

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Кирилліна Ігоря Володимировича
«Орієнтаційні ефекти при проходженні релятивістських
заряджених частинок через зігнуті кристали»,
яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора фізико-
математичних наук (спеціальність 01.04.02 – «теоретична фізика»)

Дисертація Ігоря Володимировича Кирилліна присвячена теоретичному дослідженню ефектів, які виникають при русі релятивістських заряджених частинок в прямих та зігнутих кристалах, орієнтованих відносно початкового напрямку руху частинок під малим кутом до однієї з головних кристалічних осей або площин. В роботі обговорюються випадки, які реалізуються в сучасних експериментах по відхиленню високоенергетичних заряджених частинок, а також в експериментах з дослідження можливості зміни форми пучків таких частинок. Ефекти та явища, які вивчаються, важливі для задач керування пучками заряджених частинок високої енергії, генерації електромагнітного випромінювання при прискореному русі таких частинок та дослідження іонізаційних втрат енергії негативно заряджених частинок в орієнтованих кристалах. Таким чином, тема дисертаційної роботи І.В. Кирилліна є безсумнівно актуальною.

Актуальність досліджень дисертаційної роботи І.В. Кирилліна підтверджується також тим, що вони є складовою частиною наступних проєктів, які виконувались в Інституті теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України: дві базові програми НАН України на проведення наукових досліджень з атомної науки та техніки (номери державної реєстрації 0111U09550 та 0116U007070), дві цільові програми наукових досліджень НАН України (номери державної реєстрації 0118U100327 та 0120U103570) та п'ять науково-дослідних робіт НАН України та Державного фонду

фундаментальних досліджень України (номери державної реєстрації 0114U002898, 0116U004398, 0118U006496, 0115U005153, 0120U103567, 0115U005610, 0116U002983), в яких дисертант виступав у ролі виконавця, а також грант НАН України дослідницькій групі молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки (номер державної реєстрації 0118U100199), додаткова відомча тема наукових досліджень Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України (номер державної реєстрації 0119U102937) та грант Президента України за конкурсним проєктом Державного фонду фундаментальних досліджень України (номер державної реєстрації 0117U001680), в яких він виступав у ролі керівника проєктів.

За змістом і структурою дисертаційна робота повністю відповідає вимогам до докторських дисертацій — її викладено на 331 сторінці друкованого тексту, вона складається зі вступу, шести основних розділів, висновків і списку використаних джерел із 380 найменувань. У вступі, окрім окреслення зазначеної структури дисертаційної роботи, наведено обґрунтування вибору теми досліджень із зазначенням її актуальності, сформульовано основні завдання, вказано наукову новизну отриманих результатів, їх практичне та наукове значення, особистий внесок здобувача, апробацію результатів на вітчизняних та міжнародних конференціях і семінарах.

Перший розділ присвячено огляду літератури за темою орієнтаційних ефектів у прямих та зігнутих кристалах. Результатом цього огляду є формулювання актуальності теми дисертаційної роботи. Особлива увага при цьому приділена різним механізмам відхилення релятивістських заряджених частинок при їх проходженні через зігнуті кристали.

У другому розділі проведено дослідження залежності ймовірності близьких зіткнень заряджених частинок високої енергії з атомами зігнутого кристала від орієнтації кристала відносно початкового напрямку руху частинок. Показано, що для позитивно заряджених частинок осьова

орієнтація відповідає найнижчій ймовірності близьких зіткнень з атомами та показана істотна відмінність в області малих кутів. З фундаментальної точки зору цей результат є важливим, оскільки в цьому розділі обчислено ймовірність близьких зіткнень з атомами зігнутого кристала як функцію кута падіння частинок на ланцюжок атомів і проведено порівняння з відповідними результатами для модельних потенціалів. З практичної точки зору цей результат є важливим з огляду на те, що чим меншою є вказана ймовірність, тим повільніше у кристалі, який використовується для відхилення частинок, будуть накопичуватися дефекти. Таким чином, отримана залежність дозволяє вказати механізм відхилення частинок, при якому ефективність відхилення буде повільніше зменшуватися з часом. Аналогічну залежність знайдено і для негативно заряджених частинок. Показано, що в цьому випадку найнижча ймовірність близьких зіткнень з атомами відповідає об'ємному відбиттю частинок від зігнутих атомних площин кристала.

У третьому розділі досліджено вплив некогерентного розсіювання частинок, спричиненого тепловими коливаннями атомів кристала та розсіюванням на електронах у кристалі, на ефективність відхилення негативно заряджених частинок у зігнутому кристалі. Теоретичний опис процесу стохастичного відхилення та процесу площинного каналювання високоенергетичних заряджених частинок узагальнено на випадок, в якому враховано некогерентне розсіювання частинок. Показано існування максимуму у залежності ефективності відхилення частинок від радіуса вигину кристала та знайдено залежність положення цього максимуму від енергії частинок.

Четвертий розділ присвячено аналізу можливості зміни форми пучків релятивістських заряджених частинок при їх проходженні через зігнутий кристал. Показано, що при осьовій орієнтації кристала можливе розщеплення початкового пучка позитивно заряджених частинок на декілька частин. Таке розщеплення пучка відповідає зміні режиму руху частинок, а саме переходу з режиму руху у полі атомних ланцюжків до площинного каналювання

частинок. Передбачено можливість несиметричного розщеплення пучка, при якому кількість частинок у вторинних пучках буде суттєво відрізнятися.

У п'ятому розділі досліджено характеристики спектрів іонізаційних втрат енергії релятивістських негативно заряджених частинок при їх площинному каналюванні в прямому та зігнутому кристалі. Знайдено зв'язок між характеристиками цих спектрів та відношенням довжини деканалювання заряджених частинок у кристалі до товщини кристала, а також від радіуса вигину кристала. Передбачено можливість вимірювання довжини деканалювання негативно заряджених частинок за допомогою аналізу спектрів іонізаційних втрат енергії цих частинок.

Шостий розділ присвячено аналізу впливу розсіювання високоенергетичних позитивно заряджених частинок на ланцюжках атомів при площинному каналюванні частинок на стабільність режиму каналювання. Показано, що при певних орієнтаціях кристала вказане розсіювання призводить до швидкого деканалювання частинок. У випадку зігнутого кристала знайдена залежність ефективності відхилення частинок від кута падіння частинок на атомні ланцюжки. Знайдена область кутів, для яких розсіювання на окремих ланцюжках атомів не впливає на ефективність відхилення при площинному каналюванні. Також в цьому розділі узагальнено теоретичний опис випромінювання каналюючих частинок у випадку, коли стають помітними локальні максимуми у спектрі випромінювання, пов'язані з розсіюванням на окремих ланцюжках атомів кристала. Знайдено залежність положення піку, пов'язаного з розсіюванням на атомних ланцюжках, у спектрі випромінювання позитивно заряджених частинок, які рухаються у кристалі у режимі площинного каналювання.

Результати, які представлені у дисертації, і її висновки є обґрунтованими та достовірними, оскільки вони отримані із застосуванням сучасних та добре апробованих методів теоретичної та обчислювальної фізики, і аналітичні результати підтверджено чисельними розрахунками.

Дисертація повною мірою відповідає спеціальності 01.04.02 – «теоретична фізика».

По змісту дисертації виникло декілька зауважень здебільше рекомендаційного характеру:

1. В розділі 3 було знайдено залежність максимального кута відхилення релятивістських негативно заряджених частинок від енергії частинок. Було б доцільно провести порівняння цього кута з кутом відхилення заряджених частинок, який можна отримати за допомогою магнітних систем відхилення.

2. В розділі 4 було розглянуто можливість зміни форми пучків релятивістських позитивно заряджених частинок. При цьому показано можливість розщеплення пучка на декілька пучків. Було б доцільно розглянути також можливість фокусування пучка заряджених частинок за допомогою зігнутого кристала.

Наведені зауваження не зменшують наукову вагу та важливість отриманих результатів, а також загальну високу оцінку роботи. Дисертація відмінно структурована і якісно написана. Основні результати опубліковано в 13 статтях, більшість з яких у всесвітньо відомих фізичних журналах. Беззаперечним є особистий внесок дисертанта, що підтверджується як наявністю статей з одноосібним авторством, так і великою кількістю персональних доповідей на конференціях і семінарах. Новизна та наукове значення здобутих результатів не викликають сумнівів, а опубліковані роботи й автореферат повною мірою відображають зміст, висновки і особистий внесок автора дисертаційної роботи. Дисертація І.В. Кирилліна є закінченою науковою роботою, в якій проведено теоретичний опис орієнтаційних ефектів, які мають місце при русі релятивістських заряджених частинок у зігнутих кристалах. Отримані нові результати мають не тільки фундаментальне, а й прикладне значення, оскільки вони можуть бути використані, зокрема, як для постановки нових експериментів в багатьох світових прискорювальних центрах, так і для застосування зігнутих кристалів

для виведення пучків високоенергетичних заряджених частинок з прискорювачів, розщеплення пучків на декілька частин, зміни форми пучків на малих відстанях, відхилення короткоживучих частинок та генерації електромагнітного випромінювання в широкому діапазоні частот.

Враховуючи високу актуальність обраної теми, наукову значимість і новизну отриманих результатів, достовірність і обґрунтованість висновків, вважаю, що дисертація «Орієнтаційні ефекти при проходженні релятивістських заряджених частинок через зігнуті кристали» повністю задовольняє вимогам до докторських дисертацій, зокрема, п.п. 9,10,12,13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р., № 567 від 27.07.2016 р.), а автор дисертаційної роботи, Кириллін Ігор Володимирович, повною мірою заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
відділу теорії ядра і квантової теорії поля
Інституту теоретичної фізики
імені М.М. Боголюбова НАН України

Д.В. Анчишкін

