

ӘӨЖ 539.171.018

SPD NICA ЖОБАСЫНДАҒЫ DD-ШАШЫРАУЫНЫҢ ПОЛЯРИЗАЦИЯЛЫҚ ӘСЕРЛЕРІ

Есдаулет С.А., Есенов А.М.

Yesdaulet.sa@gmail.com

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің «Ядролық физика» мамандығы бойынша 1-ші курс магистранттары
Ғылыми жетекші – Темербаев А.А.

Адрондардың, яғни күшті өзара әрекеттесу негізінде құрылған бөлшектердің спиндік құрылымы кванттық хромодинамиканың ең күрделі мәселелерінің бірі болып табылады. Бұл теория жоғары энергиялы адрондардың өзара әрекеттесуін есептеу кезінде өте жақсы жұмыс істейді. Мысалы, үлкен адрон коллайдерінде. Төмен энергияларда, өкінішке орай, ол соншалықты сәтті емес. Сутегі атомын алайық: протонның электронмен қалай әрекеттесетінін біле отырып, біз атомның барлық қасиеттерін оңай болжай аламыз. Бірақ адрондардың негізгі қасиеттері-олардың массасы, зарядтың таралуы, құрылымы, оның ішінде айналдыру-алғашқы принциптерден әлі анықталған жоқ. Сондықтан адрондардың спиндік құрылымы туралы ақпаратты тек тәжірибелік жолмен алуға болады. Протонның айналуы ондағы партондардың-кварктар мен глюондардың, сондай-ақ олардың орбиталық моменттерінің айналуынан күрделі түрде тұратынын білеміз. Нуклон импульсінің бағыты, нуклонның артқы бағыты, партонның артқы бағыты және нуклонның ішіндегі партонның көлденең қозғалыс импульсі арасында өте күрделі байланыс бар екенін білеміз. Бұл корреляциялар кварктар үшін жақсы зерттелген, ал глюондарда ақпарат өте аз.

NICA коллайдерінің екі қиылысу нүктелерінің біріне орналастыру жоспарланған тәжірибелік SPD қондырғысы протон мен дейтронның спиндік құрылымын жан-жақты зерттеуге арналған. Негізгі назар олардың полярланған глюон компоненттерін үйлесімділігі және тікелей фотондардың инклюзивті туылу реакцияларында, сондай-ақ протондар мен дейтрондардың полярланған сәулелерінің массалық орталық жүйесіндегі энергиясы 27 ГэВ-қа дейінгі және жарықтығы 1032 см⁻² с⁻¹-ге дейінгі соқтығысуларындағы басқа да иілуге тәуелді

құбылыстарды зерттеуге аударылады.

Тиісті спиндік асимметрияны өлшеу арқылы протонның (дейтронның) спин бағыттары, оның импульсі, протонның (дейтронның) ішіндегі глюондардың бойлық және көлденең импульстері арасындағы корреляциялар бойынша деректер алынады. Ұқсас корреляцияларды сипаттайтын функциялар адрондар үшін олардың массасы, заряды, магниттік моменті, форма факторы және т.б. сияқты негізгі шамалар болып табылады.

Орнату жұмысының бірінші кезеңінде, соқтығысудың жобалық жарықтығы мен энергиясына жеткенге дейін серпімді р-р және d-d шашырауларындағы спиндік эффектілерді зерттеуге, көп корреляциялар мен жаңа байланысты күйлерді іздеуге, табалдырықтың шамасын, гиперондардың поляризациясын зерттеуге және т. б. негізделеді.

Полярланған протон (дейтрон) сәулелерін қолдана отырып, SPD-де жүргізілген зерттеулер ANKE-COSY және SATURNE үдеткіштеріндегі төмен энергиялы өлшеулер мен RHIC коллайдері мен LHC-де жоспарланған қозғалмайтын нысанды эксперименттер арасындағы кинема тикалық диапазонды толтырады. Берілген энергия диапазонындағы дейтрондардың поляриланған сәулелерімен жұмыс істеу мүмкіндігі мүлдем ерекше.

SPD детекторы өзінің функционалдығы бойынша MPD детекторынан айтарлықтай ерекшеленетінін атап өткен жөн. Бұл қондырғылардың әрқайсысы өздерінің ғылыми мәселелерін шешу үшін оңтайландырылған және олар бір-бірін толығымен алмастыра алмайды. Егер MPD қайталама бөлшектердің үлкен көптігі жағдайында және ауыр иондардың соқтығысуы кезінде салыстырмалы түрде төмен жарықтылық жағдайында жұмыс істеу үшін оңтайландырылса, онда SPD-де протондар мен дейтрондардың сәулелерімен жұмыс істеу кезінде үлкен көптік күтілмейді, бірақ жарықтылық бірнеше тапсырыс бойынша жоғары болады деп жоспарлануда.

Қолжетімді күйлер мен поляризация комбинацияларының негізгі сипаттамасы төмендегідей: протондар (екінші кезеңде гелий-3 иондары болуы мүмкін: векторлық поляризация, бөлшектердің жылдамдығына қатысты бойлық және көлденең бағыт);

дейтрондар: векторлық және тензорлық поляризация, поляризацияның тік бағыты, шамамен 4 ГэВ/с импульске дейін бойлық поляризация және шамамен 13 ГэВ/с дискретті импульстағы бойлық поляризация;

кез келген қол жетімді поляризацияланған бөлшектермен соқтығысу мүмкіндігі: 1032 см-2 с-1 дейінгі жарықтығымен рр және соқтығыс энергиясы эквивалентіндегі жарықтығы 1030 см-2 с-1 dd, pd, p³He, d³He рр соқтығыстары;

асимметриялық соқтығыстар мүмкіндігін орнатудың болашақ дамуының нұсқасы ретінде қарастыру керек;

жүйелі белгісіздікті айтарлықтай азайту үшін ең аз уақыт ішінде барлық шоғырларда бір уақытта 90° қадаммен поляризация бағытын айналдыруға мүмкіндік беретін айналдыру жүйесі енгізілді.

Айналдыру динамикасы тұрғысынан NICA коллайдері екі режимде жұмыс істей алады, атап айтқанда: айқын айналу режимінде (DS режимі) және айналдыру мөлдірлігі режимінде (ST режимі). DS режимінде спиннің бөлшек орбитасы бойымен периодты қозғалысы жалғыз мүмкін болады, яғни стационарлық магниттік құрылым бөлшек орбитасының кез келген нүктесінде және спиннің бөлшек бөлігінде поляризация векторының жалғыз тұрақты бағытын таңдайды. ST режимінде айналдыру векторының бағыты әрбір бұрылыстың кез келген нүктесінде ойнатылады, яғни. үдеткіштің (немесе сақтау сақинасының) магниттік құрылымы спинге мөлдір - спиндік бөлшек бөлігі нөлге тең. DS және ST режимдерінің негізгі айырмашылығын физикалық деректерді алу кезінде айналу бағытымен манипуляциялау кезінде байқауға болады. ST режимінде спиндік қозғалыс магнит өрісінің өзгеруіне өте сезімтал, өйткені бөлшектер бүтін резонансқа жақын жерде қозғалады. Қосымша «әлсіз» магнит өрісін пайдаланған жағдайда $\phi \ll 1$ кішкентай бұрыштар арқылы спиннің айналуы коллайдердің кез келген берілген нүктесінде поляризацияның қажетті бағытын қамтамасыз етеді. 13,5 ГэВ/дейінгі импульс диапазонында NICA коллайдерінде бұралу бұрышының қажетті өзгерісін жасау үшін тұйық бөлшектер орбитасына елеусіз бұрмаланулар әкелетін өріс интегралы 1 Тм болатын

жұп соленоидтарды қолдануға болады. DS-режимі жағдайында ұқсас процедура күшті өріске негізделген, $\varphi \sim 1$ бұрыштары бойынша спиндерді айналдыруды қажет етеді. Осылайша, поляризация бағыты бойлықтан көлденеңге өзгерген жағдайда, бұл бөлшектің тұйық орбитасының қатты бұрмалануына әкелетін жалпы интегралы $20 \div 30$ Т м болатын көлденең өрісті қолдану қажет. Төмен қуаттарда бұрмалану амплитудасы ондаған сантиметрге жетуі мүмкін. Осылайша, иондардың, әсіресе дейтрондардың поляризациясын квазистационарлық әлсіз өрістердің көмегімен тиімді бақылау ST режимін қолданғанда ғана мүмкін болады. NICA коллайдерінің оның түзу сызықтарына енгізілген екі соленоидты конфигурациясы протондар мен дейтрондардың поляризацияланған сәулелерімен DS және ST режимдерінде жұмыс істеуге мүмкіндік береді. SPD қондырғысында алынатын протон мен дейтронның спиндік құрылымы туралы жаңа мәліметтер бізді кванттық хромодинамиканың негізгі негіздерін түсінуге жақындатады. Мүмкін, бұл алғашқы принциптерден адрондардағы кварктар мен глюондардың динамикасын түсінуге мүмкіндік береді, бұл қазіргі уақытта КХД шешілмеген негізгі мәселелерінің бірі болып табылады.

Сонымен, SPD детекторы-спиндік физика детекторы-қарапайым химиялық элементтердің- сутегі мен оның дейтерий изотопының ядроларындағы жұмбақ глюон шамасы туралы білмейтін нәрсені зерттейді. SPD эксперименті барлық көрінетін ғаламның массасын алып жүретін глюондардың айналуы мен импульсі қалай бөлінетіні туралы ақпарат беруі керек.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. <https://nica.jinr.ru/ru/projects/spd.php>
2. I.A. Savin, A.V. Efremov, D.V. Peshekhonov, A.D. Kovalenko, O.V.Teryaev, O.Yu. Shevchenko, A.P. Nagajcev, A.V. Guskov, V.V. Kukhtin, N.D. Topilin. Spin Physics Experiments at NICA-SPD with polarized proton and deuteron beams // Particle Physics on 25–26 June 2014. P.13-34
3. arXiv:2102.00442v3 [hep-ex] 2 Feb 2022