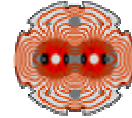




LHC – Wyzwania fizyki przyspieszania



WYSOKA LUMINANCJA

W LHC energia E w zderzeniu cząstek składających się na proton (kwarków i gluonów) będzie osiągać rząd kilku TeV. Jest to około 10 razy więcej niż było w poprzednim akceleratorze LEP i w Tevatronie w laboratorium Fermilab w USA.

Aby przy wyższej energii E utrzymać tak samo intensywny jak w poprzednich eksperymentach program badawczy luminancja zderzacza (tzn. wielkość proporcjonalna do liczby zderzeń na sekundę) powinna wzrosnąć proporcjonalnie do E^2 . Jest to konieczne ponieważ długość fali De Broglie związanej z cząstką spada jak $1/E$, więc przekrój czynny na zderzenie spada jak $1/E^2$.

Podobnie jak w przeszłości tak i obecne zderzacze mają luminancję o wartości około $L = 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. W LHC osiągnie ona $L = 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Będzie to możliwe poprzez napełnienie obydwu ringów pakietami cząstek o liczbie 2835. Każdy taki pakiet zawiera 10^{11} cząstek. W rezultacie prąd protonowy wiązki osiągnie wartość $I_b = 0.53 \text{ A}$. Jest to szczególne wyzwanie dla urządzenia zbudowanego z delikatnych magnesów nadprzewodzących pracujących w temperaturze kriogenicznej.

EFEKTY WIĄZKA-WIĄZKA OKREŚLAJĄ GĘSTOŚĆ PAKIETÓW CZĄSTEK

Kiedy dwa pakiety cząstek przecinają się w środku detektora tylko mała część cząstek zderza się czołowo i dochodzi do porządnego wydarzenia. Tory wszystkich innych cząstek są odginane przez silne pole elektromagnetyczne przeciwnego pakietu. Te ugięcia są silniejsze dla większych gęstości pakietów. Ugięcia te sumują się przy każdym nawrocie pakietu i w konsekwencji mogą prowadzić do utraty cząstek. Taki efekt oddziaływania wiązki z wiązką był badany w poprzednich zderzaczach. Nabyte doświadczenie wskazuje, że dla zapewnienia wystarczającego czasu życia wiązki nie można zwiększać gęstości pakietów poza pewną granicę zwaną limitem wiązka-wiązka. Aby osiągnąć wymaganą luminancję LHC musi pracować bardzo blisko tej granicy. Akceleratory PS i SPS, które dostarczają wiązkę do LHC muszą być tak zmodyfikowane aby dostarczały dokładnie wymaganą gęstość wiązki.

KOLEKTYWNE NIESTABILNOŚCI MUSZĄ BYĆ STEROWANE

Na swojej drodze wzdłuż 27-o kilometrowej rury wiązki z prędkością bliską prędkości światła, każdy z 2835 pakietów protonowych pozostawia za sobą słabe pole elektromagnetyczne, które zaburza następne pakiety. W ten sposób niewielkie początkowe zaburzenie w pozycji lub energii jednego pakietu jest przenoszone na sąsiadów i przy pewnych warunkach fazowych ich oscylacje mogą się wzmacniać prowadząc do utraty wiązki. Takie kolektywne niestabilności mogą być silne w LHC ze względu na duży prąd wiązki potrzebny dla osiągnięcia wysokiej luminancji. Ich wpływ jest minimalizowany przez staranny dobór własności elektromagnetycznych elementów otaczających wiązkę. Na przykład, ze względu na termiczne przemieszczenia urządzeń podczas schładzania zastosowano specjalne mieszkowate połączenia elastyczne na rurze wiązki. Zwoje tych mieszków są ekranowane od wiązki za pomocą cienkich paluszków wyposażonych w ślizgające się kontakty. Wewnętrzna strona nierdzewnej rury wiązki jest pokryta czystą miedzią dla zredukowania jego rezystancji przy przepływie prądu wyindukowanego wiązką. Jenak takie środki ostrożności nie mogą wyeliminować zupełnie niestabilności i skomplikowany system sprzężenia zwrotnego oraz nieliniowe soczewki zostały zaprojektowane w celu stłumienia pozostałych oscylacji.

CZĄSTKI MUSZĄ POZOSTAWAĆ STABILNE PRZEZ DŁUGI CZAS

Wiązki są utrzymywane w stanie wysokiej energii przez około 10 godzin. W tym czasie cząstki wykonują astronomiczną liczbę czterystu milionów obiegów dookoła maszyny. W tym czasie amplituda ich naturalnych oscylacji wokół centralnej orbity nie powinna znacząco wzrastać ponieważ mogłoby to rozrzedzać wiązkę i obniżyć luminancję. Jest to trudne do osiągnięcia ponieważ razem z oddziaływaniem wiązka-wiązka bardzo małe zakłócające nieliniowe składowe magnetycznego pola prowadzącego i skupiającego mogą prowadzić do ruchu o charakterze trochę chaotycznym. Po wielu obiegach cząstki mogą być tracone.

Bdania dotyczące powstawania chaosu stały się ostatnio bardzo popularne w wielu dziedzinach nauki. W szczególności w astronomii uznaje się dzisiaj, że planety systemu słonecznego wykazywałyby chaotyczne zachowanie gdyby je obserwować przez miliony lat! Projektanci zderzaczy cząstek biorą udział w tych szerokich wysiłkach, które mają bezpośredni wpływ na ich dziedzinę.

W LHC destabilizujące efekty związane z niedoskonałościami pola magnetycznego są bardziej wyraźne przy energiach początkowych. Dla niższych energii niedoskonałości pola magnetycznego są duże z powodu efektu długotrwałych prądów wirowych indukowanych przez zmiany zewnętrznego pola magnetycznego w nadprzewodzących włóknach kabli magnesów (persistent currents).

Dla energii początkowych wiązka zajmuje dużą część przekroju cewki. Musimy obliczyć aperturę dynamiczną tzn. jaki jest obszar przekroju cewki, wewnątrz którego cząstki pozostają stabilne w pożądanym czasie. Następnie musimy upewnić się, że rozmiar tego obszaru przekracza rozmiar wstrzykiwanej wiązki z wystarczającym marginesem bezpieczeństwa. Obecnie nie dysponujemy teorią przewidującą długoterminowe zachowanie się cząstek w polach nieliniowych z wystarczającą dokładnością. Zamiast tego używamy szybkich komputerów do śledzenia setek cząstek, krok po kroku, przez tysiące magnesów LHC aż do milionów obiegów maszyny. Rezultaty są używane do określenia tolerancji dla jakości magnesów na etapie projektowania i podczas produkcji.

UTRATY WIĄZKI NIE POWINNY WYPROWADZAĆ MAGNESÓW Z NADPRZEWODNICTWA

Pomimo wszystkich ostrożności czas życia wiązki nie będzie nieskończony. Część cząstek będzie dyfundować w kierunku ściany rury wiązki i będzie tracona. W takim przypadku energia cząstek jest przetwarzana na ciepło w otaczającym materiale. To może powodować przejście magnesu w stan normalnego przewodnictwa (quench) przerywając pracę maszyny na wiele godzin. Aby uniknąć tego, system skupiający będzie łapał niestabilne cząstki zanim one dotrą do ściany rury. Tak więc straty należy ograniczyć do obszarów dobrze ekranowanych i położonych daleko od elementów nadprzewodzących. LHC łączy poraz pierwszy wielki prąd wiązki przy bardzo wysokiej energii wiązki z najbardziej skomplikowaną technologią nadprzewodzącą. W konsekwencji LHC potrzebuje system ogniskowania dużo bardziej wydajnego niż poprzednie zderzacze.

SIEĆ LHC POWINNA BYĆ ELSTYCZNA

Współczesny akcelerator lub zderzacz jest wielką inwestycją, która musi pozostawić przydatne narzędzie badawcze na długie lata. Dlatego urządzenie takie musi być adoptowalne do pojawiających się potrzeb badawczych. Dla przykładu akcelerator SPS w CERNie był

przebudowywany wiele razy. Najpierw przebudowano go na zderzacz protonowo-antyprotonowy. Potem na akcelerator ciężkich jonów. Jeszcze później wykorzystano go do wstrzykiwania leptonów do LEPu. Wreszcie obecnie staje się on urządzeniem do wstrzykiwania wysokiej gęstości wiązki protonowej do LHC. Techniczne decyzje podjęte przy projektowaniu LHC zmierzały do osiągnięcia wysokiej jakości przy minimalizacji kosztów. Takie podejście znacznie obniżyło adaptowalność maszyny, ponieważ większość jej elementów jest na stałe zapakowanych i umieszczonych w ciągłym kriostacie. Projektanci mają to na uwadze i czynią wiele wysiłków aby sieć zderzacza uczynić elastyczną na ile to tylko jest możliwe, aby umożliwić przyszłą rozbudowę i dać sobie radę z nieprzewidywalnymi wymaganiami.

PROMIENIOWANIE SYNCHROTRONOWE JEST ZNACZNE W LHC

W zderzaczach elektronowo-pozytonowych utrata energii cząstki w jednej sekundzie poprzez promieniowanie synchrotronowe jest dużo większa niż energia zgromadzona w wiązce. Ta utrata musi być stale kompensowana przez system RF. W konsekwencji zjawisko to ogranicza osiągalną energię dostarczaną podczas gaszenia oscylacji cząstek. Zjawiska te są nieistotne w LHC ponieważ dzięki dużej masie cząstek energia wypromieniowywana w jednostce czasu jest tylko małym ułamkiem energii wiązki. W maszynach protonowych zjawisko to stanie się istotne dopiero przy dużo wyższych energiach (około 100 TeV). Jednak w LHC moc emitowana wynosi około 3.7 kW i nie może być zaniedbana ponieważ musi być zaabsorbowana przez rurę wiązki w temperaturze kriogenicznej. To wpływa na moc zainstalowaną systemu chłodniczego i jest istotnym składnikiem kosztów. Dodatkowo światło synchrotronowe pada na ścianki rury wiązki jako wielka liczba twardych fotonów U.V. W ten sposób uwalniane są molekuly gazu pochłaniającego istniejącego wewnątrz rury wiązki, które zwiększają resztkowe ciśnienie gazu. Fotony U.V. uwalniają także fotoelektrony, które są przyspieszane w poprzek rury wiązki przez dodatnie pole elektryczne pakietu protonów. Te szybkie fotoelektrony powiększają obciążenie kriogeniki i mogą wzbudzać niestabilności modów poprzecznych sprzężeń pakietów cząstek.

Na podstawie: <http://lhc.web.cern.ch/lhc/general/acphys.htm>