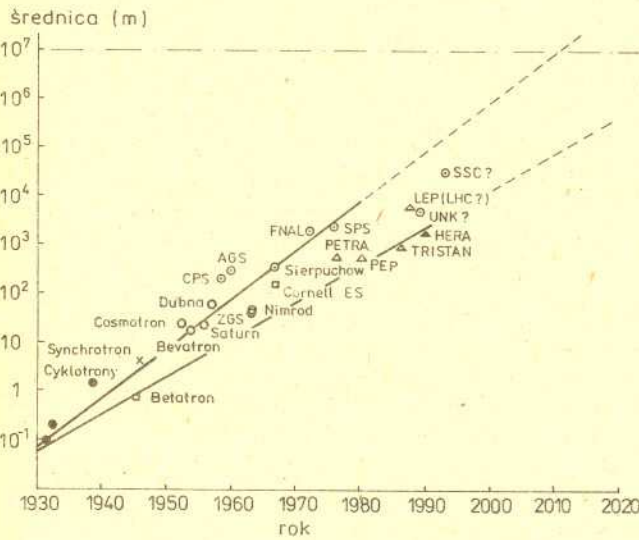


# Dlaczego buduje się wielkie akceleratory?

Prof. dr Ryszard SOSNOWSKI

Wśród różnych urządzeń badawczych, za pomocą których fizycy starają się poznać otaczający nas świat, do największych i najkosztowniejszych należy zaliczyć akceleratory. Są to urządzenia rozpędzające cząstki naładowane, takie jak elektrony, protony czy jądra atomów, do olbrzymich energii. W pierwszym, zbudowanym na początku lat trzydziestych akceleratorze cyklicznym - cyklotronie, przyspieszone cząstki biegly po torach zbliżonych kształtem do okręgu o średnicy około 10 cm. W obecnie działających największych akceleratorach cząstki krążą po orbitach o średnicach sto tysięcy razy większych. Rysunek pokazuje, jak rosły średnice akceleratorów w miarę upływu czasu. Widać z niego, że każde dziesięciolecie przynosiło dziesięciokrotny wzrost rozmiaru akceleratorów. Gdyby ta tendencja miała się utrzymać, to za lat trzydzieści pojawiłby się akcelerator, w którym cząstki bieglyby po torze o wymiarach równika Ziemi. Prognoza ta zapewne się nie spełni. Nowe metody przyspieszania pozwolą nadawać cząstkom coraz większe energie bez konieczności tak znacznego powiększania rozmiarów akceleratorów.



Z biegiem czasu akceleratory stawały się nie tylko coraz większe dostarczając cząstek o coraz wyższych energiach, ale również rósł szybko koszt ich budowy. Tym się tłumaczy to, że największe akceleratory powstawały i powstają albo w najbogatszych państwach, albo jako wspólne przedsięwzięcie wielu krajów. Koszt akceleratora budowanego obecnie w Europejskim Centrum Fizyki Jądrowej - CERN - wynosi miliard dolarów. Planowany przez fizyków amerykańskich akcelerator SSC będzie wymagał nakładów trzykrotnie wyższych. Naturalne staje się więc pytanie stanowiące tytuł tego artykułu: dlaczego buduje się wielkie akceleratory? Czym powodują się ludzie podejmujący trud budowy urządzeń wymagających zastosowania w jednym przedsięwzięciu wielu najbardziej zaawansowanych technik? A wreszcie, co skłania rządy państw do przeznaczania na budowę akceleratorów tak wielkich środków? Czy zaspokajanie naturalnego dążenia ludzkości do poznania tajemnic przyrody jest rzeczywiście jedynym motywem tych działań? Poszukiwanie odpowiedzi na te pytania prowadzi do wniosku, że poza potrzebami nauki istnieją też inne względy skłaniające człowieka do tworzenia coraz potężniejszych akceleratorów.

Mimo że ciekawość odkrywców nie jest jedynym uzasadnieniem budowania wielkich akceleratorów, jest ona jednak niewątpliwie najważniejszym motorem tych przedsięwzięć. Uzyskiwane za pomocą akceleratorów wiązki rozpędzonych cząstek stanowią sondę służącą do obserwacji coraz mniejszych cegiełek, z których zbudowany jest cały materialny świat. Im większa jest energia cząstek, tym drobniejsze cegiełki materii możemy za ich pomocą zaobserwować.

Od początku swego istnienia do oglądania otaczającego świata człowiek wykorzystywał cząstki o energiach paru elektronowoltów. Takie właśnie energie niosą kwanty światła widzialnego. Odbijają się one od przedmiotów i tworzą ich obraz na siatkówce oka. Korzystanie jedynie ze światła widzialnego trwało przez cały czas istnienia ludzkości aż do końca ubiegłego stulecia, kiedy to niemiecki fizyk Wilhelm Konrad Roentgen odkrył promieniowanie nazwane od jego nazwiska rentgenowskim. Kwanty tego promieniowania niosą energię kilka tysięcy razy większą, niż kwanty światła widzialnego. Dzięki temu mogą one wnikać w głąb badanych przedmiotów i ukazywać ukryte w ich wnętrzu szczegóły. Są więc wykorzystywane do prześwietlania ciała ludzkiego, kontroli zawartości bagażu pasażerów linii lotniczych czy też wykrywania defektów części maszyn.

Poza dużą zdolnością przenikania w głąb materii promieniowanie rentgenowskie ma jeszcze jedną bardzo ważną własność. Długość fal promieniowania rentgenowskiego jest tysiącrotnie mniejsza niż długość fal światła widzialnego. Im większa jest bowiem energia niesiona przez kwant promieniowania, tym mniejsza jest długość fali tego promieniowania. Dzięki małej długości fali można promienie rentgenowskie wykorzystać do obserwacji obiektów tak małych, jak molekuly czy atomy.



A JAPŃCZYKI  
TEN PANIE  
TEGO TEN,  
TO BUDUJĄ  
WIELKIE  
AKCELERATORY  
KIESZONKOWE,  
TEN PANIE  
TEGO TEN...



Rozwiązanie zadania M 545.

$$\sum_{n=1}^{\infty} (a_1 \dots a_n)^{1/n} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1a_1 2a_2 \dots na_n)^{1/n}}{(n!)^{1/n}}$$

co na mocy nierówności o średniej geometrycznej i arytmetycznej nie przekracza

$$\begin{aligned} (*) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_1 + 2a_2 + \dots + na_n}{n(n!)^{1/n}} &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=1}^n \frac{ka_k}{n(n!)^{1/n}} = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} ka_k \sum_{n=k}^{\infty} \frac{1}{n(n!)^{1/n}} \leq \\ &\leq \sum_{k=1}^{\infty} ka_k \sum_{n=k}^{\infty} \frac{e}{n(n+1)} \end{aligned}$$

Ostatnia nierówność wynika z zadania M 544. Zauważmy teraz, że

$$\sum_{n=k}^{\infty} \frac{1}{n(n+1)} = \left( \frac{1}{k} - \frac{1}{k+1} \right) + \left( \frac{1}{k+1} - \frac{1}{k+2} \right) + \dots = \frac{1}{k}$$

zatem prawa strona (\*) jest równa

$$e \sum_{k=1}^{\infty} a_k, \text{ co kończy dowód.}$$

Uwaga! Stałej e, występującej w nierówności, nie można zmniejszyć.



Lampa rentgenowska była pierwszym akceleratorem zbudowanym przez człowieka. Za pomocą różnicy potencjałów, wynoszącej kilka tysięcy woltów, przyspieszane w niej były elektrony. Gwałtowne ich zahamowanie przez ustawioną na ich drodze przeszkodę, zwaną antykatodą, prowadzi do powstawania kwantów promieniowania rentgenowskiego.

Następnym krokiem w poznaniu, z jakich cegiełek zbudowana jest materia, było wnikięcie do wnętrza atomu i stwierdzenie, że panuje tam nieomal całkowita pustka. Cała materia jest bowiem skupiona w środku atomu i zajmuje przestrzeń o promieniu tysiąckrotnie mniejszym niż promień całego atomu. Odkrycie to zawdzięczamy lordowi Rutherfordowi, który posłużył się cząstkami o energii jeszcze tysiąc razy większej niż energia kwantów promieniowania rentgenowskiego. Cząstek tych, zwanych cząstkami alfa, a będących jądrami atomów helu, nie przyspieszano w akceleratorze, ponieważ wówczas jeszcze nie był on znany. Z pomocą fizykom przyszła natura, okazało się bowiem, że w przyrodzie istnieją atomy promieniotwórcze wysyłające cząstki alfa o energiach takich, jakby przyspieszane one były napięciem kilku milionów woltów.

Skonstruowanie akceleratorów umożliwiło posługiwanie się wiązkami cząstek o energiach coraz większych. Pozwoliło to stwierdzić, że jądra atomów są zbudowane z protonów i neutronów, a te z kolei składają się z kwarków. Czy jednak w ten sposób dotarliśmy do najmniejszych cegiełek materii? A może kwarki też są zbudowane z jeszcze mniejszych części składowych? Za pomocą obecnie działających akceleratorów nie możemy tego stwierdzić, mimo że dostarczają one cząstek o energiach 1 TeV, to znaczy takich, jakby były one przyspieszone różnicą potencjałów wynoszącą tysiąc miliardów woltów. Aby wtargnąć do wnętrza kwarku, jeżeli to w ogóle jest możliwe, należy dysponować pociskami o energiach co najmniej stukrotnie większych.

Poza obserwacją coraz mniejszych ziaren materii akceleratory pozwalały także wytwarzać nowe jej formy nie występujące na stałe w przyrodzie. Już przyspieszenie cząstek do energii stosunkowo niewielkich, paru milionów elektronowoltów, pozwoliło tworzyć promieniotwórcze, a więc nietrwałe, jądra atomów. Czas życia tych jąder jest tak krótki, że jeżeli nawet istniały one kiedyś w przyrodzie, dawno się już rozpadły. Energia paru milionów elektronowoltów pozwala na wytworzenie antymaterii. Kwant promieniowania elektromagnetycznego o takiej energii może zderzając się z inną cząstką zamienić się na elektron i antyelektron (pozyton). Dysponując cząstkami przyspieszonymi do coraz większych energii fizycy wytworzyli i zbadali wiele nowych, nie występujących w przyrodzie cząstek. Mimo że cały otaczający nas świat, a także my sami jesteśmy zbudowani tylko z trzech rodzajów cząstek – z elektronów oraz z dwóch rodzajów kwarków – istnieje poza tym liczna gromada ich krewnych wytwarzanych za pomocą rozpadanych w akceleratorze pocisków. Te powstające w laboratoriach cząstki są bardzo nietrwałe i istnieją niezmiernie krótko. Jednakże bez ich znajomości niemożliwe byłoby zrozumienie, jakie prawa rządzą w świecie elementarnych cegiełek materii, jak powstał i zmieniał się Wszechświat i jakie są własności sił w nim działających.

Dotychczasowe odkrycia dokonane za pomocą wielkich akceleratorów ukształtowały naszą wiedzę o najmniejszych, występujących w przyrodzie ziarenkach materii. Sądźmy obecnie, że ziarenka te występują parami. Zostały odkryte trzy pary leptonów oraz dwie pary kwarków. Ponadto zaobserwowany został jeszcze jeden kwark oznaczany literą b. Nie znaleziono jednak dotychczas partnera, który razem z kwarkiem b tworzyłby trzecią parę kwarków. Ten hipotetyczny szósty kwark oznaczony został literą t. Czy taki kwark istnieje? Odpowiedź na to pytanie można uzyskać dopiero, gdy będziemy dysponować energią wystarczająco dużą, by go wytworzyć. Ocenia się, że masa kwarku t może być 200 razy większa niż masa protonu. Być może więc akcelerator Tevatron działający od niedawna w laboratorium imienia Enrico Fermiego w Stanach Zjednoczonych umożliwi zaobserwowanie kwarku t.

Czy jest to jedyna brakująca cegiełka materii, czy też jest ich jeszcze więcej? Odpowiedź na to może przynieść tylko doświadczenie, a to wymaga przyspieszania cząstek do znacznie wyższych energii. Nawet jednak, gdy odkryjemy wszystkie leptony i kwarki, a być może brakuje nam tylko odkrycia kwarku t, to musimy znaleźć odpowiedź na pytanie, dlaczego cząstki te różnią się między sobą. Czemu jedne są bardzo lekkie, a inne obdarzone są dużą masą? Aby to wyjaśnić, fizycy wysunęli hipotezę, że cząstki oddziałują z polem wypełniającym całą przestrzeń. Kwarki i leptony, które silnie oddziałują z tym polem, mają duże masy, a te, które oddziałują słabo, charakteryzują się małymi masami. Mówiąc obrazowo, kwarki i leptony „czepiają się” tego hipotetycznego pola.

WIELKIE PRANIE, WIELKIE AKCELERATORY, WIELKIE PLANY, WIELKIE MARCHENIA, WIELKIE PRZEMIANY WIELKIE, WIELKIE... UFF!!  
 IDE - DO CHOLERY! - NA STRASZLIWIE MAŁA KAWA!!



Im mocniejsze jest „zaczepianie się”, tym trudniej nadać czepiającej się cząstce przyspieszenie, a to oznacza, że cząstka ma dużą masę. Czy jednak pole takie nie jest jedynie wytworem fantazji fizyków? Czy istnieje ono naprawdę? Dowodem na to byłoby wykrycie kwantu tego pola, tzw. cząstki Higgsa. Odkrycie to, a więc udowodnienie, że postulowane pole istnieje naprawdę, stanowiłoby olbrzymi krok na drodze zrozumienia, dlaczego świat materialny jest właśnie taki jaki jest. Cząstka Higgsa może mieć jednak bardzo dużą masę i trzeba będzie poczekać na wybudowanie nowych, jeszcze potężniejszych akceleratorów, zanim będzie można zaobserwować te cząstki powstające w laboratorium.

Widzimy więc, że akceleratory pozwalają dostrzec i poznać najmniejsze ziarenka materii, a także tworzyć w laboratoriach takie jej formy, jakie występowały powszechnie tylko w ciągu pierwszej sekundy istnienia Wszechświata. Czy jednak zafascynowanie badaczy tymi problemami wystarczyłoby, aby przeznaczać tak duże środki na budowę akceleratorów? Prawdopodobnie odpowiedź na to pytanie jest następująca. Gdy tylko na to pozwalają środki techniczne i finansowe, społeczeństwa dają się przekonać do ponoszenia kosztów, czy to dalekich wypraw w celu odkrycia nieznanych lądów, zajrzenia w głąb oceanów, dotarcia do biegunów Ziemi, odkrywania śladów przeszłości ludzkiej kultury, czy wreszcie zgłębiania tajemnic świata materialnego. Argumenty, że działania te mogą przynosić korzyści materialne, czasami odgrywają istotną rolę. Przykładem tego jest wyprawa Kolumba w poszukiwaniu drogi do Indii. Często jednak mimo braku takich argumentów sama fascynacja nieznanym stanowi dostatecznie silny argument, by podejmować trudne, pracochłonne i kosztowne wysiłki. To skłoniło np. H. Schliemanna do poszukiwania śladów starożytnej Troi.

W przypadku akceleratorów sytuacja była pośrednia między czystą chęcią poznania przyrody a argumentami o osiągnięciu szybkich, łatwo wymiernych korzyści. O motywach naukowych już mówiliśmy. Jakie jednak korzyści może przynieść budowa tych urządzeń? Jedną z nich stały się w latach pięćdziesiątych względy prestiżowe i polityczne. Kolejne rekordy w uzyskiwaniu najwyższych energii przyspieszanych cząstek uzyskiwane były w Stanach Zjednoczonych i w Związku Radzieckim. W tym też czasie fizycy z krajów zachodniej Europy potrafili przekonać polityków, że wspólny wysiłek łączący naukowców z wielu krajów doprowadzi nie tylko do nowych odkryć, lecz przyczyni się do złagodzenia podziałów i antagonizmów. Budowa wspólnego akceleratora znakomicie nadawała się do spełnienia takiej roli. Ponadto dawała ona mniejszym krajom poczucie, że dominacja naukowa i techniczna największych mocarstw może zostać zrównoważona. W roku 1953 powstało Europejskie Centrum Badań Jądrowych - CERN w Genewie. W siedem lat później zakończono w tym ośrodku budowę największego wówczas na świecie akceleratora o energii 30 GeV. Od tego czasu do chwili obecnej CERN odgrywa pierwszoplanową rolę w badaniach prowadzonych za pomocą akceleratorów. Wkrótce po powstaniu CERN-u kraje socjalistyczne podpisały w roku 1956 porozumienie o utworzeniu Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej. Obydwa instytuty były i są miejscem wspólnej pracy naukowców i techników z różnych krajów i przyczyniły się w znacznym stopniu do przełamania politycznych i psychologicznych podziałów naszego świata. Warto tu pamiętać, że oba międzynarodowe instytuty powstały wcześniej niż Europejska Wspólnota Gospodarcza. Współpraca przy budowie wielkich akceleratorów okazała się łatwiejsza niż współpraca gospodarcza.

**Obliczamy π**

$$\frac{1}{\pi} = \frac{\sqrt{8}}{9801} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(4n)!(1103 + 26390 \cdot n)}{(n!)^4 \cdot 396^{4n}}$$

Ta tożsamość (S. Ramanujan, 1914) pozwala obliczać wartość liczby π z dużą dokładnością (oczywiście przy użyciu maszyn liczących). Dodawanie kolejnego składnika w sumie występującej po prawej stronie daje 8 nowych dokładnych cyfr przybliżenia π. W 1987 roku wykazano (Jonathan M. Borwein i Peter B. Borwein), że

$$\frac{1}{\pi} = 12 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot (6n)! (212175710912 \cdot \sqrt{61} + 1657145277365 + n(13773980892672 \cdot \sqrt{61} + 107578229802750))}{(n!)^3 \cdot (3n)! \cdot (5280(236674 + 30303\sqrt{61}))^{3n+3/2}}$$

Wzór ten daje około 25 nowych dokładnych cyfr przybliżenia liczby π z każdym nowym składnikiem. Dla n = 0 otrzymujemy przybliżenie π z 24 dokładnymi znakami dziesiętnymi! Ale to nie koniec możliwości. Tworząc ciąg liczbowy (x<sub>n</sub>) według przepisu:

$$y_0 = \sqrt{2} - 1, \quad x_0 = 6 - 4 \cdot \sqrt{2}, \quad y_{n+1} = \frac{1 - \sqrt{1 - y_n^4}}{1 + \sqrt{1 - y_n^4}}, \quad x_{n+1} = (1 + y_{n+1})^4 \cdot x_n - 2^{2n+3} \cdot y_{n+1} (1 + y_{n+1} + y_{n+1}^2)$$

dla n = 0, 1, 2, ..., przy użyciu maszyn liczących typu CRAY-2, NEC SX-2 znaleziono przeszło dwa miliardy (!!!) dokładnych cyfr dziesiętnych liczby π (uzyskano je obliczając  $\frac{1}{x_{15}}$ ).

Według *Scientific American*, Feb. 1988, vol. 258, no 2.

mgr Jarosław GÓRNICKI