

Streszczenie popularnonaukowe

Elektrodynamika kwantowa (QED) opisuje oddziaływanie elektrycznie naładowanych cząstek z polami elektromagnetycznymi. Często uważa się ją za najdokładniejszy opis przyrody wpływający na wiele dziedzin badań fizyki. Jest to również najdokładniej przetestowana teoria w reżimie słabych pól, w których mają zastosowanie obliczenia perturbacyjne. Wraz z postępem technologii laserowej, która zapewnia dostęp do silnych pól, pojawiają się nowe zjawiska, przewidywane dawno temu, jak np. "iskrząca" próżnia, w której może zachodzić spontaniczna produkcja par elektronów-pozytonów $e+e-$. Aby tak się stało, pole elektryczne musi być powyżej krytycznej wartości $E_{\text{crit}} = 1.3 \cdot 10^{18} \text{ V/m}$ zwanej również granicą Schwingera. Ten limit definiuje nowy reżim QED – reżim nieperturbacyjny. Chociaż tak duże pola laserowe mogą stać się dostępne w przyszłości, wartość granicy Schwingera można obecnie badać w oddziaływaniach wysokoenergetycznych wiązek elektronów laserami o łatwo osiągalnej mocy przekraczającej 300 TW, mierząc szybkość tworzonych $e+e-$ par. Stanowi to rdzeń eksperymentu LUXE zaproponowanego w DESY z elektronami o energii 16,5 GeV w Europejskim ośrodku XFEL. Wiązka elektronów zostanie wykorzystana albo do bezpośredniej interakcji z intensywną wiązką laserową, albo do wytworzenia strumienia fotonów "bremsstrahlung" który następnie zderzy się z laserem. Osiągnięta zostanie precyzja lepsza niż 10% przy wyznaczaniu granicy Schwingera. Eksperyment LUXE, który ma rozpocząć się w drugiej połowie 2024 r., może otworzyć okno na w dużej mierze niezbadany reżim nieperturbacyjny QED.

Do prawidłowej identyfikacji i zliczania sygnałów pozytonów wytwarzanych w oddziaływaniach wiązka-laser niezbędny jest drobnoziarnisty kompaktowy kalorymetr elektromagnetyczny. Grupy z AGH i TAU (Uniwersytet w Tel Awiwie, Izrael) proponują zbudowanie takiego kalorymetru typu kanapkowego (sandwich), składającego się z 20 płyt wolframowych (grubość 3.5mm, o powierzchni 55 cm x 5.5 cm) przeplatanych ultracienkimi płaszczyznami sensorowymi. Sygnały z sensorów będą odczytywane przez dedykowaną elektronikę front-end umieszczoną w pobliżu sensorów, odczytującą łącznie ponad 20 000 kanałów sensorów. Grupa z AGH posiada wieloletnie doświadczenie w rozwoju kompaktowych kalorymetrów elektromagnetycznych, a w szczególności, w projektowaniu dedykowanej elektroniki front-end w zaawansowanych technologiach CMOS, dla takich kalorymetrów. Zespoły z AGH i TAU zbudowały już w ramach współpracy FCAL prototyp kompaktowego luminometru dla przyszłych wysokoenergetycznych liniowych zderzaczy $e+e-$. W ramach niniejszego projektu grupa z AGH zamierza stworzyć nowy, cienki dedykowany moduł elektroniki front-end i połączyć go z cienkim modułem wolfram-sensor. W kolejnym kroku 20 takich modułów zostanie zintegrowanych w kompletnym kalorymetrze elektromagnetycznym. Sukces tej propozycji zapewni nowatorski kompaktowy kalorymetr, zdolny do pracy w trudnych warunkach.

Kluczowym elementem elektroniki front-end jest dedykowany wielokanałowy układ scalony ASIC (Application Specific Integrated Circuit) zaprojektowany w zaawansowanej technologii CMOS. Do odczytu kalorymetru elektromagnetycznego zostanie zaprojektowany 32-kanałowy układ ASIC o ultraniskiej mocy, w technologii CMOS 130 nm. Architektura projektu i wybór technologii zapewnią bardzo niski pobór mocy potrzebny do zintegrowania front-endu z sensorami, bez dodatkowego chłodzenia. Architektura elektroniki front-end pozwoli odczytywać sygnały kalorymetryczne w szerokim zakresie, począwszy od kilku femtokulombów dla cząstek minimalnie jonizujących (MIP) do kilkuset femtokulombów dla sensorów umieszczonych w centrum kaskady elektromagnetycznej. Grupa z AGH posiada wieloletnie doświadczenie w projektowaniu dedykowanych układów ASIC odczytowych w technologiach submikronowych CMOS, zdobyte podczas opracowywania takich układów ASIC do eksperymentów fizyki wysokich energii takich jak LHCb na LHC czy PANDA na FAIR.