drodze; stąd średnica centralnego detektora śladowego zwykle wynosi około 1 metra. Oczywiście, większy detektor centralny gwarantuje większą dokładność pomiaru pędu, ale oznacza to zwiększenie rozmiarów nadprzewodzącej cewki, co znacznie podnosi koszty. Wewnątrz cewki zwykle umieszczone są jeszcze detektory identyfikujące cząstki (typu liczników Czerenkowa) i kalorymetr elektromagnetyczny, którego zadaniem jest pomiar energii fotonów i elektronów. Oba te detektory umieszczone są przed cewką magnesu, ponieważ materiał, z którego zbudowana jest cewka, zakłóca ruch przechodzących przez siebie cząstek.

Poza cewką znajduje się jeszcze kalorymetr hadronowy oraz komory mionowe. Kalorymetr służy do wyznaczenia energii cząstek silnie oddziałujących (hadronów) i zwykle jako absorber wykorzystuje jarzmo magnesu zamykające pole magnetyczne. Absorber kalorymetru jest na tyle gruby, że poza kalorymetr hadronowy ze znanych cząstek naładowanych mogą się przedostać tylko miony. Wobec tego wszystkie cząstki zarejestrowane przez wspomniane komory mionowe z definicji uważane są za miony. Na tylnej okładce przedstawione są omówione elementy na przykładzie detektora DELPHI pracującego przy akceleratorze elektronów i pozytonów LEP w CERN-ie. Warto przy tej okazji zaznaczyć, że elementy kalorymetru elektromagnetycznego, detektorów Czerenkowa (RICH) oraz detektora wierzchołka i detektora wewnętrznego zostały wykonane w Polsce.

Krzysztof DOROBA



(na podstawie *CERN Courier* i raportu OECD pt. *Particle physics*)

System wzajemnych zależności i powiązań badań podstawowych i techniki jest niezwykle bogaty. Często trudno oddzielić skutek od przyczyny. Żadna z dziedzin nauki czy techniki nie może sobie uzurpować wyłączności poszczególnych osiągnięć podnoszących jakość naszego życia. Badanie struktury materii – cel istnienia CERN-u, to tylko wierzchołek góry lodowej. CERN jest przede wszystkim jednym z najnowocześniejszych centrów technologicznych świata – miejscem, w którym na zasadzie symbiozy współpracują specjaliści z najprzeróżniejszych dyscyplin. Fizyka cząstek elementarnych stawia bardzo wysokie wymagania co do zaawansowania, niezawodności, ale też opłacalności ekonomicznej stosowanych rozwiązań technicznych. Trudno dostrzec na pierwszy rzut oka, co łączy fabrykę produkującą rękawiczki gumowe z laboratorium cząstek elementarnych. A jednak: w obu działają akceleratory. Przyjrzyjmy się więc technologiom wykorzystującym instrumenty wynalezione na potrzeby badania struktury materii.

### Przemysłowe naświetlanie promieniowaniem jonizującym

Naświetlanie wiązką elektronów jest używane w przemyśle w celu polepszenia jakości lub zmniejszenia kosztów produkcji. Właściwości bakteriobójcze wiązek wykorzystuje się do sterylizacji kosmetyków, produktów medycznych i żywności. Promieniowanie jonizujące jest używane do zmieniania właściwości związków chemicznych, na przykład w procesach polimeryzacji. Stosowane jest przy produkcji dysków komputerowych, opakowań, opon, kabli, rur kanalizacyjnych i samolotów. Prowadzone są pionierskie prace nad utylizacją odpadów i redukcją zanieczyszczeń spalin elektrowni ciepłnych tlenkami azotu i siarki.

### Aktywacja powierzchniowa

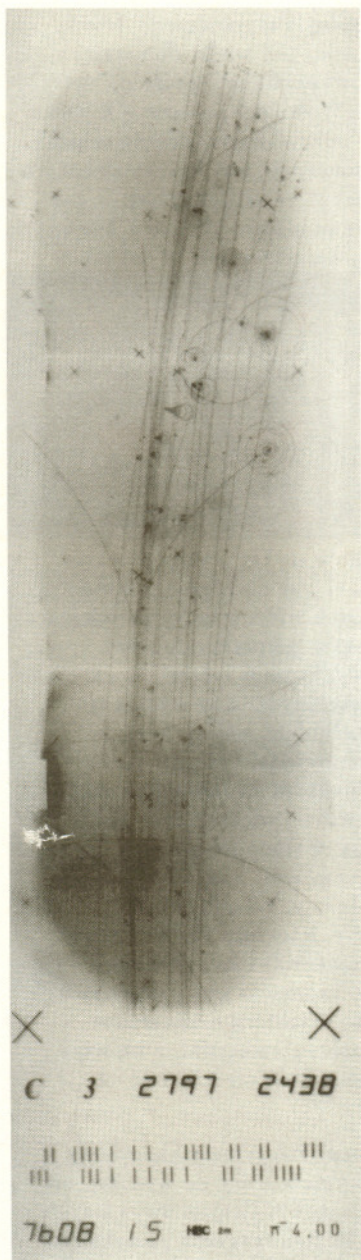
Zużycie i korozja materiałów jest jednym z poważnych problemów przemysłu maszynowego. Aktywacja powierzchniowa za pomocą akceleratora jonowego lub protonowego pozwala na kontrolę zużycia części maszyn z nanometrową dokładnością. W wyniku zabiegu cienka warstwa badanej powierzchni staje się radioaktywna. Zaawansowane techniki detekcji promieniowania umożliwiają dokonywanie pomiarów jej zużycia bez potrzeby rozmontowania badanego urządzenia. Technologie te są wykorzystywane, na przykład, w przemyśle samochodowym, lotniczym czy energetycznym.

### Mikrolitografia promieniami X

Dzięki o wiele mniejszej długości fali promieniowanie X pozwala na znaczące zwiększenie dokładności w porównaniu z technologią wykorzystującą światło widzialne lub nadfioletowe. Obecnie rutynowo używa się promieniowania synchrotronowego emitowanego przez zakrzywiane w silnym polu magnetycznym wiązki elektronów. Uzyskuje się rozdzielczość rzędu 100 nanometrów. Technologia ta jest podstawą produkcji układów scalonych najnowszej generacji. Jest również używana do wytwarzania mikroskopijnych detali precyzyjnych przyrządów.

### Implantacja jonów

Trudno sobie wyobrazić współczesny przemysł półprzewodników bez akceleratorów jonowych. Od dwudziestu lat są one używane do domieszkowania płytek krzemowych atomami boru, fosforu czy arsenu. Metoda implantacji jonów pozwala na uzyskiwanie bardzo szerokiej gamy parametrów domieszkowanych warstw. Przy zastosowaniu większych intensywności wiązki jonowe służą



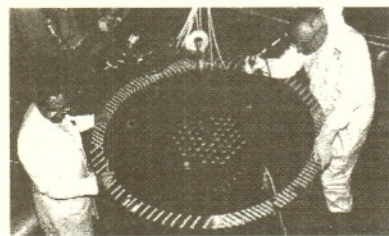


**Rozwiązanie zadania M 775**  
(anonimowi studenci I roku matematyki UW). Nie. Jak łatwo sprawdzić, podstawiając  $x = y = 0$ , mamy  $\varphi(0) \leq \varphi(0)^2$ . Stąd i z założenia  $\varphi : \mathbf{R} \rightarrow [0, 1]$  wynika, że  $\varphi(0) \in \{0, 1\}$ . Gdyby  $\varphi(0) = 0$ , to funkcja  $\varphi$  musiałaby być tożsamościowo równa zeru.

Jeśli zaś  $\varphi(0) = 1$ , to podstawiając  $x = y$  stwierdzamy, że

$$\varphi(2x) + 1 \leq 2\varphi(x)^2$$

dla każdej liczby rzeczywistej  $x$ . Oznaczmy  $\lim_{x \rightarrow \infty} \varphi(x) = g$  (granica istnieje, ponieważ funkcja  $\varphi$  jest monotoniczna i ograniczona na przedziale  $[0, \infty)$ ). Wówczas, oczywiście, także  $\lim_{x \rightarrow \infty} \varphi(2x) = g$ , a zatem  $g + 1 \leq 2g^2$ , czyli  $(g - 1)(2g + 1) \geq 0$ . Ponieważ  $g \in [0, 1]$ , wynika stąd, że  $g = 1$ , więc funkcja  $\varphi$  musiałaby być tożsamościowo równa 1.



Wzmacniacz energii w budowie.



**Rozwiązanie zadania M 776.** Tak. Warunki zadania spełnia np. funkcja

$$\varphi(x) = \begin{cases} \cos x, & \text{gdy } |x| \leq \pi, \\ -1, & \text{gdy } |x| > \pi. \end{cases}$$

Istotnie, gdy  $|x|, |y| > \pi$ , to  $2\varphi(x)\varphi(y) = 2 \geq \varphi(x+y) + \varphi(x-y)$ . Gdy  $|x|, |y| \leq \pi$ , to  $2\varphi(x)\varphi(y) = 2 \cos x \cos y = \cos(x+y) + \cos(x-y) \geq \varphi(x+y) + \varphi(x-y)$ . Z parzystości funkcji  $\varphi$  wynika, że wystarczy jeszcze zbadać przypadek, gdy  $x > \pi \geq y \geq 0$ , co sprowadza się do wykazania, iż

$$-1 + 2\varphi(x-y) \leq -2 \cos y.$$

Jeśli  $x - y > \pi$ , to powyższa nierówność jest oczywista. Pozostaje wykazać, że gdy  $y + \pi > x > \pi \geq y \geq 0$ , to  $1 - \cos(x-y) \geq 2 \cos y$ . Ponieważ jednak funkcja kosinus maleje na  $[0, \pi]$ , to w tym przypadku mamy

$$\begin{aligned} \cos(x-y) &\leq \cos(\pi - y) = \\ &= -\cos y \leq 1 - 2 \cos y, \end{aligned}$$

co kończy dowód.

do uszlachetniania powierzchni metali. Pozwalają na uzyskanie zwiększonej odporności na ścieranie, korozję czy wysoką temperaturę. Warstwa uszlachetniona jest wytwarzana na powierzchni gotowego elementu. Technika ta pozwala na uzyskiwanie części maszyn o różnych parametrach w zależności od głębokości. Eliminuje to konieczność obróbki uszlachetnionych powierzchni pozwalając jednocześnie na uzyskanie warstwy integralnie związanej z podłożem. Przykładem zastosowań może być wytwarzanie protez stawów, w których jedynie powierzchnie trące powinny charakteryzować się dużą odpornością na ścieranie, a reszta protezy powinna umożliwiać dobre zrośnięcie jej z kośćmi.

## Wykrywanie narkotyków i materiałów wybuchowych

System kontroli oparty na akceleratorze pracującym w trybie impulsowej produkcji szybkich neutronów pozwala na automatyczne sprawdzanie zawartości całych kontenerów. Neutrony wzbudzają atomy badanego towaru. Sygnałem obecności narkotyków lub materiałów wybuchowych jest emisja kwantów gamma powstających w wyniku nieelastycznej dyfuzji neutronów na jądrach atomów węgla i tlenu. Analiza czasu przelotu pozwala na określenie miejsca znajdowania się podejrzanego materiału, a spektroskopia gamma umożliwia określenie jego składu.

## Nowe źródła energii

Następną badaną obecnie możliwością zastosowania akceleratorów jest tzw. „wzmacniacz energii” – projekt, w który zaangażował się laureat Nagrody Nobla i były dyrektor generalny CERN-u, Carlo Rubbia. Pomysł polega na użyciu wiązki protonowej do inicjowania reakcji w nowym typie reaktorów jądrowych. Zaletą tego rozwiązania byłoby wyeliminowanie możliwości wymknięcia się reaktora spod kontroli, możliwość stosowania powszechnie dostępnego uranu 238 lub toru 232, zminimalizowanie ilości odpadów jądrowych oraz wyeliminowanie powstawania plutonu używanego do produkcji broni jądrowej. Pierwsze próby doświadczalnego sprawdzenia tej koncepcji są obiecujące. Według wcześniejszego pomysłu naukowców z Los Alamos podobny układ miałby służyć jedynie do utylizacji odpadów z klasycznych elektrowni jądrowych doprowadzając do rozpadu długożyciowych izotopów.

## Nadprzewodnictwo

Chociaż zjawisko nadprzewodnictwa zostało odkryte na początku stulecia, to zostało wykorzystane w praktyce dopiero 30 lat temu, przy budowie magnesów do olbrzymich komór pęcherzykowych. Następnym krokiem były magnesy nadprzewodzące pracujące cyklicznie, wynalezione na zamówienie fizyki akceleratorów. W miarę rozwoju techniki przyspieszania cząstek rozwiązywano kolejne problemy. W rezultacie tych prac pojawiły się magnesy nadprzewodzące produkowane przemysłowo, które znalazły zastosowanie w wielu gałęziach techniki. Magnesy nadprzewodzące są niezbędne w badaniach nad fuzją jądrową, rozważane jest ich wykorzystanie do akumulowania energii na wyjściu konwencjonalnych elektrowni czy wreszcie stanowią one podstawę instrumentów służących do tomografii przy użyciu jądrowego rezonansu magnetycznego.

## Inne technologie

Fizyka cząstek elementarnych miała istotny wpływ na wiele innych technologii. Wiele technik dotyczących: wysokiej próżni, wykorzystania niekonwencjonalnych materiałów, geodezji, drążenia tuneli, instrumentów pomiarowych, elektroniki, gromadzenia, przesyłania i analizowania dużych zbiorów danych zostało wynalezionych lub udoskonalonych przez naukowców i inżynierów pracujących w dziedzinie badań nad strukturą materii. Jak widać, jest to nie tylko „czysta”, ale też bardzo praktyczna nauka.

## Pro medicina

(na podstawie *CERN Courier* i raportu OECD pt. *Particle physics*)

Medycyna jest chyba tą dziedziną, na którą badania struktury materii wpłynęły najbardziej. Akceleratory i detektory cząstek oraz metody rekonstrukcji przestrzennej są obecnie kluczowe w diagnostyce i terapii radiologicznej i jądrowej. Rozwój fizyki akceleratorów ma wpływ na obniżenie cen instrumentów medycznych wymienionych działów medycyny i, co za tym idzie, zwiększenie ich dostępności. Postęp w dziedzinie detekcji promieniowania pozwoli na zwiększenie bezpieczeństwa pacjentów i personelu medycznego poprzez obniżenie dawek promieniowania.

### Początki

Rura Crookesa, pierwsze urządzenie służące do przyspieszania naładowanych elektrycznie cząstek elementarnych, jest starsza od samego pojęcia „cząstka elementarna”; wyprzedza nawet ugruntowanie pojęcia atomu. Z jej pomocą w 1895 roku Wilhelm Konrad Roentgen odkrył promienie X. Ich zastosowanie zrewolucjonizowało diagnostykę medyczną. Rok później Henri Becquerel stwierdził naturalną radioaktywność uranu. Dwa lata później Pierre i Maria Curie odkryli dwa nieznanne wcześniej pierwiastki: polon i rad. Oba są promieniotwórcze, a rad, milion razy bardziej aktywny od uranu, stał się pierwszą bronią przeciwko nowotworom złośliwym. W 1914 roku nasza rodaczka stanęła na czele paryskiego Instytutu Radowego, którego głównym celem był rozwój terapii za pomocą izotopów promieniotwórczych.

Od roku 1932, dzięki cyklotronowi Ernesta Lawrence'a, akceleratory stały się głównym narzędziem badania materii. Na pełną gamę ich zastosowań medycznych, od produkcji radionuklidów do terapii neutronowej, nie trzeba było czekać nawet dziesięciolecia. W 1938 roku matka Lawrence'a stała się pierwszą pacjentką wyleconą z choroby nowotworowej dzięki zastosowaniu strumienia neutronów otrzymanego za pomocą cyklotronu.

### Produkcja izotopów promieniotwórczych

Co piąty środek farmakologiczny zawierający pierwiastki promieniotwórcze powstaje przy użyciu cyklotronów. Prawie jedna trzecia wszystkich akceleratorów tego typu służy do produkcji radionuklidów potrzebnych medycynie. Cyklotrony potrafią wytwarzać ponad 30 potrzebnych medycynie izotopów. Dobrym przykładem może być tal 201, który służy do badania niedokrwienia mięśnia sercowego w diagnostyce choroby wieńcowej. Otrzymywany jest przez bombardowanie talu 203 protonami o energii 25–28 MeV. Jego półokres rozpadu wynosi 73 godziny, a energia emitowanych kwantów gamma wynosi 80 keV.

Rozwój techniki wytwarzania, przyspieszania, prowadzenia i ogniskowania wiązek cząstek elementarnych, stymulowany przez fizykę wysokich energii, doprowadził do powstania akceleratorów przemysłowych. Wymagania są bardzo podobne: wysoka sprawność magnesów i elementów przyspieszających, jak największa intensywność wiązek o regulowanej energii, niezawodność, sterowanie automatyczne, możliwość szybkiego włączania i wyłączania. Nie jest natomiast potrzebna wysoka energia, co pozwala konstruować instalacje stosunkowo małe i tanie.

### Tomografia przez emisję pozytonów

Tomografia przez emisję pozytonów (ang: PET, *positron-electron tomography*) jest wyrafinowaną techniką diagnostyczną używaną przez najnowocześniejsze ośrodki medyczne. Lokalizacja przestrzenna zmian biochemicznych i fizjologicznych w badanych tkankach pozwala na diagnozowanie stadium początkowego choroby, przed uwidocznieniem się objawów anatomicznych. Wykorzystuje się do tego celu radionuklidy emitujące pozytony (antyelektrony) o niskiej energii. Pozytony zatrzymują się w tkance (praktycznie w miejscu kreacji) i anihilują z obecnymi tam elektronami, powodując emisję dwóch, przeciwnie skierowanych kwantów gamma o energii 511 keV (odpowiadającej masie spoczynkowej elektronów i pozytonów). Ich jednoczesna rejestracja (koincydencja) pozwala na bardzo dokładne odtworzenie przestrzennego rozkładu radionuklidu w badanej tkance. Używa się izotopów o krótkim półokresie rozpadu, takich jak węgiel 11 (półokres rozpadu 20 minut), azot 13 (10 minut), tlen 15 (2 minuty) i fluor 18 (110 minut). Są one produkowane na miejscu, bezpośrednio przed badaniem. Aparatura diagnostyczna PET składa się z trzech elementów: akceleratora produkującego radionuklidy, aparatury chemicznej wytwarzającej odpowiedni środek farmakologiczny i specjalnej kamery rejestrującej kwanty gamma.

Metoda PET jest dokładniejsza od tradycyjnej tomografii radioizotopowej. Pozwala na mierzenie nowych parametrów biochemicznych, takich jak natężenie przepływu krwi, zużycie kwasów tłuszczowych i glukozy, transport tlenu i aminokwasów, jak również aktywność systemu nerwowego. Obiecujące zastosowania istnieją w onkologii, neurologii czy kardiologii. W onkologii metoda PET służy do określania typu nowotworów, ich wielkości, stopnia złośliwości oraz skuteczności chemioterapii i zabiegów chirurgicznych. Do zastosowań neurologicznych należy lokalizacja ognisk epileptycznych czy wczesne rozpoznawanie choroby Alzheimera. Jeżeli chodzi o kardiologię, jest to najlepsza metoda określenia żywotności tkanki mięśnia sercowego, pozwalająca na uniknięcie niepotrzebnych operacji.

## Detekcja promieniowania i wizualizacja przestrzenna

Użycie promieniowania w medycynie prawie zawsze wymaga jego detekcji, a często również określenia przestrzennego rozkładu źródeł jego emisji. Wpływ fizyki wysokich energii na ten aspekt zastosowań medycznych jest bardzo silny. Na przykład, zastosowanie komór proporcjonalnych, wynalezionych i ulepszanych przez ostatnie 20 lat na potrzeby badań podstawowych, pozwala na wielokrotne zmniejszenie dawek promieniowania przy jednoczesnym zwiększeniu jakości obrazu. Wyjście tego typu detektorów ze sfery czystej nauki do zastosowań praktycznych było jednym z powodów przyznania wynalazcy wielodrutowej komory proporcjonalnej, George'owi Charpakowi, Nagrody Nobla z fizyki w roku 1992. Wykorzystanie doświadczenia fizyków wysokich energii w dziedzinie systemów zbierania i przetwarzania danych pozwala na skrócenie czasu potrzebnego do otrzymania wyników badań medycznych czy uzyskanie pełnej trójwymiarowej informacji. Często postęp w medycynie dokonuje się dzięki ludziom, którzy przeszli wcześniej trening w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych. Najlepszym chyba tego przykładem jest Allan Cormack, który za wynalezienie tomografii komputerowej (ang: CAT) otrzymał w 1979 roku Nagrodę Nobla z medycyny.

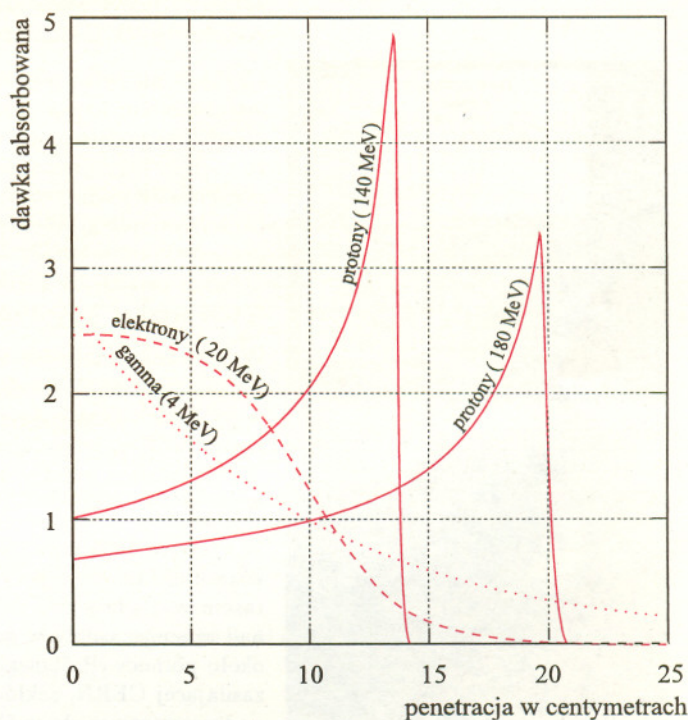
## Rentgenoterapia

Jest to najczęściej stosowana i jednocześnie najstarsza metoda terapeutyczna oparta na wykorzystaniu wrażliwości DNA na promieniowanie jonizujące. W napromieniowanych komórkach niszczone są wiązania chemiczne, co prowadzi do utraty informacji niezbędnej do ich funkcjonowania, przy czym chodzi o jak najmniejsze naruszenie otaczającej je zdrowej tkanki. Emiterem promieniowania są obecnie najczęściej miniaturowe, liniowe akceleratory elektronów, które zastąpiły lub zastępują używane wcześniej tzw. bomby kobaltowe, gdyż są skuteczniejsze, wygodniejsze i bezpieczniejsze, a przy uwzględnieniu pełnych kosztów eksploatacji również konkurencyjne ekonomicznie. Wiązka elektronów o energii kilku lub kilkunastu MeV (czyli mniej więcej tysiąc razy większej od uzyskiwanej w „domowych akceleratorach liniowych” – kineskopach) jest zamieniana na wiązkę promieniowania X w tarczy wykonanej z wolframu. Mniej więcej w co dziesiątym zabiegu używa się wiązki elektronów, głównie do „płytkich” napromieniowań. Energia wiązki jest wtedy dobierana odpowiednio do wymaganej głębokości penetracji wzrastającej w tempie  $0,5 \text{ cm/MeV}$ . Należy dodać, że przy ustalaniu odpowiedniej dawki promieniowania wykorzystywane są symulacyjne programy komputerowe opisujące w sposób statystyczny bardzo skomplikowany proces oddziaływania fotonów i elektronów z materią.

Pierwotne wersje takich programów zostały napisane przez fizyków cząstek elementarnych.

## Hadronoterapia

Produktem ubocznym badań nad strukturą materii jest głębokie zrozumienie oddziaływania promieniowania jonizującego z materią. Energia powszechnie używanych wiązek promieni X i elektronów jest ograniczona do około 20 MeV, powyżej której znacząca jej część tracona jest poprzez wywoływanie tak zwanych kaskad elektronowo-fotonowych, co zamiast poprawiać możliwości terapeutyczne, wzmagając niepożądane skutki uboczne w zdrowych tkankach. Efektywna głębokość penetracji elektronów jest przez to ograniczona do kilku centymetrów (krzywa przerywana na rysunku), a wielkość dawki wywołanej promieniami X wykazuje niepożądaną cechę wykładniczego zmniejszania się z głębokością penetracji (krzywa kropkowana na rysunku).



Poglądowe przedstawienie zależności zaabsorbowanej dawki od głębokości penetracji różnych rodzajów promieniowania stosowanych w terapii (w nawiasach podana energia kinetyczna wiązki). Jako przybliżenie przenikalności tkanki przyjęto wodę. Poła powierzchni pod krzywymi (w obrębie rysunku) są równe.

Zamiast tego chcielibyśmy, aby jonizacja miała maksimum dla pewnej, łatwo regulowanej głębokości penetracji. Okazuje się, że tak oddziałują z materią naładowane hadrony, na przykład protony (krzywe ciągłe na rysunku), lub jądra atomowe (które są zbudowane z hadronów). Stąd też nazwa – hadronoterapia. Widoczne na rysunku maksimum (tzw. maksimum Bragga) jest związane ze wzrostem

strat jonizacyjnych przy zmniejszaniu się prędkości ciężkiej cząstki naładowanej. W ten sposób największy przekaz energii następuje tuż przed zatrzymaniem się hadronu (spowolnieniem do prędkości termicznych). Zasięg ten jest regulowany początkową energią, niestety, relatywnie dużą.

W ostatnich latach notuje się ożywiony rozwój hadronoterapii neutronowej, protonowej i jonowej. W stadium eksperymentalnym znajduje się

hadronoterapia przy użyciu naładowanych mezonów  $\pi$ . Pod koniec listopada 1995 roku we współpracującym z CERN-em Europejskim Instytucie Naukowym we francuskiej miejscowości Archamps (kilkanaście kilometrów od Genewy) odbyła się interdyscyplinarna konferencja naukowa w całości poświęcona hadronoterapii. Rozwój tego obiecującego narzędzia medycyny XXI wieku jest ściśle związany z postępem fizyki akceleratorów hadronowych, dziedziny, w której CERN ma od lat rolę wiodącą.

## Pociąg do Paryża odjedzie z toru...

Jak nazywa się urządzenie o długości 27 km, którego budowa kosztowała ponad 1 mld dolarów i które może zarejestrować odjazd pociągu ze stacji w Genewie? Oczywiście – LEP – wielki kolajder elektronowo-pozytonowy pracujący w laboratorium CERN w Genewie.

LEP jest jednym z najpotężniejszych akceleratorów cząstek elementarnych. Usytuowany w tunelu kołowym o długości 27 km ponad 100 m pod powierzchnią ziemi na granicy szwajcarsko-francuskiej, służy do zderzania elektronów i pozytonów przyspieszonych do olbrzymich energii. Z analizy tych zderzeń międzynarodowe zespoły fizyków mają nadzieję uzyskać odpowiedź na zagadkę budowy i oddziaływań podstawowych składników materii.

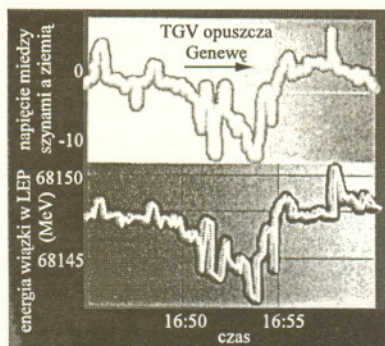
LEP jest nie tylko potężnym, ale, jak się okazuje, także niezwykle czułym instrumentem naukowym. Przy jego konstrukcji nie podejrzewano, że tak wiele czynników będzie miało wpływ na jego pracę. W 1991 roku naukowcy stwierdzili, że energia przyspieszanych elektronów i pozytonów zmienia się nieznacznie w rytm przyływów i odpływów. Wytlumaczenie tych zmian okazało się zaskakujące. Oddziaływanie grawitacyjne Księżyca i Słońca, powodujące przyływy i odpływy oceanów, powoduje też deformacje skorupy ziemskiej, co z kolei prowadzi do zmian długości pierścienia LEP-u o 200  $\mu\text{m}$  i stąd zmiany energii przyspieszanych cząstek (patrz artykuł J. Królikowskiego w *Delcie* 6/1994).

W 1993 roku zaobserwowano ponownie zmiany energii, ale zgodne z porami roku. I tym razem wytłumaczenie zmian okazało się interesujące. Śniegi topniejące w pobliskich górach Jury wypełniając Jezioro Genewskie naciskają na ziemię z jednej strony LEP-u, powodując deformacje pierścienia. Ta hipoteza została potwierdzona doświadczalnie przez pomiar energii wiązek w trakcie kontrolnego obniżenia poziomu wody w jeziorze.

W czerwcu 1995 roku, w trakcie przygotowań do podwyższenia energii przyspieszanych wiązek elektronowo-pozytonowych, zauważono znowu fluktuacje energii, ale tym razem wyglądały one na zupełnie przypadkowe. Zaczynały się około godziny 4 nad ranem, nasilały w godzinach szczytu rannego i popołudniowego, by zaniknąć około północy. Próbowano to tłumaczyć niestabilnością sieci energetycznej zasilającej CERN, zakłóceniami wywoływanymi włączaniem się elektrycznych podgrzewaczy wody w Genewie w godzinach rannych itp., ale bezskutecznie. Tiziano Camporesi, odpowiedzialny za pracę LEP-u, zaoferował butelkę szampana temu, kto wytłumaczy zagadkowe zmiany energii. Butelkę wygrał pracownik szwajcarskich linii energetycznych sugerując, iż zmiany te wywoływane są przez linię kolejową przebiegającą w odległości 1 km od CERN-u, po której kursują superszybkie pociągi TGV na trasie Genewa-Paryż. Prąd zasilający TGV biegnie po liniach napowietrznych i wraca do elektrowni po szynach. Ale szyny połączone są z ziemią i część prądu „błądzi” w ziemi. Te „błądzące” prądy szukają dobrych przewodników w ziemi, a takim bardzo dobrym przewodnikiem jest rura aluminiowa, w której krążą przyspieszane cząstki. Równoczesne pomiary energii akceleratora i napięcia między torami i ziemią, przeprowadzone w listopadzie 1995 roku, potwierdziły tę hipotezę. Na rysunku przedstawione są wyniki tych pomiarów.

Niewiele można zrobić, żeby usunąć te zakłócenia w pracy LEP-u. Naukowcy muszą nauczyć się z nimi żyć. Można jedynie powiedzieć, że za pomocą LEP-u mogą sprawdzić, czy pociągi do Paryża odjeżdżają punktualnie.

Jan KALINOWSKI



We wrześniu 1995 roku zespół doświadczalny z CERN-u, kierowany przez Waltera Oelerta, osiągnął po raz pierwszy syntezę atomów antymaterii – antywodoru. Dziewięć atomów antywodoru zostało wyprodukowanych w ciągu trzech tygodni w wyniku zderzeń antyprotonów z atomami ksenonu. Każdy z nich żył jedynie około  $4 \cdot 10^{-8}$  sekundy i po przelecaniu z prędkością bliską prędkości światła drogi 10 m przestał istnieć na skutek anihilacji ze zwykłą materią. Proces anihilacji dostarczył sygnału świadczącego niezbicie o tym, że atom antywodoru został wcześniej wyprodukowany.

Zwykła materia składa się z atomów zbudowanych z jąder (w skład których wchodzi protony i neutrony) i okrążających je elektronów. Najprostszy atom materii – wodoru – składa się z jednego protonu i jednego elektronu. Przepis na zrobienie antywodoru jest prosty: trzeba wziąć antyproton i na orbicie wokół niego umieścić antyelektron. Ale, jak czasem bywa z przepisami kulinarnymi, znać przepis, a umieć go wykonać, to dwie różne rzeczy. Antycząstki nie istnieją w stanie naturalnym. Należy je więc wyprodukować w laboratorium, przy czym kłopot z ich „obróbką” polega na tym, że bardzo chętnie anihilują ze zwykłą materią.

Eksperyment w CERN-ie został wykonany za pomocą pierścienia antyprotonów niskiej energii (LEAR) – przepuszczano wiązkę antyprotonów przez gazowy ksenon. Co jakiś czas w wyniku zderzeń produkowana jest para elektron-antyelektron. Jeszcze rzadziej zdarza się, aby prędkość antyelektronu była na tyle zbliżona do prędkości antyprotonu, że możliwe jest utworzenie antywodoru.

Trzy czwarte Wszechświata składa się z wodoru. Gdyby okazało się, że własności antywodoru chociaż nieznacznie różnią się od własności wodoru, to fizycy musieliby zrewidować lub odrzucić ustalone poglądy o symetrii materii i antymaterii. Historyczna praca Newtona wzięła się podobno z próby znalezienia odpowiedzi na pytanie, dlaczego jabłko spada na ziemię. Można zadać pytanie: czy „antyjabłko” tak samo spada, jak jabłko? Sądźmy, że tak, ale pogląd ten powinien być zweryfikowany doświadczalnie.

Badania własności antywodoru zostaną przeprowadzone z olbrzymią precyzją – rzędu  $10^{-15}$ . Nawet tak małe odstępstwa od symetrii materii i antymaterii miałyby olbrzymie konsekwencje dla naszego zrozumienia budowy Wszechświata. W nowych doświadczeniach planuje się złapanie antywodoru w pułapki na okres kilku tygodni, a nawet miesięcy i lat, co pozwoli na przeprowadzenie tak dokładnych pomiarów.

Jan KALINOWSKI



## Zadania

Redaguje Krzysztof OLESZKIEWICZ

M 774. Cząstka błądzi losowo po wierzchołkach trójkąta  $ABC$ . Błądzenie zaczyna się w punkcie  $A$  i odtąd w każdym ruchu cząstka z prawdopodobieństwem  $\frac{1}{2}$  przemieszcza się do jednego z pozostałych wierzchołków. Poszczególne ruchy są niezależne. Niech  $a_n$  oznacza prawdopodobieństwo tego, że po  $n$  ruchach cząstka będzie w punkcie  $A$ . Udowodnić istnienie granicy  $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$  i obliczyć ją.

Rozwiązanie na str. 6

M 775. Czy istnieje różna od stałej parzystą funkcją ciągłą  $\varphi : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ , nierosnąca na  $[0, \infty)$  i spełniająca nierówność

$$\varphi(x+y) + \varphi(x-y) \leq 2\varphi(x)\varphi(y)$$

dla dowolnych  $x, y$  rzeczywistych?

Rozwiązanie na str. 9

M 776. Czy istnieje różna od stałej parzystą funkcją ciągłą  $\varphi : \mathbb{R} \rightarrow [-1, 1]$ , nierosnąca na  $[0, \infty)$  i spełniająca warunki:

$$\varphi(0) = 1 \quad \text{oraz} \quad \varphi(x+y) + \varphi(x-y) \leq 2\varphi(x)\varphi(y)$$

dla dowolnych  $x, y$  rzeczywistych?

Rozwiązanie na str. 9

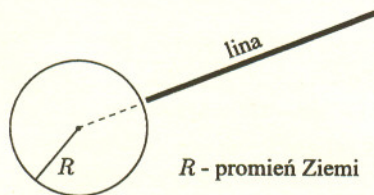
Redaguje Krzysztof REJMER

F 429. Autor powieści science-fiction R.A. Heinlein wymyślił satelitę „skyhook”, który był długą liną umieszczoną w płaszczyźnie równika wzdłuż promienia Ziemi i poruszającą się w taki sposób, że lina była „zawieszona” ponad ustalonym punktem powierzchni Ziemi. Dolny koniec liny swobodnie zwisał tuż przy powierzchni planety. Zakładając, że lina jest dostatecznie wytrzymała, a jej liniowa gęstość  $\rho$  jest stała, znaleźć długość liny.

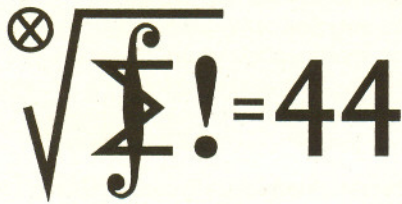
Rozwiązanie na str. 5

F 430. W zamkniętym cylindrze o wysokości  $H$ , wypełnionym nieściśliwą cieczą o gęstości  $\rho$ , na głębokości  $h$  znajduje się pęcherzyk gazu. Cylinder jest umieszczony w jednorodnym polu grawitacyjnym, a temperatura układu jest stała. Jak zmieni się ciśnienie cieczy, jeśli pęcherzyk zostanie uwolniony i znajdzie się w górnej części cylindra?

Rozwiązanie na str. 5



R - promień Ziemi



Termin nadsyłania rozwiązań:  
30 IX 1996

**Skrót regulaminu**

Każdy może nadsyłać rozwiązania zadań z numeru  $n$  w terminie do końca miesiąca  $n + 3$ . Szkice rozwiązań zamieszczamy w numerze  $n + 4$ . Można nadsyłać rozwiązania czterech, trzech, dwóch lub jednego zadania (każde na oddzielnej kartce), można to robić co miesiąc lub z dowolnymi przerwami. Rozwiązania zadań z matematyki i z fizyki należy przysyłać w oddzielnych kopertach, umieszczając na kopercie dopisek: **Klub 44 M** lub **Klub 44 F**. Oceniamy zadania w skali od 0 do 1 z dokładnością do 0,1. Ocenę mnożymy przez współczynnik trudności danego zadania:  $WT = 4 - 3S/N$ , gdzie  $S$  oznacza sumę ocen za rozwiązania tego zadania, a  $N$  - liczbę osób, które nadesłały rozwiązanie choćby jednego zadania z danego numeru w danej konkurencji (**M** lub **F**) - i tyle punktów otrzymuje nadsyłający. Po zgromadzeniu 44 punktów, w dowolnym czasie i w którejkolwiek z dwóch konkurencji (**M** lub **F**), zostaje on członkiem **Klubu 44**, a nadwyżka punktów jest zaliczana do ponownego udziału. Trzykrotne członkostwo - to tytuł **Weterana**. Szczegółowy regulamin został wydrukowany w numerze 2/1996.

**Zadania z matematyki nr 323, 324**

Redaguje Marcin E. KUCZMA

**323.** Wyznaczyć wszystkie potęgi liczby 2 (o wykładniku całkowitym dodatnim), których zapis w siódmkowym układzie pozycyjnym składa się z samych jedynek.

Zadanie **324** zaproponował pan Jan Ciach z Ostrowca Świętokrzyskiego.

**Rozwiązania zadań z numeru 2/1996**

Przypominamy treść zadań:

**315.** Dana jest liczba naturalna  $n \geq 2$ . Ile jest permutacji  $\pi: \{1, \dots, n\} \rightarrow \{1, \dots, n\}$ , dla których nierówność  $\pi(k) \geq k$  jest spełniona przez dokładnie dwie liczby  $k \in \{1, \dots, n\}$ ?

**315.** Permutacja rozpada się na cykle. W każdym cyklu najmniejsza liczba  $k$  spełnia nierówność  $\pi(k) \geq k$ . Jeśli więc permutacja  $\pi$  ma rozważaną w zadaniu własność, to jest cykliczna lub rozkłada się na dwa cykle.

Przypadek I. Są dokładnie dwa cykle. W każdym cyklu wszystkie elementy z wyjątkiem najmniejszego muszą spełniać nierówność  $\pi(k) < k$ ; jeśli więc  $k_1 < \dots < k_r$  są wszystkimi elementami cyklu, to działanie permutacji  $\pi$  w jego obrębie jest już jednoznacznie wyznaczone - mianowicie wygląda tak:  $k_r \rightarrow k_{r-1} \rightarrow \dots \rightarrow k_1 \rightarrow k_r$ . Zatem liczba badanych permutacji o dwóch cyklach jest równa liczbie podziałów zbioru  $n$ -elementowego na dwa (nierozróżnialne) niepuste podzbiory, czyli wynosi  $2^{n-1} - 1$ .

Przypadek II. Permutacja  $\pi$  jest cykliczna. Załóżmy, że  $n \geq 3$ . Niech  $m$  będzie najmniejszą liczbą  $i$ , dla której  $\pi^i(n) \neq n - i$  (symbol  $\pi^i$  oznacza  $i$ -krotne złożenie  $\pi \circ \dots \circ \pi$ ). Zatem permutacja  $\pi$  działa tak:

$$n \rightarrow (n-1) \rightarrow (n-2) \rightarrow \dots \rightarrow (n-(m-1)) \rightarrow \\ \rightarrow u_1 \rightarrow \dots \rightarrow u_r \rightarrow (n-m) \rightarrow v_1 \rightarrow \dots \rightarrow v_s \rightarrow n,$$

przy czym  $u_1 \neq n - m$  (ciąg  $u_1, \dots, u_r$  jest więc niepusty); liczba  $m$  spełnia oszacowania  $1 \leq m \leq n - 2$ . Dwoma elementami  $k$  spełniającymi nierówność  $\pi(k) \geq k$  są:  $k' = u_r$  oraz  $k'' = v_s$  (ciąg  $v_1, \dots, v_s$  może być pusty, wówczas  $k'' = n - m$ ). Pozostałe elementy muszą spełniać nierówność  $\pi(k) < k$ ; stąd wynika, że  $u_1 > \dots > u_r$  oraz  $v_1 > \dots > v_s$ . Dla ustalonego  $m$  permutacja  $\pi$  jest więc jednoznacznie wyznaczona przez wybór niepustego podzbioru  $U = \{u_1, \dots, u_r\}$  zbioru  $\{1, 2, \dots, n-m-1\}$  (pozostałe elementy utworzą zbiór  $\{v_1, \dots, v_s\}$ , który może być pusty). Mamy  $2^{n-m-1} - 1$  możliwości wyboru zbioru  $U$ . Zatem liczba permutacji cyklicznych o rozważanej własności wynosi

$$\sum_{m=1}^{n-2} (2^{n-m-1} - 1) = 2^{n-1} - n.$$

**324.** Punkt  $G$  jest środkiem ciężkości czworościanu  $ABCD$  wpisanego w sferę o środku  $O$  i promieniu  $R$ . Proste  $AG, BG, CG, DG$  przecinają tę sferę odpowiednio w punktach  $K, L, M, N$  (różnych od  $A, B, C, D$ ). Dowieść, że

$$\frac{1}{|GK|^2} + \frac{1}{|GL|^2} + \frac{1}{|GM|^2} + \frac{1}{|GN|^2} \geq \frac{4}{R^2}.$$

**316.** Wyznaczyć wszystkie funkcje  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  spełniające równanie funkcyjne

$$xf(x) - yf(y) = (x - y)f(x + y).$$

(Gdy  $n = 2$ , wówczas jedyna cykliczna permutacja zbioru  $\{1, 2\}$  nie spełnia postawionego warunku, więc uzyskany wynik  $2^{2-1} - 2 = 0$  jest i tym razem prawidłowy.)

Uwzględniając wyniki obliczeń w przypadkach I i II otrzymujemy odpowiedź: liczba permutacji  $\pi$ , o które chodzi w zadaniu, jest równa

$$(2^{n-1} - 1) + (2^{n-1} - n) = 2^n - (n + 1).$$

**316.** Załóżmy, że funkcja  $f$  spełnia podane równanie i przyjmijmy  $a = f(1) - f(0), b = f(0)$ . Łatwo sprawdzić, że wówczas funkcja

$$g(x) = f(x) - (ax + b)$$

też spełnia analogiczne równanie

$$(1) \quad xg(x) - yg(y) = (x - y)g(x + y),$$

wraz z warunkiem  $g(0) = g(1) = 0$ .

Kładąc w (1)  $y = -x$  stwierdzamy, że  $g(x) + g(-x) = 0$ : funkcja  $g$  jest nieparzysta. Zatem funkcja  $h(x) = xg(x)$  jest parzysta. Równanie (1), pomnożone stronami przez  $(x + y)$ , przybiera postać

$$(2) \quad (x + y)(h(x) - h(y)) = (x - y)h(x + y).$$

Podstawiamy w (2)  $y = x - 1$ :

$$(3) \quad (2x - 1)(h(x) - h(x - 1)) = h(2x - 1).$$

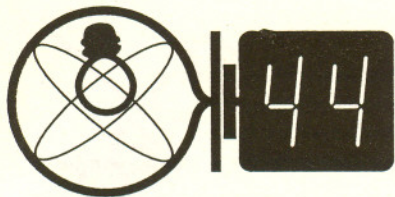
Następnie podstawiamy w (2)  $y = 1 - x$ :

$$(4) \quad h(x) - h(1 - x) = (2x - 1)h(1) = 0.$$

Ale  $h(1 - x) = h(x - 1)$ , wobec parzystości funkcji  $h$ . Ze związków (3) i (4) wynika więc, że  $h(2x - 1) = 0$ . Wobec dowolności  $x$ , funkcja  $h$  jest tożsamościowo równa zeru. Zatem także  $g$  jest funkcją tożsamościowo równą zeru, i ostatecznie

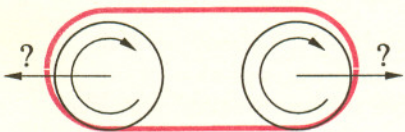
$$f(x) = ax + b.$$

Proste sprawdzenie wykazuje, że każda funkcja takiej postaci spełnia podane równanie.



221. Pętlę ze sznura o wytrzymałości  $W$  i masie na jednostkę długości  $\rho$  nałożono na dwa walce o promieniu  $r$  obracające się z prędkością kątową  $\omega$  (rys. 1). Jaka jest maksymalna wartość siły odsuwającej osie walców, przy której pętla nie ulegnie zerwaniu? Przyjąć, że siła oddziaływania między sznurem a walcami nie ma składowej stycznej (nie ma więc żadnego przekazu energii), a także nie występuje poślizg.

222. Dwie cienkie powłoki sferyczne o promieniach  $r_1$  i  $r_2$  są ustawione koncentrycznie (pierwsza wewnątrz drugiej) i naładowane równomiernie rozłożonymi ładunkami  $Q_1$  i  $Q_2$ , a w środku sfer znajduje się punktowy ładunek  $q$ . Jakie związki muszą spełniać  $q$ ,  $Q_1$  i  $Q_2$ , aby powłoki były mechanicznie stabilne, tzn. aby nie podlegały siłom ściskającym ani rozciągającym?



Rys. 1

Rozwiązania zadań z fizyki z numeru 2/1996

Przypominamy treść zadań

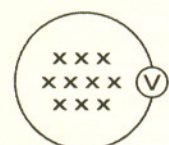
213. Aby zwiększyć wysokość osiąganą przez zabawkę „jo-jo”, grający może wykonywać ruchy pionowe ręką trzymającą górny koniec nitki.

a) Załóżmy, że w czasie przejścia „jo-jo” przez dolne położenie (gdy nitka jest całkowicie rozwinięta) górny koniec nitki jest nieruchomy i w kolejnych przejściach znajduje się na jednakowym poziomie. Czy można tak nim poruszać w czasie wspinania się i opadania zabawki, aby ją rozpędzić, tzn. aby zwiększyć prędkość kątową w dolnym położeniu? Jeśli tak, to opisać prawidłową metodę.

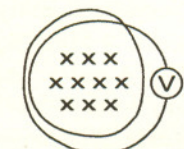
b) Opisać najskuteczniejszą metodę rozpędzenia zabawki, jeśli w jej dolnym położeniu górny koniec nitki nie musi być nieruchomy.

214. W ograniczonym obszarze przestrzeni występuje zmienne pole magnetyczne wytworzone przez zewnętrzne źródło, tak że woltomierz włączony w obwód opasujący ten obszar (zob. rys. 2; na rysunkach pole zostało oznaczone krzyżykami) wskazuje przez pewien czas 1 V. Jakie napięcie wskaże w takiej sytuacji:

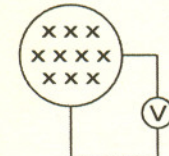
a) woltomierz włączony w podwójną pętlę (rys. 3), b) woltomierz dołączony do pętli z drutu oporowego według rysunku 4, c) woltomierz dołączony do pętli z drutu oporowego według rysunku 5, d) woltomierz dołączony do pętli z drutu nadprzewodzącego według rysunku 4?



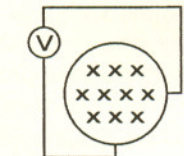
Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5

213. a) Zbadajmy ruch zabawki najpierw w górę, a potem w dół w nieinercyjnym układzie odniesienia związanym z rozwiniętą częścią nici. Jeśli przyspieszenie układu jest równe  $a$  (dodatni zwrot w górę), to siła bezwładności  $ma$  dodaje się do siły ciężkości, a równanie ruchu obrotowego względem chwilowej osi obrotu  $A$  (rys. 6) ma postać

$$(1) \quad I\varepsilon = -m(g+a)r,$$

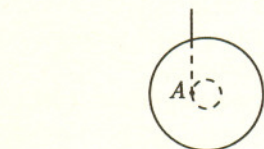
gdzie  $I$  – moment bezwładności zestawu krążków względem osi  $A$ ,  $r$  – promień wewnętrznej osi,  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$  – przyspieszenie kątowe (ujemne, jeśli początkową prędkość kątową uważamy za dodatnią). Po scałkowaniu względem czasu i wprowadzeniu parametru  $R = I/mr$  otrzymujemy

$$(2) \quad R\omega = -gt - v + \text{const},$$

gdzie  $v$  – prędkość układu. W chwili początkowej – zgodnie z przyjętym założeniem – ta prędkość jest równa zeru, a podstawiając  $t = 0$ ,  $\omega = \omega_0$  mamy  $\text{const} = R\omega_0$ . Jeśli otrzymane równanie scałkujemy jeszcze raz, to dla całego ruchu w górę i w dół mamy  $\int v dt = 0$  (z założenia o jednakowym poziomie), a także  $\int \omega dt = 0$  (tyle samo obrotów w górę, co w dół). Ze wzoru  $0 = -\frac{1}{2}gt^2 + R\omega_0 t$  znajdujemy  $t = 2R\omega_0/g$ , a powracając do równania (2) widzimy, że końcowa prędkość kątowa jest równa  $-\omega_0$  niezależnie od przebiegu funkcji  $v(t)$ . Zatem w ten sposób nie można rozpędzić zabawki.

b) Aby przekazać energię układowi, trzeba poruszając nitką wykonać dodatnią pracę. Należy więc przesuwając nitkę do góry wtedy, gdy jej siła napięcia jest duża (tzn. w dolnym położeniu, bo tam następuje zwrot ruchu i związane z nim szarpnięcie), a do dołu w innych fazach ruchu. Ponieważ szarpnięcie nici przez „jo-jo” trwa krótko, więc optymalnie jest wykonać wtedy szybki ruch nitką do góry, a powracać w dół można wolniej.

214. W przypadku a) woltomierz wskaże 2 V, gdyż podwójną pętlę można uznać za szeregowo połączenie dwóch pętli (zasada transformatora). W przypadkach b) i c) natężenie prądu płynącego w drucie oporowym wynosi  $I = (1 \text{ V})/R$  (gdzie  $R$  – opór pętli). Rozważmy obwód z rysunku 4 składający się z gałęzi zawierającej woltomierz oraz ćwiartki pętli oporowej; ponieważ obwód ten nie obejmuje pola, więc krążenie pola elektrycznego wzdłuż niego jest równe zeru, czyli napięcie na woltomierzu równa się napięciu na ćwiartce pętli, równemu  $I \cdot (1/4)R = 0,25 \text{ V}$ . W podobny sposób na rysunku 5 otrzymujemy 0,75 V (uwaga – nie ma tu sprzeczności, gdyż ze względu na wirowe pole elektryczne nie można mówić o „różnicy potencjałów” między punktami dołączenia woltomierzy). W przypadku d) pole własne pętli nadprzewodzącej równoważy zmiany pola zewnętrznego, tak że całkowity strumień przez pętlę pozostaje stały, a SEM indukcji wynosi zero. Linie pola samej pętli są liniami zamkniętymi, więc muszą „powracać” na zewnątrz pętli wywołując indukcję w obwodzie z woltomierzem. Jeśli przyjąć, że 1/4 strumienia powraca wewnątrz tego obwodu (co zależy, oczywiście, od ułożenia przewodów i jest ściśle tylko wtedy, gdy prawy i dolny odcinek są odsunięte daleko od pętli), to otrzymujemy znów 0,25 V.



Rys. 6

Czołówka ligi zadaniowej Klub 44 F

po uwzględnieniu ocen rozwiązań zadań 205 (WT=2,98) i 206 (WT=2,50) z numeru 10/1995

Aleksander Surma	- Myszków	33,64
Przemysław Gadziński	- Środa Śl.	26,68
Jarosław Łazuka	- Warszawa	26,39
Przemysław Gworys	- Częstochowa	25,49

Panu A. Surmie doliczono punkty za zadanie 204, którego rozwiązanie nadeszło z niezawinionym przez niego opóźnieniem.

Czołówka ligi zadaniowej Klub 44 M

po uwzględnieniu ocen rozwiązań zadań 305 (WT=3,84) i 306 (WT=1,00) z numeru 9/1995

Jan Ciach	- Ostrowiec Św.	42,20
Adam Czornik	- Bytom	41,29
Piotr Lipiński	- Radom	39,33
Henryk Kornacki	- Augustów	36,45
Krzysztof Zapisek	- Warszawa	36,40
Jerzy Witkowski	- Wodzisław Śl.	36,23



# Akceleratory CERN-u

Maciej GÓRSKI

Europejskie Laboratorium Fizyki Wysokich Energii (CERN) dysponuje chyba najbardziej rozbudowanym na świecie kompleksem akceleratorów cząstek elementarnych. Składa się ono z następujących głównych elementów uszeregowanych w kolejności rosnącej energii:

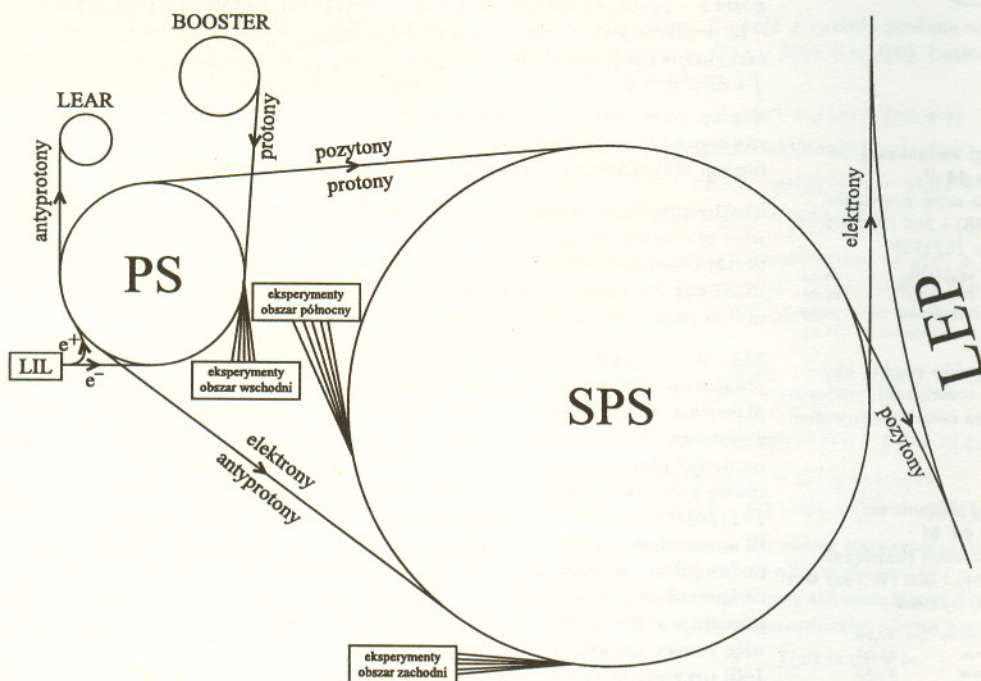
- LEAR – Niskoenergetyczny Pierścień Akumulujący Antyprotony – dostarcza je do kilku eksperymentów;
- LIL – Liniowy Wtryskiwacz dla LEP-u – akcelerator liniowy dostarczający wiązki elektronów i pozytonów o energii około 500 MeV dla LEP-u poprzez akceleratory PS i SPS;
- BOOSTER – niewielki akcelerator kołowy przyspieszający protony oraz ciężkie jony do około 1 GeV i przekazujący je potem do PS oraz dostarczający wiązki do eksperymentów badających produkcję krótkożyjących izotopów;
- PS – (Synchrontron Protonowy) – akcelerator kołowy o średnicy około 100 m, dostarczający wiązki protonów i ciężkich jonów o energiach do 28 GeV na tarcze eksperymentalne lub przekazujący je do następnego akceleratora SPS;
- SPS (Superwielki Synchrontron Protonowy) – również kołowy, o średnicy około 2 km, maksymalna energia wiązki protonowej – 450 GeV;

- LEP (Wielki Zderzacz Elektronów i Pozytonów) – pierścień o średnicy około 8 km, w którym krążą i zderzają się wiązki elektronów i pozytonów o energiach (w chwili obecnej) do 70 GeV.

Wszystkie te akceleratory są połączone liniami przesyłowymi, które umożliwiają przekazywanie cząstek z jednego etapu przyspieszania do drugiego, jak pokazano na schematycznym rysunku.

Prześledźmy dla przykładu, co dzieje się z protonem, który ma trafić w tarczę eksperymentalną. Na początku wytwarzany jest proton w źródle jonów. Proton ten jest przyspieszany w małym akceleratorze liniowym do energii około 50 MeV, a następnie przesyłany do BOOSTERA, gdzie uzyskuje energię 1 GeV. Następny krok to przyspieszenie do 24 GeV w akceleratorze PS, przekazanie do SPS, ostateczne przyspieszenie do 450 GeV i skierowanie na tarczę eksperymentalną. Cały ten cykl trwa około 14 sekund. Jak widzimy, aby można było uzyskać wiązkę cząstek, musi jednocześnie pracować wiele różnych akceleratorów. Podobną drogę odbywają elektrony i pozytony, które mają trafić do LEP-u, z tym że do PS przesyłane są z LIL, a z SPS po osiągnięciu 22 GeV – do LEP-u.

Obecnie trwają prace nad powiększeniem energii wiązek w LEP-ie do około 90 GeV oraz zatwierdzony jest program budowy w tunelu LEP-u największego akceleratora na świecie – LHC, w którym mają zderzać się wiązki protonów o energiach około 8000 GeV.



Kompleks akceleratorów CERN-u (rysunek nie zachowuje skali między akceleratorami)

## Twistory (opowieść matematyka)

Uczestniczyłem w konferencji dotyczącej spinorów i twistorów, w Wiedniu. Pewnego dnia opuściłem pierwszy wykład i przyszedłem na drugi; czekałem pod salą wykładową, bo wykład jeszcze trwał. Na korytarzu była pani przygotowująca herbatę dla uczestników i jakiś człowiek pijący herbatę.

„Więc nie tylko ja wybrałem herbatę zamiast tego wykładu” – pomyślałem i podszedłem do niego. Ten, ujrawszy mnie, zapytał:

– Przepraszam, czy może mi pan powiedzieć, co to jest twistor?

Zdziwiłem się, ale pomyślałem „pewnie nie zajmuje się teorią względności”. Zacząłem mu tłumaczyć, rozpoczynając od wiązek spinorowych, ale on zrobił głupią minę, więc spytałem:

– Zna się pan na spinorach?

– Nie.

– Dobrze, spróbuję to wyjaśnić z punktu widzenia struktur prawie zespolonych. Rozważmy zorientowaną rozmaitość parzystego wymiaru. Słyszał pan o strukturach prawie zespolonych?

– Nie.

„Aha, to nie jest geometra” – pomyślałem.

– Hm. Dobrze, właściwie to jest algebra liniowa. Rozważmy przestrzeń wektorową nad ciałem liczb rzeczywistych. Chcemy na niej wprowadzić strukturę przestrzeni zespolonej...

Facet zrobił głupią minę, ale nie mogę przecież zapytać, czy wie, co to jest przestrzeń wektorowa! Zacząłem się zastanawiać, jaki matematyk lub fizyk nie wiedziałby, co to jest przestrzeń wektorowa. Może lepiej zacząć prościej.

– Dobrze, rozważmy płaszczyznę euklidesową. Jest to dwuwymiarowa przestrzeń rzeczywista i chcemy zamienić ją w jednowymiarową przestrzeń zespoloną. Jeśli mamy współrzędne kartezjańskie, to jest to tak samo, jakby zamieniać parę liczb rzeczywistych na liczbę zespoloną.

Myszę: „to już musi być zrozumiałe, ale jak wyjaśnić z tego punktu, co to jest twistor?” Facet znowu ma dziwną minę, więc pytam już bez ogródek:

– Co pan wie o liczbach zespolonych?

– No, coś sobie przypominam, ale tak dokładnie, to nie wiem, co to jest.

Teraz już osłupiałem i spytałem wprost:

– Jaką właściwie dziedziną pan się zajmuje?

– Jestem dziennikarzem. Przechodziłem ulicą i zobaczyłem ogłoszenie o konferencji z twistorów, zaintrygowała mnie nazwa, więc postanowiłem się dowiedzieć, co to takiego.

## Nagroda Chauveneta

*Mathematical Association of America* przyznaje od 1925 roku specjalną nagrodę za artykuł matematyczny. Wyróżniane są najciekawsze artykuły „dostępne członkom towarzystwa”, nie chodzi tu o specjalistyczne prace naukowe. Przyznawana jest w danym roku co najwyżej jedna nagroda. Zdarzało się, że nikt nie zostawał nagrodzony; np. przed drugą wojną światową premiiowano tylko pięć prac. Nagroda nosi imię amerykańskiego matematyka, Williama Chauveneta (1820–1870). Mogą do niej kandydować jedynie artykuły napisane w języku angielskim.

Wśród laureatów są tacy matematycy, jak medalista Fieldsa – Steve Smale (1988), a także między innymi Gordon T. Whyburn (1938), Saunders MacLane (1941), Paul Halmos (1947), Jack K. Hale i Joseph P. LaSalle (1965), Peter D. Lax (1965). Najczęściej nagradzane są prace opublikowane w *The American Mathematical Monthly* i *Bulletin of the American Mathematical Society*.

Tylko jedną osobę nagrodzono dwukrotnie – był to Mark Kac! Kac (1914–1984) był uczniem Hugona Steinhausa, studiował na uniwersytecie we Lwowie i tam w roku 1937 obronił pracę doktorską. W 1938 roku wyjechał z Polski do USA, jak się okazało, na stałe. Najważniejsze rezultaty uzyskał w rachunku prawdopodobieństwa i jego zastosowaniach w fizyce.

Nagrodę Chauveneta otrzymał Kac w latach 1950 i 1968. Nagrodzony w roku 1968 artykuł „Czy można usłyszeć kształt bębna?” został przetłumaczony na język polski i opublikowany w *Wiadomościach Matematycznych* tom 13 (1972).

## Kwadrat magiczny

Idea konstrukcji kwadratu magicznego znana jest chyba wszystkim nie stroniącym od matematyki czy od zagadek umysłowych. Oto bardzo stare zadanie, związane z takimi kwadratami, które ogłosiła ponad 100 lat temu pewna wielka amerykańska firma, za rozwiązanie oferując liczne cenne nagrody:

Na polach kwadratu  $3 \times 3$  należy umieścić różne cyfry (bez zera), przy czym te same cyfry nie mogą się pojawić w różnych kwadratach; ponadto na środkowym polu już jest postawiona piątka. Pola należy wypełnić w ten sposób, by suma liczb zawartych na polach położonych na jednej prostej (pionowej, poziomej, ukośnej) w maksymalnej liczbie przypadków równała się piętnaście.

	5	

Wydawałoby się – nic prostszego. Tymczasem zadania nie rozwiązał poprawnie nikt! Dopiero kilka lat później twórca wielu słynnych łamigłówek, Anglik Henry Ernest Dudeney, podał rozwiązanie problemu. Rzecz w tym, że maksymalna liczba prostych spełniających warunki zadania to dziesięć, nie zaś, jak można by przypuszczać, osiem...

Jak sobie z problemem poradzić, napiszemy za miesiąc. Przez ten czas życzymy miłej zabawy!