

Відгук офіційного опонента
на дисертацію Ковтуна Володимира Євгенійовича «Міюонні детектуючі системи
установок CDF II (FNAL) і ATLAS (CERN)» на здобуття наукового ступеня кандидата
фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.16 - фізика ядра, елементарних
частинок і високих енергій.

До початку створення сучасних колайдерних установок було розроблено багато нових типів детекторів, що мають унікальні параметри при реєстрації елементарних частинок. Значного розвитку набули електромагнітні і адронні калориметри - детектори злив частинок високих енергій. В якості активного елементу таких детекторів використовуються пластмасові скінтілятори, одержувані методом лиття під тиском. Для реєстрації одиночних частинок широко використовувалися скінтіляційні лічильники і годоскопи, за допомогою яких можна було здійснювати селекцію частинок у напрямку, по координатах, часу прольоту і т.п. Їх можна було масово виробляти методами екструзії або блочною полімеризацією з мономера та подальшою механічною обробкою. Протягом багатьох років в численних прискорювальних експериментах добре себе зарекомендували пластмасові детектори на основі матриць полівінілтолуола і полістиролу зі скінтілюючими добавками RTP і POPOR, або аналогічних. Питання про радіаційне навантаження на детектор не був принциповим, тому що багато установок працювали на досить «чистих» вивідних пучках і це не приводило до суттєвих змін параметрів детекторів. З іншого боку, при необхідності, можна було досить легко замінити пошкоджені детектори, тим більше, що вартість їх незначна, в порівнянні з іншими типами детекторів.

Ситуація значним образом змінилася у період будівництва суперколайдерів - УНК, SSC, LHC та великих фізичних установок. Високі енергії протонних пучків колайдерів створюють значний фон вторинних частинок. Протягом тривалих сеансів детектори мають значні радіаційні навантаження - до 100 Мрад за 10 років. Багато типів детекторів з унікальними параметрами не могли використовуватися через їх високу собівартість і значні трудовитрати при налаштуванні. Тому природно було використовувати скінтіляційні детектори.

Таким чином, не викликає сумнівів актуальність обраної теми дисертаційної роботи Ковтуна В.Є., спрямовану на розробку радіаційно-стійких скінтіляційних детекторів, які входять до складу міюонних систем колайдерних установок, зокрема, - до тригера першого рівня установки CDF во FNAL та установки ATLAS в ЦЕРНі.

Як впливає з дисертаційної роботи, основна увага харківської групи (співробітництво «Полімерний калориметр») на першому етапі було приділено вирішенню питання заміни мюонних лічильників установки CDF для роботи у другому сеансі. Це завдання вирішувалося в обмежені терміни, пов'язані з модернізацією прискорювача Теватрон. Драматичні події, пов'язані з падінням швидкості рахунку рідкісних подій топ-кварків на установці CDF через вплив радіації, показали, що актуальним є розробка сцинтиляційного лічильника нового покоління з поліпшеними параметрами.

Основна властивість сцинтиляційних детекторів - висока швидкодія, що робить їх унікальними при використанні в якості тригера першого рівня при апаратному відборі рідкісних подій на рівні значного супроводжуючого фону. В експерименті CDF при пошуку подій народження топ-кварка найбільш надійними були саме події з реєстрацією мюонів. Тому актуальним стала повна модернізація мюонною системи діючої установки CDF для подальшого надійного набору статистичних даних по топ-кварку.

В першій частині дисертації детально формулюється основна мета роботи цього етапу, описуються проблеми, що виникли при розробці і створенні ефективної мюонної системи спектрометра CDF II та шляхи їх вирішення. В кінцевому рахунку, це дало змогу підвищити аксептанс установки та збільшити на два порядки надійний набір подій топ-кварків у другому десятирічному сеансі (RUN II).

Ключовим елементом мюонної системи CDF II є сцинтиляційний лічильник різних типорозмірів з волоконним зчитуванням на малогабаритний фотопомножувач. Така конструкція розроблялася вперше, тому працездатність лічильника необхідно було пред'явити в численних вимірах на експериментальних стендах. Але, як виявилось, довести це не так просто, тому що була відсутня методика прецизійного вимірювання малої кількості сигналу (у числах фотоелектронів). Математична модель реального фотопомножувача дозволила з високою точністю визначати за експериментальними спектрами параметри лічильника, що означає, що стає можливим порівнювати та покращувати технологію його виготовлення, проводити калібрування і тестування при масовому виробництві. Також вперше була показана в реальних умовах колайдерної установки ефективна працездатність мюонних лічильників з волоконним зчитуванням, був створений новий підхід до методики прецизійного калібрування спектрометричних каналів. Також були сформульовані і обґрунтовані принципи

конструювання сучасних детекторів і показано, як за рахунок правильної конструкції можна істотно поліпшити і роботу сцинтиляційних детекторів в радіаційних полях колайдерів.

Друга частина дисертаційної роботи присвячена аналогічному завданню створення мюонною системи установки ATLAS на прискорювачі LHC, тобто при значно більших енергіях та інтенсивностях пучков протонів. Вирішувалася це завдання вже іншим способом - реєстрацією мюона сцинтиляційним адронним калориметром.

Цей способ реєстрації мюона на установці ATLAS відрізняється від реєстрації мюона на установці CDF II, хоча формально детектор складався з тих же компонентів. Це було пов'язано з високою вартістю традиційної мюонною системи. Інший підхід був пов'язан з можливістю вимірювання відгуку одиночного мюона адронним сцинтиляційним калориметром, який був виготовлений вперше в проективній геометрії розташування активних сцинтиляційних пластин. Така геометрія істотно спрощувала збірку калориметру і конструкцію в цілому, але потрібно було вивчити на пучку реальний прототип з кількох модулів, тому що калориметр - система універсальна і вирішує відразу кілька завдань. Одиночний мюон взагалі ніколи до цього таким способом не реєструвався. Тому питання про тригер першого рівня залишався відкритим. Для вирішення цього завдання у ЦЕРНі була спеціально створена група RD-34 і проведені експерименти з повномасштабними прототипами модулів адронних детекторів ATLAS на прискорювачі SPS. Експериментально вдалося показати, що адронний калориметр здатний виділити з фону одиночний мюон, що дає можливість використовувати його в якості тригера рідкісних подій. Також проводилася експериментальна робота по уточненню параметрів мюона і вимір енергетичних втрат при проходженні його через пасивну речовину калориметра та залізне ярмо магнітів. Ці дані в подальшому були використані при оптимізації конструкції установки ATLAS.

Ці завдання вимагали проведення чисельних експериментів на пучках частинок і стендах, розробки прецизійних методик вимірювання, експериментального підтвердження унікальних параметрів створюваних детекторів. Слід зауважити, що мова йде про розвиток і створення детекторів для унікальних одиничних установках, на яких вирішуються фундаментальні завдання сучасної фізики елементарних частинок.

Третя частина дисертаційної роботи присвячена дослідженню радіаційної стійкості пластмасових сцинтиляторів, пошуку радіаційно-стійких сцинтиляційних композицій і розробці відповідної апаратури для таких досліджень. Спільно з групою з ЛВЕ ОІЯД в ННЦ ХФТІ на прискорювачі електронів був досліджений модуль електромагнітного калориметра (spacal-калориметр) як прототип для установки SDC колайдера SSC, що було доброю рекламою можливостей харківської групи. Але такого роду роботи досить трудомісткі й дорого коштують, тому в подальшому основну увагу було приділено пошуку радіаційно-стійких композицій. Слід звернути увагу на якісну методику прецизійного вимірювання світловихідів опромінених зразків по монохроматичній лінії конверсійних електронів джерела Cs-137. Була виконана велика програма робіт з пошуку і дослідженню кілька тисяч зразків. Дана робота дала додаткові аргументи для колаборації CDF II на користь використання пластмасового сцинтилятора UPS-923A для детекторів мюонів.

Текст дисертації добре структурований, інформативний та ілюстрований, в основному, якісними малюнками. Варто відмітити добрий огляд стану експериментальних та теоретичних робіт в галузі фізики топ-кварка, добре представлена картина створення реального детектора від ідеї до втілення на колайдері. Усі роботи носять конкретний характер та пов'язані з великими колайдерними установками світового рівня, на яких були зроблені знавчі відкриття у фундаментальній фізиці елементарних частинок. Особливо слід відзначити великий обсяг виконаних робіт. Робота проводилась у співробітництві з різними організаціями, тому на деяких етапах зажадала значних організаційних зусиль.

Автореферат ідентичний за змістом рукопису дисертації, добре оформлений і відображає її основні положення.

Таким чином, можна зробити висновок, що в дисертації отримані нові, важливі результати значного рівня в дослідженнях фізики детекторів для фундаментальної фізики високих енергій. Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у дисертації, є обґрунтованими і достовірними. Вони повністю викладені у десяти публікаціях, а також препринтах CERN, FNAL, SSC, ОІЯД, arXiv.

Недоліки.

1) Основна причина виходу з ладу сцинтиляційних детекторів установки CDF II, а точніше падіння акцептансу в цілому – підвищений вплив радіації на протязі 10 років.

З дисертаційної роботи не надто ясно, яка інтегральна доза була отримана мюонними лічильниками в залежності від місця розташування (стор.44). Можливо, що деякі лічильники мали задовільні параметри. Чи проводилися спеціальні оцінки радіаційних навантажень?

2) Варто було приділити увагу опису радіаційної стійкості волокон з добавкою Y11 (стор. 58). Цьому питанню приділялося значна увага в літературі і дана інформація була б дуже тут доречна.

3) Волоконне зчитування виявилось більш ефективним в конструкції мюонного лічильника установки CDF II, ніж традиційне – з використанням акрилових світловодів. Все-таки, не надто ясно, чому вирішено було використовувати волокна, адже заздалегідь це не було очевидним. Варто було більш детально це описати.

4) Автор докладно описує отримання функції фітування спектрів в аналітичному вигляді (стор. 79, форм. 2.31), що, як він пише, дає істотну зручність при обробці експериментальних спектрів. Проте, слід, на мій погляд, приділити увагу недолікам попереднього методу обробки з використанням інтегралів помилок і більш чітко показати можливості запропонованої автором формули. Багато питань також відноситься до пакета ROOT5 (CERN), де використовується той же пакет FUMILI. Автор вказує його зручність при обробці спектра, але призводить лише готові результати (рис.2.14).

5) Автор докладно описує лічильник установки COMBAS (ЛЯР ОІЯД) з волоконним зчитуванням на кремнієвий фотопомножувач (стор. 92) і робить висновок про можливість конструкції з більш глибокою грануляцією пластин (стор. 102). Але це твердження, на мій погляд, недостатньо обґрунтовано, тому що опис і робота такого роду детектора не наводиться детально.

6) У третьому розділі, присвяченому мюонній системі установки ATLAS, недостатньо докладно описаний експериментальний алгоритм виділення мюона в пучку SPS (стор. 126), тобто триггер на мюон, і метод Монте-Карло поділу парціальних внесків енергетичних втрат за допомогою GEANT (стор. 138).

7) У розділі, присвяченому радіаційної стійкості матеріалів сцинтиляційних детекторів, йдеться мова про оцінки радіаційних навантажень на детектори установок протягом довготривалого строку. Було відзначено про детальні розрахунки методом Монте-Карло в період будівництва колайдера SSC (стор. 146). Це дуже важливі оцінки, тому що на їх основі робляться висновки про тривалу роботу детекторів. Було б бажано в цьому місці дати більш детальну інформацію та порівняти з сьогоденною ситуацією,

в якій працюють детектори на LHC. Також це стосується аналізу роботи мюонної системи CDF II після другого десятирічного сеансу, який нещодавно завершився.

8) Автор досить схематично описує деякі експериментальні стенди. Наприклад, – автоматизований стенд полімеризації зразків (стор. 152), але не приводить температурну криву процесу полімеризації та деяке інше. Мабуть, можливо було б це зробити, бо дія йде про пластмасові скінтилятори – основну річ детектора.

9) Дослідженню прототипу модуля електромагнітного калориметра для коллайдера SSC на прискорювачі ЛПЕ-2 ГеВ (стор. 148) автор приділяє значну увагу і докладно описує. Але подальші дослідження були спрямовані на пошук радіаційно-стійких скінтиляційних композицій. І висновок про радіаційну стійкість пластмасового скінтилятора UPS-923A був зроблений саме з цих робіт (стор. 163). Природно постає запитання про аналогічний дослідженні готового мюонного лічильника на прискорювачі. Автор ніде не пише, чи проводилися такі роботи, або чому проведених робіт на стендах було достатньо, щоб зробити такий висновок.

10) На стор. 145 автор пише «На той момент теоретичних підходів не існувало, а опис впливу радіації носили, в основному, феноменологічний характер». Це дуже сильне зтвердження, бо вже на стор. 147 автор пише, що «Традиційно існує два напрямки, що інтенсивно розвиваються: поліпшення радіаційних властивостей матеріалів...» та дає посилання на відповідні літературні джерела на той час, зокрема на огляд О.О. Гундер «Исследование радиационной стойкости пластмассовых скінтиляторов». Тому треба було дати більш роз'яснень, що автор мав на увазі.

11) В п. 4.2. «Дослідження прототипу модуля ЕМ-калориметра SSC» автор докладно описує методику вимірювання та результати вимірювання радіаційної стійкості модуля. Треба також було б зв'язати ці результати з радіаційною стійкістю самого волокна. Цей останній крок автором чомусь не був зроблен.

12) У списку використаної літератури (стор. 169) можна бачити посилання на статті самого автора [22, 23], що не увійшли до публікацій здобувача за темою дисертації (стор. 182). За смислом вони відносяться до вступу з описом фізики та стану відкриття топ-кварку. Мені здається, що треба було б внести ці публікації до основного списку. Автор чомусь це не зробив.

Але ці недоліки не знижують загальної високої оцінки отриманих у роботі наукових результатів. Вказані вище зауваження не мають принципового значення,

скоріше носять методичний та технічний характер, і не зменшують наукову та практичну цінність результатів роботи.

Таким чином, в дисертаційній роботі В.Є. Ковтуна отримані нові науково обґрунтовані експериментальні результати, що в сукупності є значним досягненням, важливим для розвитку сучасних колайдерних детекторів елементарних частинок. За актуальністю обраної теми, науковою новизною і практичним значенням результатів дисертаційна робота «Мюонні детектуючі системи установок CDF II (FNAL) і ATLAS (CERN)» відповідає вимогам пунктів 9, 11, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», що пред'являються до кандидатських дисертацій, а її автор Ковтун Володимир Євгенійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.16 - фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

В.о. завідуючого відділу досліджень люмінесцентних властивостей матеріалів Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

П.М. Жмурін

Жмурін Петро Миколайович,

В.о. завідуючого відділу досліджень люмінесцентних властивостей матеріалів ІСМА НАН України

Проспект Науки, 60, 61072 Харків

Телефон: +38-057-341-02-69

Факс: +380-44-425-44-63

E-mail: zhmurin@isma.kharkov.ua

URL: [http://www.isma.kharkov.ua/eng/ Plastic Scintillators Laboratory](http://www.isma.kharkov.ua/eng/Plastic%20Scintillators%20Laboratory)

Підпис Жмуріна Петра Миколайовича засвідчую:

Вчений секретар

ІСМА НАН України



 Ю.М. Дацько