



ЗАГОРОДНІЙ

Анатолій Глібович – академік НАН України, віце-президент НАН України, голова наукової ради Цільової програми співробітництва НАН України з ЦЕРН та ОІЯД «Ядерна матерія в екстремальних умовах»

<https://orcid.org/0000-0002-7953-6726>

ПРО ВИКОНАННЯ ЦІЛЬОВОЇ ПРОГРАМИ СПІВРОБІТНИЦТВА НАН УКРАЇНИ З ЄВРОПЕЙСЬКИМ ЦЕНТРОМ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБ'ЄДНАНИМ ІНСТИТУТОМ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ «ЯДЕРНА МАТЕРІЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ»

Стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 1 грудня 2017 року

У доповіді наведено найважливіші результати фундаментальних досліджень у галузі фізики високих енергій, ядерної фізики та інших суміжних напрямів, отримані в 2016–2017 рр. у рамках виконання Цільової програми співробітництва НАН України з ЦЕРН та ОІЯД «Ядерна матерія в екстремальних умовах».

Вельмишановний Борисе Євгеновичу!
Вельмишановні члени Президії!

Програму співробітництва НАН України з Європейським центром ядерних досліджень (ЦЕРН) та Об'єднаним інститутом ядерних досліджень (ОІЯД) «Ядерна матерія в екстремальних умовах» було започатковано згідно з постановою Президії НАН України № 1 від 13.01.2016.

Мета цієї Програми полягала у створенні на основі подальшого розвитку співпраці з ЦЕРН та ОІЯД умов для успішного розвитку фундаментальних досліджень з фізики високих енергій та ядерної фізики, тобто тих галузей науки, значного поступу яких сьогодні можна досягти лише завдяки участі у великих міжнародних проєктах та дослідницьких програмах провідних міжнародних наукових центрів.

Відповідно до зазначеної мети було сформульовано основні завдання Програми:

1) підвищення рівня досліджень з фізики високих енергій та ядерної фізики, які здійснюються установами НАН України;

2) забезпечення активної участі українських науковців у проектах ЦЕРН та ОІЯД, присвячених дослідженню актуальних проблем фізики і астрофізики високих енергій (зокрема, в проєкті NICA Об'єднаного інституту ядерних досліджень), а також участі українських фізиків у формуванні фізичних програм досліджень у цих галузях;

3) забезпечення під час виконання цих проєктів відповідних можливостей обміну інформацією та ресурсів її зберігання, підтримка подальшого розвитку грид-технологій та інших інформаційних інновацій.

Участь у виконанні Програми брали провідні наукові установи НАН України, які тісно співпрацюють з ЦЕРН та ОІЯД і мають істотні досягнення в дослідженнях з фізики високих енергій та ядерної фізики. Це насамперед Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», Інститут ядерних досліджень, Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова, Інститут сцинтиляційних матеріалів Науково-технологічного комплексу «Інститут монокристалів», Інститут прикладної фізики, Інститут електрофізики і радіаційних технологій.

Протягом 2016–2017 рр. за Програмою було виконано 13 наукових проєктів. Важливо зазначити, що наукова експертиза запитів, які подавалися на участь у Програмі, здійснювалася не лише в НАН України, а й у ЦЕРН та ОІЯД, що дозволило уникнути потрапляння на конкурс так званих «випадкових» проєктів. Обсяги фінансування Програми становили: у 2016 р. — 786 тис. грн, у 2017 р. — 904 тис. грн, що, звісно, дуже мало (на один проєкт у середньому припадало менш як 70 тис. грн на рік), проте навіть за такої незначної фінансової підтримки вдалося отримати цілу низку дуже цікавих результатів. За браком часу я, на жаль, не зможу їх детально прокоментувати і обмежуся лише коротким переліком.

Розщеплення протонних струменів зігнутими кристалами. Цей дійсно унікальний результат було отримано в Інституті теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний

інститут» [1]. За ініціативою українських учених для перевірки отриманих ними теоретичних передбачень у ЦЕРНі було поставлено і проведено спеціальний експеримент з виявлення ефекту розщеплення пучка ультрарелятивістських протонів на кілька пучків при проходженні його через зігнутий кристал. Аналіз отриманих даних підтвердив основні передбачення запропонованої українськими фізиками теорії, що відкриває нові можливості для подальшого розвитку прискорювальної техніки, а саме — уможлиблює керування параметрами пучків частинок великої енергії за допомогою зігнутих кристалів на основі стохастичного механізму розсіяння частинок на вигнутих ланцюжках атомів кристала.

Активна участь України в обробленні результатів експериментів на грид-кластері ХФТІ (експеримент CMS). Одним із головних завдань Програми є підтримка і розвиток спеціалізованого обчислювального комплексу Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут», який є активним елементом грид-інфраструктури колаборації CMS другого рівня. Незважаючи на те, що цей обчислювальний комплекс створювався вже досить давно і на сьогодні його сервери вже певною мірою застарілі, рівень якості його роботи, згідно з даними ЦЕРН, за останні 2 роки становив 98% [2], що є одним з найкращих показників серед аналогічних центрів, задіяних у грид-інфраструктурі експерименту CMS (рис. 1).

Можна лише низько поклонитися перед фахівцями, які обслуговують харківський кластер і завдяки самовідданій праці яких забезпечено такі високі показники якості роботи комплексу.

Загалом за весь час роботи цього комплексу в грид-інфраструктурі колаборації CMS було оброблено близько 3,4 петабайта даних.

Пошук сигналів існування кварк-глюонної плазми. Науковцями Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова запропоновано оригінальну модель отримання сигналу з кварк-глюонної плазми. Ця модель ґрунтується на ефекті синхротронного випромінювання,

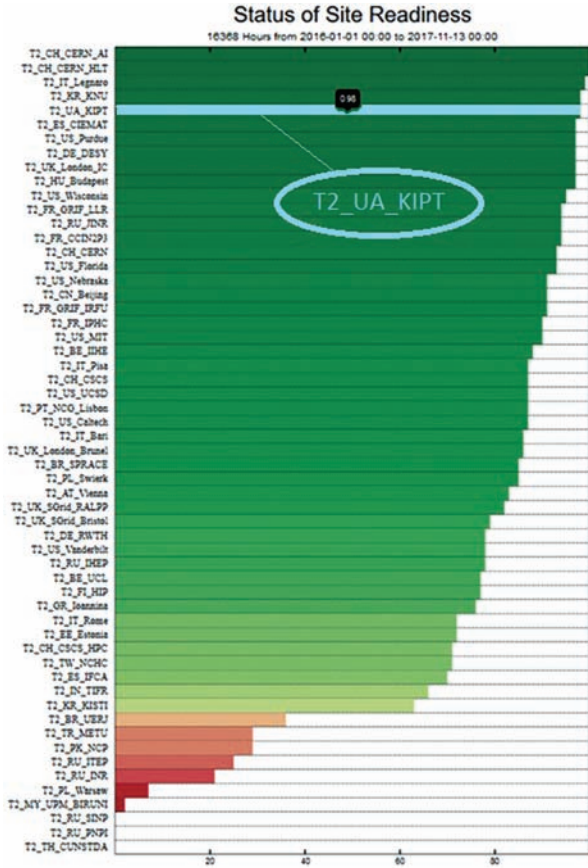


Рис. 1. Якість роботи T2-центрів колаборації CMS у 2016–2017 рр. (T2_UA_KIPT – обчислювальний комплекс ННЦ ХФТІ)

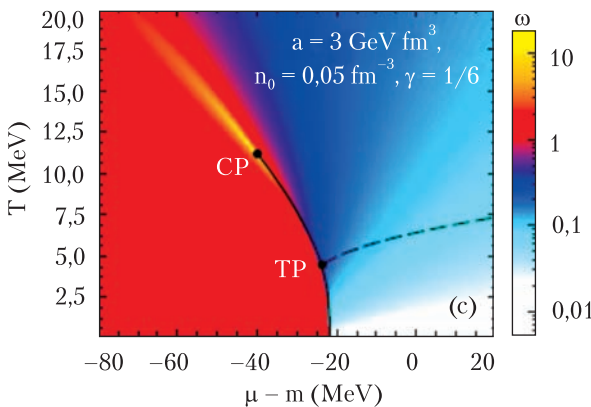


Рис. 2. Фазова діаграма системи бозе-частинок у моделі середнього поля

що виникає внаслідок взаємодії кварків з колективним кольоровим полем, яке забезпечує конфайнмент [2].

Рівняння стану ядерної матерії. Вчені Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова на основі моделі адронного резонансного газу (МАРГ) побудували фазову діаграму сильновзаємодійної речовини та її критичної точки в зіткненнях важких іонів. Рівняння стану отримано для всіх відомих адронів та адронних резонансів, що дає можливість вивчати термальну і хімічну рівновагу матерії, утвореної в ядро-ядерних зіткненнях, перед стадією розпаду резонансів та їх розльоту. Рівняння стану адронної матерії з високою надійністю описують ядерну речовину в області хімічного фрізауту [3].

У моделі середнього поля побудовано фазову діаграму системи бозе-частинок, що мають як притягальні, так і відштовхувальні взаємодії. На площині температура–хімічний потенціал знайдено дві спеціальні криві – криву фазового перетворення 1-го роду газ–рідина, яка закінчується критичною точкою, та криву початку конденсації Бозе–Ейнштейна (рис. 2) [4].

Забезпечення функціонування системи радіаційного моніторингу експерименту ЛНСб. В Інституті ядерних досліджень було розроблено та виготовлено систему радіаційного моніторингу (СРМ), а в 2016–2017 рр. – налагоджено її функціонування. СРМ входить до системи моніторингу пучка та радіаційного фону експерименту ЛНСб. Систему встановлено в районі внутрішнього трека ЛНСб. За допомогою цієї системи вимірюють розподіл радіаційних навантажень на кремнієві сенсори. Дані СРМ використовують для незалежного визначення світимості. Підтримання роботоздатності СРМ та її належна експлуатація – виключна відповідальність Інституту ядерних досліджень НАН України.

Композиційні сцинтилятори з підвищеною радіаційною стійкістю. Фахівцями Інституту сцинтиляційних матеріалів Науково-технологічного комплексу «Інститут монокристалів» проведено теоретичні розрахунки

та створено нові радіаційно стійкі композиційні скінтіляційні елементи на основі гранул силікату $Gd_2SiO_5:Ce$ (GSO:Ce) та піросилікату $Gd_2Si_2O_7:Ce$ (GPS:Ce) гадолінію. Це важливо з огляду на те, що радіаційна стійкість матеріалів є однією з ключових проблем при створенні новітніх детекторів. Усі скінтіляційні матеріали, що використовуються зараз, мають радіаційну стійкість до $D \leq 30$ Мрад, а композиційні скінтілятори, запропоновані Інститутом скінтіляційних матеріалів, характеризуються радіаційною стійкістю за значно більших накопичених доз D .

В Інституті також проведено теоретичні розрахунки та створено нові радіаційно стійкі композиційні скінтіляційні елементи на основі YSO:Ce, YAG:Ce, YAGG:Ce, які можуть бути використані як складові калориметрів в експериментах з фізики високих енергій замість пластмасових скінтіляторів (рис. 3).

Модифікація матеріалів для прискорювальних структур та дослідження таких матеріалів на вакуумній пробій. В Інституті прикладної фізики проводяться дослідження, спрямовані на подолання однієї з ключових проблем, що не дає змоги підвищити потужність прискорювачів, оскільки зі зростанням полів відбувається вакуумний пробій матеріалу.

Розроблено кілька технологій модифікації матеріалів для прискорювальних структур, які дозволяють збільшити для них пробійну напругу. Створено експериментальну установку для дослідження таких модифікованих матеріалів на вакуумній пробій (рис. 4).

Точні вимірювання двонейтринного подвійного бета-розпаду на основні стани дочірних ядер. В експерименті NEMO-3 (Neutrino Ettore Majorana Observatory) з найвищою точністю виміряно період піврозпаду відносно двонейтринного 2β -розпаду ядер ^{48}Ca і ^{150}Nd . За 70 років досліджень $2\nu 2\beta$ -розпад було спостережено лише в 11 ядрах. Встановлено нове обмеження на безнейтринний 2β -розпад ядра ^{150}Nd на рівні $T_{1/2} > 2,0 \cdot 10^{22}$ р, що дозволило обмежити ефективну масу нейтрино Майора на рівні $\langle m_{\nu} \rangle < 1,6-5,3$ eV.

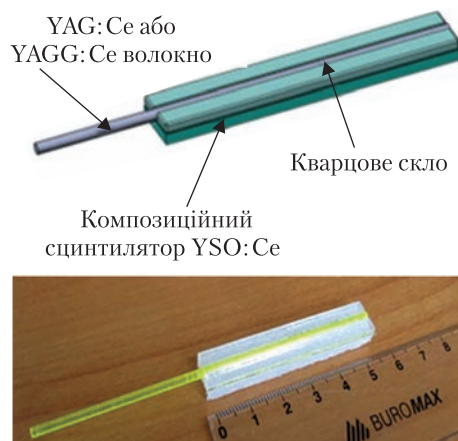


Рис. 3. Створення скінтіляційних композиційних елементів (оксидних кристалів)



Рис. 4. Експериментальна установка в Інституті прикладної фізики НАН України для дослідження матеріалів прискорювальних структур на вакуумній пробій

Це дійсно унікальні результати, частина яких увійшла до циклу робіт, відзначеного минулого року Державною премією України.

Як я вже говорив, перелічені тут результати – це лише верхівка айсберга. Усі проекти Програми були успішно виконані. Завдяки участі в цій Програмі інститути-виконавці змогли зміцнити і розширити наукову співпрацю з ЦЕРН і ОІЯД, долучитися до отримання найновітніших експериментальних даних і стали рівноправними співавторами нових відкриттів. Це стосується як внеску України у підтримання

роботи детекторів Великого адронного колайдера і вдосконалення програмного забезпечення експериментів, так і безпосередньої участі фахівців академічних установ в обробленні з використанням сучасних комп'ютерних технологій експериментальних даних колаборацій ЦЕРНу – CMS, ALICE і LHCb.

Результати цієї співпраці опубліковано в 350 наукових статтях (з них близько 300 представлено колабораціями ЦЕРН у співавторстві з нашими науковцями).

Програма сприяла розвитку досліджень з фізики високих енергій та ядерної фізики в

Україні, а також залученню молоді до міжнародної співпраці.

З метою подальшого розвитку таких досліджень та ефективного використання набутого досвіду співпраці є пропозиція започаткувати нову Цільову програму наукових досліджень НАН України «Фундаментальні дослідження з фізики високих енергій та ядерної фізики (міжнародна співпраця)» на 2018–2020 рр.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Bandiera L., Mazzolari A., Bagli E., Germogli G., Guidi V., Sytov A., Kirillin I.V., Shul'ga N.F., Berra A., Lietti D., Prest M., De Salvador D., Vallazza E. Relaxation of axially confined 400 GeV/c protons to planar channeling in a bent crystal. *Eur. Phys. J. C*. 2016. **76**(2): 80. <http://dx.doi.org/10.1140/epjc/s10052-016-3899-x>
2. Goloviznin V.V., Snigirev A.M., Zinovjev G.M. On the anisotropy of thermal di-leptons. (Submitted on 15 Nov 2017) <https://arxiv.org/abs/1711.05459>
3. Bugaev K.A., Sagun V.V., Ivanytskyi A.I., Oliinychenko D.R., Ilgenfritz E.-M., Nikonov E.G., Taranenko A.V., Zinovjev G.M. New signals of quark-gluon-hadron mixed phase formation. *European Physical Journal A*. 2016. **52**(8): 227. <http://dx.doi.org/10.1140/epja/i2016-16227-6>
4. Satarov L.M., Gorenstein M.I., Motornenko A., Vovchenko V., Mishustin I.N., Stoecker H. Bose-Einstein condensation and liquid-gas phase transition in strongly interacting matter composed of α particles. *Journal of Physics G*. 2017. **44**(12): 125102. <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6471/aa8c5d>

A.G. Zagorodny

Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)
<https://orcid.org/0000-0002-7953-6726>

ON THE IMPLEMENTATION OF TARGET RESEARCH PROGRAM OF THE NAS OF UKRAINE COOPERATION WITH CERN AND JINR “NUCLEAR MATTER IN EXTREME CONDITIONS”

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, December 1, 2017

The report presents the most important results of fundamental research in the field of high-energy physics, nuclear physics and other related areas, obtained in 2016-2017 within the framework of implementation target research program of the NAS of Ukraine cooperation with CERN and JINR “Nuclear matter in extreme conditions”.