

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»)

У дисертаційній роботі І.В. Кирилліна проведене теоретичне дослідження низки орієнтаційних ефектів, які виникають при русі заряджених частинок високої енергії у зігнутих кристалах. Тема дисертаційної роботи І.В. Кирилліна є безсумнівно актуальною, зокрема, завдяки можливим застосуванням зігнутих кристалів для керування пучками релятивістських частинок у прискорювачах частинок. Сильні електричні поля всередині кристала дозволяють на малих відстанях змінювати напрямок руху високоенергетичних заряджених частинок. Завдяки цьому, при проходженні пучка таких частинок через зігнутий кристал можна відхилити напрямок його руху, або навіть розділити пучок на декілька пучків. Також про актуальність проведеного дослідження свідчить велика кількість наукових проєктів, в рамках яких воно виконувалося. У дев'яти з них дисертант виступав у ролі виконавця, а у трьох – у ролі керівника проєкту.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертаційної роботи зумовлюється тим, що для вирішення поставлених у дисертації задач використовувалися добре апробовані методи теоретичної фізики та чисельні методи дослідження, а також тим, що результати, отримані аналітично, добре узгоджуються з результатами чисельних розрахунків. Крім того, про достовірність результатів свідчить те, що вони опубліковані у вітчизняних і зарубіжних виданнях, а також доповідалися на міжнародних конференціях та симпозіумах.

Дисертаційна робота повною мірою відповідає спеціальності 01.04.02 – «теоретична фізика». За змістом і структурою вона повністю відповідає вимогам до докторських дисертацій. Дисертацію викладено на 331 сторінці друкованого тексту. Вона складається зі вступу, шести основних розділів, висновків і списку використаних джерел із 380 найменувань. У вступі обґрунтовано вибір теми досліджень, сформульовано основні завдання, зазначено актуальність теми та вказано наукову новизну отриманих результатів, їх наукове та практичне значення, особистий внесок здобувача, апробацію результатів на вітчизняних та міжнародних конференціях і семінарах.

У першому розділі проведено огляд літератури, яка присвячена дослідженню орієнтаційних ефектів у прямих та зігнутих кристалах, та зазначені задачі, які потребують розв'язання.

Другий розділ присвячено дослідженню залежності ймовірності близьких зіткнень релятивістських заряджених частинок з атомами зігнутого кристала від кута між імпульсом частинок та кристалічною віссю або площиною. В цьому розділі побудовано теоретичний опис ефекту зменшення ймовірності близьких зіткнень релятивістських заряджених частинок з атомами при певних орієнтаціях кристала. Залежність вказаної ймовірності від орієнтації кристала, яка була знайдена в цьому розділі, показала, що для позитивно заряджених частинок мінімум ймовірності близьких зіткнень частинок з атомами відповідає осьовій орієнтації кристала, а для негативно заряджених частинок ця ймовірність має мінімум для надбар'єрних частинок.

У третьому розділі із урахуванням некогерентного розсіювання на теплових коливаннях атомів кристала та електронах розвинуто теоретичний опис стохастичного відхилення та площинного каналювання релятивістських заряджених частинок у зігнутому кристалі. Урахування некогерентного розсіювання дозволило показати існування максимуму в залежності ефективності відхилення негативно заряджених частинок від радіуса вигину кристала та вказати на існування оптимального радіуса вигину кристала, якій

відповідає цьому максимуму. Цей результат є важливим не тільки з фундаментальної точки зору, але є важливим і для практичного застосування зігнутих кристалів для відхилення релятивістських негативно заряджених частинок.

У четвертому розділі проведено дослідження можливості зміни форми пучків релятивістських заряджених частинок при їх проходженні через зігнутий кристал. Показано, що при певних орієнтаціях кристала можливе розділення початкового пучка позитивно заряджених частинок на декілька пучків та знайдено оптимальні умови для такого розділення. Передбачено можливість розділення пучка, при якому кількість частинок у вторинних пучках буде суттєво відрізнятися.

П'ятий розділ присвячено питанню іонізаційних втрат енергії релятивістських негативно заряджених частинок при площинному каналюванні в прямих та зігнутих кристалах. В цьому розділі отримано спектри іонізаційних втрат енергії релятивістських негативно заряджених частинок при площинному каналюванні в прямому та зігнутому кристалі, товщина якого є близькою до довжини деканалювання частинок, а також вказано на можливість вимірювання довжини деканалювання негативно заряджених частинок за допомогою аналізу спектрів іонізаційних втрат енергії цих частинок.

У шостому розділі розглянута задача про вплив розсіювання високоенергетичних позитивно заряджених частинок на ланцюжках атомів кристала на стабільність режиму площинного каналювання цих частинок. Розвинуто теоретичний опис цього процесу та показано, що інтенсивність розсіювання на окремих атомних ланцюжках суттєво залежить від кута між початковим імпульсом частинок та кристалічною віссю. Отримано залежність кількості позитивно заряджених частинок, які при русі в орієнтованому кристалі залишаються в режимі площинного каналювання, від кута між початковим імпульсом частинок та кристалічними атомними площинами, в полі яких рухається частинка, та від кута між початковим

імпульсом частинок та площиною, яка містить у собі кристалічну вісь, поблизу якої орієнтовано кристал, і є ортогональною до атомних площин, в полі яких має місце каналювання. Крім того, в цьому розділі розвинуто теоретичний опис випромінювання каналюючих частинок у випадку, коли стають помітними локальні максимуми у спектрі випромінювання, пов'язані з розсіюванням на окремих атомних ланцюжках.

При ознайомленні з дисертаційною роботою виникло декілька зауважень здебільшого рекомендаційного характеру:

1. В дисертаційній роботі проведено розгляд орієнтаційних ефектів, які виникають при русі релятивістських заряджених частинок у прямих і зігнутих кристалах. При цьому числове моделювання проводилося лише для випадку руху частинок у кристалі кремнію. Було б доцільно розширити розгляд на випадок кристалів з іншими типами кристалічної ґратки.

2. В розділі 4 розглянуто питання зміни напрямку руху релятивістських заряджених частинок у зігнутому кристалі та процес переходу з режиму стохастичного відхилення заряджених частинок до режиму площинного каналювання. В зазначеному випадку було б доцільно розглянути також процес дифузії частинок в координатному просторі, оскільки перехід з одного режиму руху до іншого має супроводжуватися зміною значення показника дифузії.

Однак, вказані недоліки не зменшують значення здобутих у дисертації результатів та загального доброго враження від неї. Наукові результати, положення та висновки, сформульовані в дисертації, опубліковані в 13 статтях, більшість з яких у всесвітньо відомих фізичних журналах, і пройшли апробацію на 15 вітчизняних і міжнародних наукових конференціях. 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. Важливим є також те, що отримані результати мають не тільки фундаментальне, а й прикладне

значення і можуть бути використані, зокрема, для постановки нових експериментів в багатьох світових прискорювальних центрах.

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,
професор, завідувач відділу теорії
конденсованого стану речовини

Інституту монокристалів НАН України

В.В. Яновський

Підпис засвідчую:

Учений секретар Інституту монокристалів

НАН України

Канд. фіз.-мат. наук



К.М.Кулик