

Popularnonaukowe streszczenie projektu

Współczesne teorie fizyczne opisują świat z coraz większą precyzją jednocześnie wykorzystując coraz bardziej wyrafinowany język matematyczny. Sprawia to, że zbadanie poprawności zdefiniowania danej teorii fizycznej oraz wyznaczenie jej przewidywań w konkretnych przypadkach często nie jest łatwym zadaniem. Jedną z takich teorii jest elektrodynamika kwantowa. Opisuje ona oddziaływanie cząstek naładowanych, takich jak elektrony oraz ich antycząstki pozytony, ze światłem czyli promieniowaniem elektromagnetycznym, które jest traktowane jako strumień nieposiadających masy cząstek zwanych fotonami. Przewidywania elektrodynamiki kwantowej zostały potwierdzone eksperymentalnie z dokładnością sięgającą $1 : 100\,000\,000\,000\,000$, jednak pomimo spektakularnych sukcesów nasze zrozumienie jej struktury w dalszym ciągu nie jest w pełni satysfakcjonujące.

Elektrodynamika kwantowa podobnie jak inne modele kwantowej teorii pola jest używana przy opisie zderzeń cząstek badanych na przykład w Wielki Zderzacz Hadronów w pobliżu Genewy. Opis wspomnianych zderzeń nazywanych często bardziej precyzyjnie procesami rozpraszania cząstek jest przedmiotem rozważanego projektu. Okazuje się, że w przypadku zderzeń cząstek, które oddziałują jedynie z cząstkami masywnymi, możemy przyjąć, że zarówno przed, jak i po zderzeniu cząstki poruszają się po prostych zachowując się prawie jak cząstki swobodne. Jest to standardowe założenie, które przestaje być jednak prawdziwe jeżeli niektóre ze zderzanych cząstek mogą oddziaływać wymieniając między sobą cząstki bezmasowe. Sytuacja taka ma miejsce na przykład w elektrodynamice kwantowej gdzie cząstki naładowane oddziałują ze sobą za pośrednictwem bezmasowych fotonów. Ze względu na długozasięgowy charakter oddziaływań, w których pośredniczą cząstki bezmasowe, zachowanie cząstek naładowanych uczestniczących w procesie rozproszeniowym nawet długo po zderzeniu nie jest podobne do zachowania cząstek swobodnych. Prowadzi to do szeregu trudności zwanych problemami podczerwonymi. Zasadniczym celem omawianego projektu jest rozwiązanie powyższych problemów oraz sformułowanie uogólnionej teorii rozpraszania, którą można zastosować również do modeli z długozasięgowymi oddziaływaniami.

Wspomniane powyżej trudności pojawiające się przy opisie rozpraszaniu cząstek naładowanych są bezpośrednio powiązane z faktem, że cząstki te otacza zawsze pewne pole elektromagnetyczne, zwane polem kulombowskim. Ze względu na jego istnienie cząstki obdarzone ładunkiem elektrycznym nie mogą mieć ściśle określonej masy. Sprawia to, że ich opis teoretyczny przy pomocy znanych metod jest jedynie przybliżony. Z drugiej strony ze względu na fakt, że fotony mają zerową masę ich całkowita energia może być dowolnie bliska zeru. W rezultacie zasada zachowania energii nie daje żadnego górnego ograniczenia na maksymalną liczbę fotonów wyprodukowanych w danym procesie. Z tego względu konsystentna interpretacja promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przy rozpraszaniu cząstek naładowanych jako strumienia fotonów nie zawsze jest możliwa. Uzyskane wyniki powinny umożliwić lepsze zrozumienie powyższych problemów oraz pozwolić na bardziej precyzyjną definicję pojęcia cząstki w kwantowych teoriach pola z długozasięgowymi oddziaływaniami.