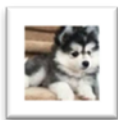
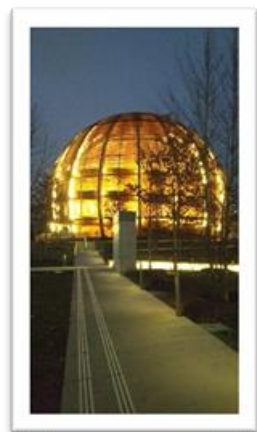


# Na 70-te urodziny CERNu



Wyciąg z tego artykułu został opublikowany w numerze 21 Biuletynu SITPF. Tutaj publikujemy cały artykuł prof. Mieczysława Witolda Krasnego, Dyrektora Badań CNRS, Sorbonne University Paris, Senior Visiting Scientist, CERN, BE-division, Geneva.



1Photo provenant du site du CERN

W roku 1954, 12 państw europejskich podpisało Konwencję Paryską, powołującą do życia Europejską Organizację Badań Jądrowych, CERN (Conseil Européen pour la Recherche), z siedzibą w Genewie. Pierwotny cel tej Organizacji został sformułowany w artykule II konwencji: „Organizacja zapewni współpracę państw Europejskich w dziedzinie badań jądrowych o charakterze czysto naukowym i podstawowym, oraz innych badań ściśle z nimi powiązanych”.

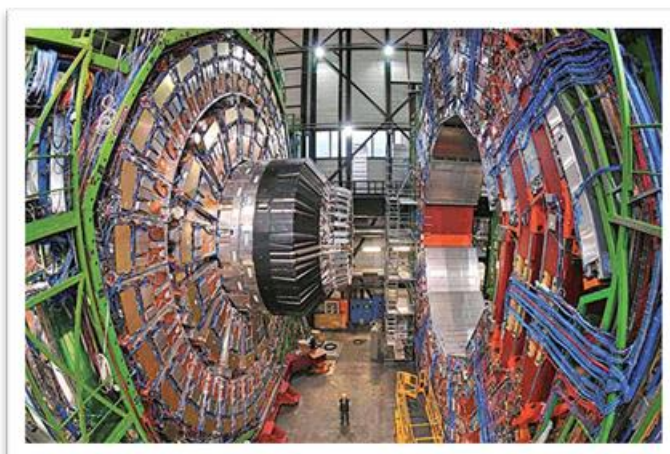
Program „badań jądrowych” CERN-u ewoluował w naturalny sposób, przez 70 lat istnienia organizacji, w kierunku poszukiwań, a następnie badań pierwotnych składników materii – cząstek elementarnych.

Podstawowymi narzędziami w tych badaniach są akceleratory. Służą one do przyspieszania

elektronów, pozytronów, protonów antyprotonów i jader atomowych. Każdy z kolejnych etapów technologicznego postępu w dziedzinie budowy akceleratorów umożliwił odkrycia nowych cząstek elementarnych oraz nowych zjawisk. Zwieńczeniem tego procesu było powstanie „Modelu Standardowego”. Model ten jest matematycznym opisem cząstek elementarnych i ich oddziaływań. Eksperymenty, wykonane przy pomocy akceleratorów skonstruowanych w CERN-ie odegrały tu zasadniczą rolę, zwłaszcza w zrozumieniu oddziaływań słabych i ich unifikacji z oddziaływaniami elektromagnetycznymi.

Już początkowa konwencja tworząca CERN przewidywała konstrukcję pierwszego akceleratora protonów o energii większej niż 10 gigaelektronowoltów (GeV).

Po zrealizowaniu tego projektu CERN stał się jednym z kilku (do tej pory głównie amerykańskich) ośrodków studiujących zderzenia wysokoenergetycznych cząstek elementarnych. Tą pozycję utrzymał przez następne 70 lat swojego istnienia. Unikalne projekty akceleratorowe CERN-u to, między innymi: SPS (Super Proton Synchrotron-1976), LEP (Large Electron Positron Collider - 1989) i LHC (Large Hadron Collider – 2010), w którym protony przyspieszane są do rekordowej, w chwili obecnej, energii 6500 GeV.



1Photo provenant du site du CERN

Badania prowadzone w CERN-ie obejmują wiele dziedzin naukowych. Wiodącą rolę odgrywają tu 4 eksperymenty studiujące zderzenia protonów i jader przyspieszanych w akceleratorze LHC. Niemniej ważne są eksperymenty wykorzystujące protony i jadra o niższych energiach. Są one przyspieszane przez akceleratory: „SPS”, „PS” i „Booster”. Program naukowy tych eksperymentów jest bardzo szeroki i obejmuje, między innymi, badania symetrii między materią i antymaterią, poszukiwanie ciemnej materii, badania radioaktywnych izotopów i badania klimatologiczne.

*Konstrukcja, zbieranie danych i analiza wyników eksperymentów prowadzonych w CERN-ie wymaga ścisłej współpracy dużych, w chwili obecnej nawet kilkutyśięcznych, grup naukowców i inżynierów pracujących w macierzystych instytucjach rozproszonych w całym świecie. W latach 80-tych, aby sprostać wyzwaniom tego typu współpracy, powstała w CERN-ie koncepcja ogólnoświatowej pajęczyny „WWW” (World Wide Web), która zrewolucjonizowała tradycyjną („Gutenbergowską”) technologię przepływu informacji. Jako ciekawostkę można tu dodać, że związani z CERN-em fizycy z Uniwersytetu Warszawskiego stworzyli w 1989 roku „Donosy” – pierwszą, dystrybuowaną wyłącznie sieciowo, gazetę.*

*Podstawowymi źródłami sukcesu CERN-u są: jego unikalna kultura techniczna budowy akceleratorów, stabilne finansowanie i międzynarodowy charakter realizowanych projektów.*

*Roczny budżet CERN-u, w 2024 roku, 1 400 milionów franków szwajcarskich (CHF), jest zasilany w około 85% przez regularne składki 23 państw, będących w chwili obecnej członkami CERN-u. Wkład każdego kraju jest proporcjonalny do jego dochodu narodowego. Każdy z krajów członkowskich ma równoprawny głos w Radzie CERN-u, niezależnie od kwoty składki budżetowej.*

*Polscy naukowcy i inżynierowie uczestniczą w pełnym spektrum badań prowadzonych w CERN-ie. Wkład Polski, będącej od 1991 roku pełnoprawnym członkiem CERN-u, do jego rocznego budżetu w roku 2024, wynosi 38 milionów CHF. Warto tu dodać, że Polska składka budżetowa jest częściowo odzyskiwana w zamówieniach aparatury i usług dostarczanych przez polski przemysł i polskie instytucje naukowe. Rekordzistą jest tutaj firma „KrioSystem” z Wrocławia z zamówieniami, w 2023 roku, na łączną sumę 3 253 tysięcy CHF.*

*W końcu 2023 roku, wśród 2666 członków personelu zatrudnionych przez CERN, 94 stanowili Polacy (w tym 45 na kontraktach bezterminowych). Ponadto, w chwili obecnej, 100 polskich młodych naukowców i inżynierów (w tym 15 doktorantów i 15 studentów odbywających praktyki) pracuje w CERN-ie na umowach czasowych. Stanowi to -- procentowo -- większy udział, w całkowitej liczbie 1525 kontraktów tego typu oferowanych przez CERN, niż polski wkład do budżetu CERN-u. Pracownicy CERN-u są tylko małą częścią ogólnoświatowej społeczności około 17 500 naukowców i inżynierów z 110 krajów (w tym 580 z Polski) prowadzącej badania przy użyciu infrastruktury CERN-u.*

*Połączenie kreatywności naukowców tak wielu narodowości, pochodzących z bardzo różnorodnych instytucji badawczych, oraz reprezentujących szeroki wachlarz dziedzin nauki i technologii sprawiło, że CERN stał się, po 70 latach od jego powstania, wiodącym, światowym centrum badań oddziaływań cząstek elementarnych. Warto również podkreślić, że to właśnie CERN stworzył „matrycę” organizacji i finansowania międzynarodowej współpracy naukowej, naśladowaną przez inne europejskie organizacje zajmujące się badaniami podstawowymi: ESO (European Southern Observatory), ESA (European Space Agency), EMBL (European Molecular Biology Laboratory), ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), oraz przez formujące się w chwili obecnej konsorcjum badań fal grawitacyjnych „Einstein Telescope”.*

*Dotychczasowy sukces ewolucyjny modelu naukowego CERN-u sugeruje w naturalny sposób, następne kroki w jego rozwoju: konstrukcje nowego (nowych) akceleratorów przyspieszających cząstki elementarne do jeszcze większych energii. Utrzymałoby to aktualny „modus operandi” CERN-u, a także stabilność organizacji i metodologii badań prowadzonych przez dobrze już zorganizowaną, światową społeczność fizyków cząstek elementarnych.*

*Czy kontynuacja takiego kierunku ewolucji jest technologicznie możliwa? Czy ma ona wystarczające naukowe uzasadnienie, uwzględniające wysoki koszt budowy nowych akceleratorów i --- co jest niemniej ważne – czy taka forma ewolucji byłaby wystarczająco atrakcyjna dla młodych naukowców, aby stali się jej witalną siłą napędową przez następne 70 lat badań prowadzonych w CERN-ie?*

*W lutym, bieżącego roku, Rada CERN-u oceniła postęp w pracach badających możliwość realizacji projektu „FCC” (Future Circular Collider), który mógłby być następnym krokiem w rozwoju infrastruktury akceleratorów CERN-u. Studia te rozpoczęły się w 2021 roku i mają się zakończyć w 2025 roku. Ich wyniki będą istotnym elementem wielowątkowego procesu decyzyjnego krajów członkowskich CERN-u. Proces ten ma być zakończony, w roku 2028, akceptacją do realizacji albo odrzuceniem projektu.*

*Projekt FCC obejmowałby, w pierwszej fazie, budowę zderzacza elektronów i pozytronów, „FCC-ee”, a w następnej fazie budowę zderzacza protonów i jąder, „FCC-hh”. Planowane ukończenie konstrukcji pierwszego z nich nastąpiłoby w 2048 roku, a drugiego w 2074 roku. Eksperymenty z wykorzystaniem tych zderzaczy byłyby przeprowadzone, odpowiednio w latach 2048-2063 i 2074-2094. Przewidywane maksymalne energie pozytronów i elektronów, zderzanych w FCC-ee (182,5 GeV) byłyby „tylko” dwukrotnie większe od energii osiągniętych już ponad dwadzieścia lat temu. Niemniej jednak, dzięki dużej świetlności, FCC-ee umożliwiłby znaczące zwiększenie precyzji badań oddziaływań wszystkich znanych cząstek elementarnych Modelu Standardowego, nawet najcięższej z nich -- kwarku „top”.*

*Dwukrotnie powiększenie energii zderzeń w akceleratorze kołowym, jakim byłby FCC-ee, wymaga czterokrotnego powiększenia jego obwodu. Jest to konieczne, aby utrzymać na akceptowalnym poziomie, konsumpcję energii elektrycznej. Jej koszt będzie znaczącym i zarazem trudnym do prognozowania obciążeniem budżetu CERN-u. Zasilanie aktualnych akceleratorów CERN-u wymaga zakupu około 1.3 TWh energii elektrycznej. Stanowi to prawie 50 % potrzeb energetycznych całego kantonu Genewskiego. Aby nie zwiększać zapotrzebowania, podziemny tunel akceleratora FCC-ee musiałby mieć długość 91 km. Co za tym idzie, dużą częścią kosztu budowy akceleratora, ocenianego w chwili obecnej na około 15 miliardów franków szwajcarskich (GCHF), byłby koszt wydrążenia tunelu (około 5 GCHF). Koszt tunelu mógłby być częściowo zamortyzowany dzięki wykorzystaniu go w konstrukcji zderzacza FCC-hh, w którym protony i jądra byłyby przyspieszane do energii około 9 razy większej od energii osiągniętej w funkcjonującym obecnie akceleratorze LHC.*

*Technologia budowy zderzacza FCC-ee jest gotowa. FCC-hh wymaga dalszego postępu technologicznego w budowie magnesów nadprzewodzących. Oba zderzacze byłyby komplementarne: FCC-ee zapewniałby precyzję pomiarów, a FCC-hh poszukiwanie nowych zjawisk przy znacznie wyższych energiach niż te, które były osiągnięte do tej pory.*

*CERN nie jest jedynym ośrodkiem badań fizyki cząstek elementarnych. Naukowcy chińscy przedstawili z w grudniu ubiegłego roku raport techniczny konstrukcji zderzacza „CEPC”, mającego bardzo podobne parametry do FCC-ee, którego konstrukcja mogłaby być zakończona już w 2036 roku, czyli około 10 lat przed zbudowaniem FCC-ee.*

*Amerykańscy fizycy cząstek elementarnych przedstawili także strategię badań na następne 10-20 lat, promującą studia nad nowym typem akceleratora. W akceleratorze tym przyspieszanymi cząstkami byłyby miony. Mion jest prawie idealną kopią elektronu – jest tylko 200 razy cięższy. Dzięki temu miony, w przeciwieństwie do elektronów, tracą tylko znikoma część swojej energii, gdy są „zmuszane” to poruszania się po obwodzie koła. W konsekwencji, tunel akceleratora przyspieszającego miony, nawet do energii 25 razy większej od energii elektronów w FCC-ee, mógłby być nie dłuższy od tuneli istniejących już akceleratorów, a koszt zderzacza mionów byłby podobny do kosztu LHC.*

*Jest tylko jeden podstawowy problem – miony żyją tylko 2 mikrosekundy i ich wiązki muszą być formowane i przyspieszane bardzo szybko, aby wystarczająco wiele z nich miało szansę zderzyć się, zanim się rozpadną. Technologia produkcji intensywnych wiązek mionowych i ich szybkiego przyspieszania jest jeszcze w powijakach, ale program badań w tym kierunku rozwija się szybko, tak w Europie jak i w USA. Zderzac*

mionów, jeśli okaże się możliwy do technicznej realizacji, połączyłby potencjały badawcze FCC-ee i FCC-hh, rozszerzając je w znaczący sposób.

Duży skok w energii zderzeń cząstek elementarnych jest wielce pożądanym, jeśli chcemy zwiększyć szanse odkrycia nowych zjawisk i cząstek, a nie tylko precyzję przeprowadzonych już wcześniej pomiarów. Językiem Modelu Standardowego jest „Kwantowa Teoria Pola”. Teoria ta umożliwia identyfikację „zapowiedzi” nowych cząstek i zjawisk, które będą bezpośrednio obserwowane przy wysokich energiach zderzeń. Zapowiedzi te są niewielkimi

rozbieżnościami między wynikami pomiarów wykonanych przy niższej, już dostępnej energii zderzeń i wynikami ich teoretycznych przewidywań. Do tej pory, nowe akceleratory miały „zapowiedziane” odkrycia. Przykładowo: Tevatron w Fermilabie -- odkrycie kwarku „top”, a LHC -- odkrycie mechanizmu łamiącego symetrię oddziaływań słabych i elektromagnetycznych.

W chwili obecnej nie ma żadnych „zapowiedzi” istnienia nowych zjawisk lub nowych cząstek, które mogłyby odkryć wysokoenergetyczne akceleratory następnej generacji. Maksymalne zwiększenie energii jest tu warunkiem pożądanym, ale też – co wymaga podkreślenia -- po raz pierwszy w historii rozwoju fizyki cząstek elementarnych, nie jest warunkiem wystarczającym, aby odkryć nowe cząstki i zjawiska.

Czy strategia kontynuacji zwiększania energii przyspieszanych cząstek jest jedyną możliwą formą ewolucji programu naukowego CERN-u?

Jednym z najbardziej intrygujących, w chwili obecnej, wyzwań fizyki jest odkrycie natury ciemnej materii i ciemnej energii, których istnienie postulowane jest w modelach kosmologicznych i astrofizycznych. Jeśli masy cząstek ciemnej materii byłyby podobne do mas cząstek widzialnej materii, to zwiększenie szansy ich odkrycia, przy użyciu akceleratorów, wymagałoby raczej znacznego zwiększenia intensywności wiązek przyspieszanych cząstek niż zwiększenia ich energii. Wyzwanie dużego skoku technologicznego w intensywności wiązek cząstek elementarnych podejmuje rozwijany w CERN-ie projekt „Gamma Factory”. Projekt ten, będący w fazie wstępnych studiów, proponuje wykorzystanie istniejącej już infrastruktury akceleratorowej CERN-u łącząc ją, w nowatorski sposób, z postępem technologii laserowej.

Dyskusja o przyszłości CERN-u, prowadzona w powołanych do tego gremiach krajów członkowskich CERN-u jest niesłychanie ważna z uwagi na brak jednoznacznych drogowskazów jego dalszego rozwoju. Poza kryteriami naukowymi będzie musiała ona uwzględnić aktualny kontekst międzynarodowy, wyzwania klimatyczne, samowystarczalność energetyczna inwestycji infrastrukturalnych i możliwość rozszerzenia badań prowadzonych w CERN-ie na inne dziedziny naukowe. Ważna tu będzie zbieżność długofalowych strategii krajów członkowskich dotyczących podziału funduszu przeznaczonego na budowę międzynarodowych „mega-infrastruktur” naukowych i na „lokalne” badania, które takich struktur nie wymagają. Ponadto, ta dyskusja będzie musiała dać odpowiedź na zasadnicze pytanie: czy naukowe „mega projekty” realizowane w ciągu wielu dziesięcioleci mozolnej pracy będą atrakcyjne dla młodych naukowców?

Polska, jako pełnoprawny kraj członkowski CERN-u, będzie miała w tej dyskusji istotny głos, który będzie tym bardziej słyszalny im bardziej będzie wynikiem pogłębionej analizy przeszłych sukcesów i przyszłych wyzwań programu naukowego CERN-u.

Mieczysław Witold Krasny  
Directeur de Recherche CNRS, Sorbonne University Paris,  
Senior Visiting Scientist, CERN, BE-division, Geneva