

# Jak duży wpływ mają efekty relatywistyczne na wyniki badań? Jak duży wpływ mają efekty relatywistyczne na rozwiązania techniczne stosowane w LHC?

Eksperymenty, gdzie cząstki poruszają z prędkością bliskiej światła muszą uwzględniać efekty relatywistyczne.

Np. bazując tylko na II zasadzie dynamiki Newtona, gdzie  $F=m \cdot a$  uzyskamy błędne wyniki, gdyż przy prędkości bliskiej światła zmienia się masa cząstki.

Zgodnie z teorią względności, masa cząstki zwiększa się wraz ze zwiększaniem jej prędkości. Dlatego cząstki poruszające się blisko prędkości światła mają znacznie większą masę niż w stanie spoczynku. To z kolei wpływa na dynamikę oddziaływań międzycząstkowych i trajektorie cząstek w akceleratorach.

Wszystko co porusza się z prędkością bliskiej światła musi być rozwiązywane uwzględniając poprawkę relatywistyczną. Dlatego chociażby działa GPS w naszym telefonie.

Efekty relatywistyczne zostały uwzględnione już na etapie projektowania LHC.

## W jaki sposób przebiega interpretacja wyników badań?

- LHC używa systemu wyzwalaczy (trigger), które używają uproszczonych kryteriów, by błyskawicznie ( $< 2.5 \mu\text{s}$  ATLAS,  $< 3.6 \mu\text{s}$  CMS) wybierać które zdarzenia należy zachować. Pierwszy poziom triggerów jest wysoce wyspecjalizowanym układem elektronicznym (m. in. układy FPGA); selektywność 1 na 1000
- drugi poziom triggerów to oprogramowanie na klastrze serwerów; selektywność 1 na 1000
- przefiltrowane dane (ok.  $\sim 40$  eventów / s) trafiają do CERN Data Centre
- z DC dane trafiają do WLCG (światowego gridu obliczeniowego) oraz na taśmy
- dane są przetwarzane, uporządkowywane, etc.
- fizycy mogą uruchamiać swoje zadania obliczeniowe na serwerach które są częścią WLCG

CERN oczywiście dba o poprawność "procesu" naukowego. ATLAS i CMS, dwa detektory ogólnego zastosowania, powstają niezależnie od siebie. Odkrycie Bozonu Higgsa były wzajemnie weryfikowane, by uniknąć opublikowania błędnych wyników.

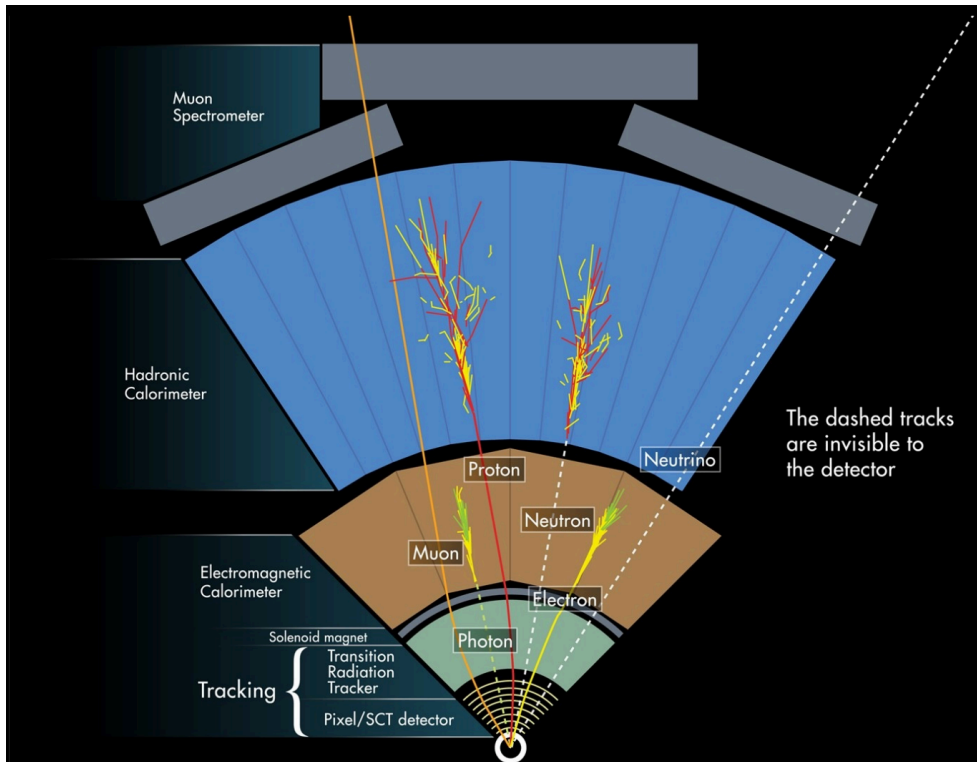
Innym przykładem może być OPERA experiment, który zaobserwował neutrino rzekomo poruszające się szybciej niż prędkość światła. Pomiary zostały zweryfikowane i odkryto problemy związane z odbiornikiem GPS, który służył do dokładnego wyznaczania czasu, co wpłynęło na błędny pomiar.

*(konkretnie chodziło o światłowód który nie był do końca wpięty przez co komputer widział pojawienie się sygnału synchronizacyjnego o ułamek sekundy później)*

Trochę dokładniej o tym jak można z danych dostarczonych przez detektor dojść do wniosku że zaobserwowało się bozon Higgsa można posłuchać na youtube:

[https://www.youtube.com/playlist?list=PLAk-9e5KQYEqvdBn\\_fSMsuVPt-qOBhEEv](https://www.youtube.com/playlist?list=PLAk-9e5KQYEqvdBn_fSMsuVPt-qOBhEEv)

## Jak działają detektory cząstek powstałych w wyniku zderzeń?



- detektory cząstek składają się z różnych warstw. zadaniem każdej z warstw ma być zarejestrowanie cząstek różnych typów

- mamy np. pixel tracker, kalorymetry elektromagnetyczne, kalorymetry hadronowe, Spektrometr mionowy

~ detektory to coś podobnego do matrycy w aparacie fotograficznym. Tylko dla różnych cząstek potrzeba innej matrycy, aby wychwycić ich właściwości

## W jaki sposób foton może mieć pęd skoro nie posiada masy?

<https://zapytajfizyka.fuw.edu.pl/pytania/skad-sie-bierze-ped-fotonu/>

W mechanice relatywistycznej cząstka o masie  $m$  ma energię spoczynkową równą  $mc^2$ , gdzie  $c$  jest prędkością światła. Gdy cząstka porusza się (w danym układzie odniesienia), jej energia jest większa od  $mc^2$ , i zachodzi związek:

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2,$$

gdzie  $p$  jest wartością pędu cząstki. Kierunek wektora pędu  $p$  jest zgodny z kierunkiem prędkości cząstki  $v$ .

Powyższe równanie można (roboczo) traktować jako definicję pędu cząstki. Formalna definicja pędu dowolnego układu fizycznego jest bardziej złożona („generator translacji przestrzennych”), ale w tej postaci poznaje się ją dopiero po kilku semestrach studiowania fizyki.

Relatywistyczny związek między energią, pędem i masą jest słuszny zarówno dla cząstek masywnych (dla których  $m \neq 0$ ), jak i bezmasowych (dla których  $m = 0$ ). Widzimy, że dla bezmasowych fotonów otrzymujemy po prostu  $p = E/c$ .

## Skoro tetrakwark składa się z dwóch kwarków i dwóch antykwarków, czym zatem różni się od cząstki wirtualnej?

W przypadku tetrakwarku kwarki i antykwarki są rzeczywiste, nie wirtualne. W protonie są trzy rzeczywiste kwarki a w mezonie takim jak np. pion czy kaon - para kwark-antykwark. Ale okazuje się że te dwie konfiguracje (3 kwarki lub 3 antykwarki albo para kwark-antykwark) nie są jedynymi możliwymi - istnieją też cząstki zbudowane z czterech lub pięciu kwarków, w odpowiednich konfiguracjach: tetrakwarki i pentakwarki.

Eksperyment LHCb i jego odkrycia: [https://en.wikipedia.org/wiki/LHCb\\_experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/LHCb_experiment)

Cząstki wirtualne są przejściowymi fluktuacjami pól kwantowych, które nie są trwałe ani obserwowalne w sposób bezpośredni.

## Czy zostały znalezione dowody na istnienie czarnych dziur powstałych w wyniku działania znacznego ciśnienia na cząstki powstałego w wyniku ich zderzenia?

Zderzenia cząstek w przyspieszaczach, takich jak LHC (Large Hadron Collider), mogą tworzyć nowe cząstki, ale nie ma dowodów na to, że mogłyby one tworzyć czarne dziury o istotnym znaczeniu makroskopowym. Teoretycznie jednak, istnieje spekulacja na temat możliwości wytworzenia mikroskopijnych czarnych dziur w wyniku zderzeń cząstek na bardzo wysokich energiach, jednak do tej pory nie ma na to jednoznacznych dowodów eksperymentalnych ani obserwacyjnych.

Hipoteza dotycząca czarnych dziur opierała się na teoriach z dodatkowymi wymiarami przestrzennymi modyfikującymi grawitację na małych odległościach. Mogłoby to powodować że tzw. promień Swarzschilda (w uproszczeniu: parametr mówiący jaki rozmiar musi mieć obiekt by stać się czarną dziurą) byłby w tej sytuacji większy i mogłyby na ułamek sekundy powstawać mikroskopijne czarne dziury. Dla "normalnej" grawitacji zjawisko takie nie zachodzi w warunkach dostępnych w LHC (ani żadnym innym realistycznym zderzaczem cząstek)