



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

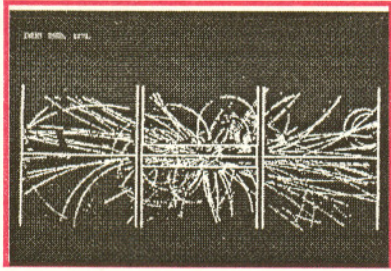
Od powstania Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych minęło już ponad 40 lat. CERN tworzyli ludzie z wizją. Na początku lat 50. Eduardo Amaldi i Pierre Auger, korzystając z poparcia Isidora Rabięgo, wystąpili z ideą utworzenia międzynarodowego laboratorium fizyki cząstek elementarnych. Nowatorskość 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.

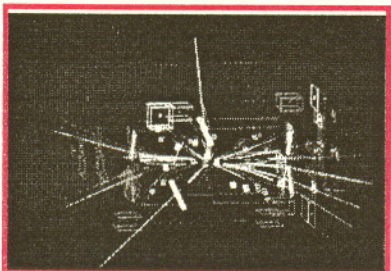
Nasz Wszechświat powstał w wyniku Wielkiego Wybuchu około 15 miliardów lat temu i im bardziej posuwamy się wstecz w czasie w badaniach jego historii, z tym większymi gęstościami materii i wyższymi energiami mamy do czynienia. Badania fizyki wysokich energii pozwalają więc poznać świat w jego wczesnym 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.

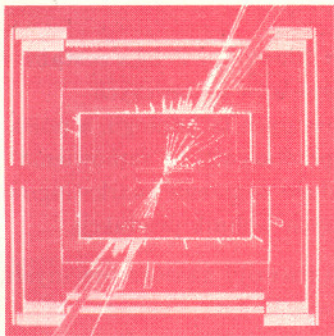
### Przyszłość CERN-u – LHC, wielki kolajder hadronowy

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

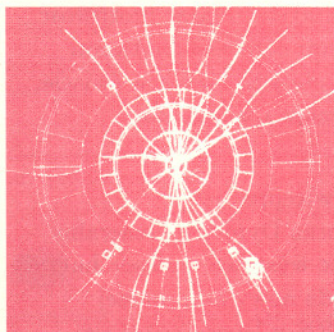


Pierwszy przypadek rozpadu bozonu  $Z$  na parę elektron-pozyton zarejestrowany 30 kwietnia 1983 r. przez detektor UA1.

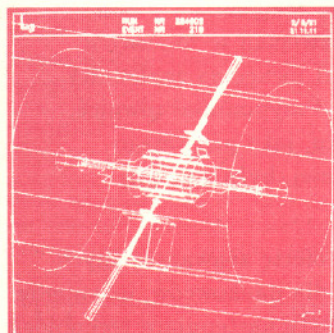




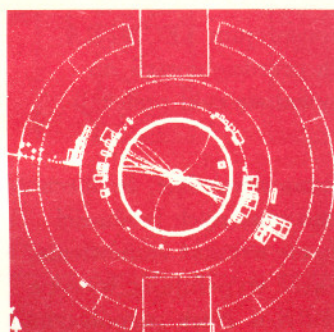
ALEPH



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 doświadczalnych 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 Zakopanem 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.

