



КОЛЕСНИЧЕНКО

Ярослав Іванович —

доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу теорії ядерного синтезу Інституту ядерних досліджень НАН України

СИНЕРГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ І ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ФІЗИКИ ПЛАЗМИ НА ШЛЯХУ ДО ТЕРМОЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

За матеріалами доповіді на засіданні
Президії НАН України 28 травня 2025 року

Доповідь присвячено аналізу сучасного стану і подальшого розвитку в Україні досліджень з керованого термоядерного синтезу та фізики плазми як одного з пріоритетних напрямів фундаментальних і прикладних досліджень наукових установ НАН України відповідного профілю. Наголошено на необхідності забезпечення участі українських учених в європейському консорціумі EUROfusion та важливості розширення міжнародної співпраці.

Термоядерні дослідження, їхній стан та перспективи. Метою досліджень з керованого термоядерного синтезу (КТС) є створення термоядерної енергетики, яка є різновидом ядерної енергетики. На відміну від сучасних ядерних реакторів (часто їх називають ще атомними реакторами), джерелом енергії в термоядерних реакторах є реакції синтезу (злиття) ядер. Паливом у термоядерних реакторах найближчого майбутнього буде суміш ізотопів водню — дейтерію і тритію, злиття ядер яких приводить до утворення лише стабільних, тобто нерадіоактивних, частинок — ядер гелію (α -частинок) з енергією 3,5 MeV та нейтронів з енергією 14,1 MeV. Отже, «попіл» (продукти згоряння) в термоядерних реакторах фактично є екологічно чистим. Іншою важливою властивістю термоядерних реакторів є те, що в них принципово виключено неконтрольований розгін ядерної реакції та можливість ядерного вибуху.

Термоядерна енергетика має також переваги перед традиційними джерелами. Насамперед це відсутність викидів CO_2 . Важливим аргументом на користь створення термоядерної енергетики в Україні є також зменшення залежності нашої економіки від імпорту палива. Крім того, нейтрони, що утворюються в термоядерній реакції, можна використовувати для вироблення палива для атомних реакторів (плутонію-239 або урану-233).

Зупинимось коротко на сучасному стані робіт, спрямованих на створення термоядерної енергетики. У цій доповіді ми обмежимося розглядом термоядерних систем з магнітним утриманням плазми. Що ж стосується систем з інерційним утриманням, зазначимо лише, що в грудні 2022 р. вперше в історії в США, в Національному комплексі лазерних термоядерних реакцій (National Ignition Facility, NIF) на лабораторному пристрої було здійснено так званий breakeven experiment (коли вироблена енергія перевищує витрачену).

У сучасних термоядерних магнітних «пастках» плазма має форму тора. Залежно від типу та способу створення магнітної конфігурації такі пристрої поділяють на токамаки, стеларатори та сферичні токамаки (відомі також як сферичні тори, або компактні токамаки).

Лідерами в досягненні термоядерних параметрів є токамаки. Саме на цих пристроях було здійснено перші експерименти з реальним термоядерним паливом — дейтерій-тригліевою (D-T) сумішшю: у 1994 р. на TFTR (Toroidal Fusion Test Reactor, США) вдалося досягти потужності термоядерного енерговиділення в імпульсі 10,7 МВт, а в 1997 р. на JET (Joint European Torus, ЄС і Велика Британія) — 16,1 МВт. Було продемонстровано нагрівання плазми α -частинками — продуктом D-T-реакції ядерного синтезу. Це важливо, оскільки саме α -частинки з енергією в кілька МеВ мають підтримувати температуру плазми в реакторі. Тобто реальна термоядерна потужність уже виділялася, але так званий параметр Q — відношення виділеної енергії до енергії, витраченої на нагрівання плазми, — був близьким до одиниці. Крім того, виділення цих потужностей тривало менше секунди, а потрібне було набагато довше утримання.

Надалі експерименти продовжилися, фахівці вдосконалювали пристрої, оптимізували склад суміші дейтерію і тритію, поліпшували параметри. І в грудні 2021 р. на JET було досягнуто рекордних результатів — енергія, вироблена D-T-реакцією за один розряд тривалістю 6 с, становила 59 МДж [1].

Однак для того, щоб говорити про створення термоядерної енергетики, нинішніх успіхів

недостатньо. Для використання термоядерного реактора в промислових цілях потрібно, щоб, по-перше, енергетичний виграш Q перевищував 10, а краще — 15, а по-друге, енергія не повинна бути надто дорогою. Для цього необхідно досягти температури плазми порядку 10—20 кеВ, що відповідає 100—200 млн градусів Цельсія, досить великого часу утримання плазми, а співвідношення тиску плазми і тиску магнітного поля, що утримує плазму, — параметр β — повинне перевищувати 5 %. Тому для ефективної роботи реактора дуже важливим є такий параметр, як потрібний добуток густини плазми, температури й часу утримання енергії, який розглядають як мірило близькості плазми до такої, яка має бути в промисловому термоядерному реакторі — $nT\tau_E > 3 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3} \cdot \text{кеВ} \cdot \text{с}$.

На сьогодні токамак JET уже відпрацював свій ресурс. Наразі найбільшим у світі є токамак JT60-SA (Japan Tokamak-60 Super Advanced) — спільний проект Японії та ЄС. Наприкінці 2023 р. на ньому було отримано першу плазму. Наразі на завершальній стадії перебуває спорудження міжнародного реактора-токамака ITER, в якому об'єм плазми у 10 разів перевищуватиме той, що був у JET. Наступним кроком у розвитку термоядерної енергетики має стати міжнародний проект з побудови термоядерної електростанції DEMO (DEMOstration power plant), яка вироблятиме енергію вже на постійній основі, але терміни його реалізації залежатимуть від успішності результатів, отриманих у проєкті ITER та в інших термоядерних експериментах.

Іншим типом установок для магнітного утримання плазми є стеларатори. Наразі успішно виконується програма робіт на найбільшому оптимізованому стелараторі Wendelstein 7-X у Німеччині. Зокрема, на ньому досягнуто рекордного для стелараторів потрібного добутку густини плазми, температури та часу утримання енергії: $nT\tau_E = 3,4 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3} \cdot \text{кеВ} \cdot \text{с}$.

На основі стелараторів лінії Wendelstein розроблено концептуальний проєкт більш компактного реактора-стеларатора Helias Reactor HSR4/18, у роботі над яким брали участь і вчені Інституту ядерних досліджень НАН України.

Зазначимо, що одним із піонерів стелараторних досліджень є ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут». Торсатрони, які використовують у ХФТІ, зазвичай відносять до стелараторів, оскільки вони також мають гвинтову магнітну конфігурацію.

Слід наголосити, що лише оптимізовані стеларатори мають перспективу стати основою термоядерного реактора-стеларатора. Це пов'язано передусім з тим, що в неоптимізованих стелараторах не утримуються надтеплові іони, які утворюються при нагріванні плазми інжекцією пучків нейтральних атомів, інжекцією височастотних полів з використанням іонного циклотронного резонансу, а також унаслідок реакцій ядерного синтезу.

З огляду на важливість вивчення найновіших систем, у 2001 р. в Києві вперше було проведено Міжнародну конференцію з новітніх концепцій стелараторів. Відтоді з'явилися нові ідеї, і на сьогодні існує кілька шляхів оптимізації стелараторів. Зокрема, розглядають модифікації магнітної конфігурації Wendelstein 7-X для реалізації в реакторі-стелараторі Helias з метою поліпшення утримання α -частинок з енергіями в кілька МеВ. Наразі роботи за цим напрямом ведуться також і в Інституті ядерних досліджень НАН України.

Останніми роками посилилася увага до так званих сферичних токамаків. Сферичні токамаки відрізняються від традиційних тим, що мають дуже мале аспектне відношення тора (тобто відношення радіуса тора до радіуса плазми), яке становить лише $\sim 1,5$, що як мінімум удвічі менше, ніж у звичайних токамаках. Завдяки цьому сферичні токамаки значно менші за розмірами, ніж звичайні, і вартість виробленої на них енергії має бути нижчою.

Про інтерес до сферичних токамаків свідчить, зокрема, значна кількість доповідей на останній XVIII Міжнародній конференції з високоенергетичних частинок у системах з магнітним утриманням плазми, яка відбулася в березні 2025 р. в Севільї (Іспанія). Зауважимо, що першу та ювілейну десятую конференції цієї серії було проведено в Києві у 1989 і 2009 р. відповідно.

Результати, отримані на компактному токамаку ST-40 (Велика Британія), побудованому приватною компанією «Tokamak Energy» в 2017 р., дійсно вражають. Цей пристрій із сильним магнітним полем (до 3 Т) має невеликий розмір: радіус тора становить лише 40 см (для порівняння: у стелараторі Wendelstein 7-X радіус тора — 550 см), а радіус плазми — 27 см. У грудні 2022 р. на ST-40 було отримано реакторну температуру іонів близько 10 кеВ (100 млн градусів Цельсія), що відповідає вимогам до промислової термоядерної енергетики. Крім того, у Центрі плазових досліджень і термоядерного синтезу Массачусетського технологічного інституту зараз реалізують проект зі створення компактного токамака SPARC, на якому вчені планують досягти майже таких самих параметрів плазми, як і на великому реакторі ITER. Цікаво, що SPARC, як і ST-40, фінансують приватні компанії. Досягти таких параметрів на компактних сферичних токамаках стало можливим завдяки новітнім технологіям, які дозволили значно збільшити магнітне поле [2].

В Україні теоретичні дослідження з фізики плазми в токамаках, стелараторах, компактних токамаках проводять у кількох установах відповідного профілю, але експериментальні дослідження — лише в ННЦ ХФТІ.

Синергія теорії та експерименту в дослідженнях з керованого термоядерного синтезу. Поступ у дослідженнях з КТС значною мірою є наслідком синергії (спільності) експерименту й теорії. Нові пристрої створюють після теоретичного обґрунтування та прогнозних обчислень, а експериментальні результати опрацьовують з використанням теоретичного аналізу та чисельного моделювання. Наведемо кілька прикладів, які підтверджують сказане вище. При цьому обмежимося лише результатами, отриманими завдяки теоретичним дослідженням Інституту ядерних досліджень НАН України та експериментам, проведеним у провідних центрах термоядерних досліджень США, Німеччини та Великої Британії.

Розглянемо три явища: 1) альфвенові нестійкості плазми; 2) просторове каналювання

енергії та імпульсу; 3) іонне циклотронне випромінювання.

1. *Альфвенові нестійкості плазми.* Альфвенові хвилі — це поперечні хвилі, які поширюються вздовж магнітного поля і спостерігаються як у лабораторній, так і в космічній плазмі. Ці хвилі названо на честь шведського фізика Ганнеса Альфвена, нобелівського лауреата 1970 р.

Термоядерні дослідження виявили принципово нові властивості альфвенових хвиль. Крім того, з'ясувалося, що їх збудження може впливати на утримання плазми. Альфвенові хвилі можуть збуджуватися високоенергетичними (надтепловими) іонами, що утворюються при нагріванні плазми пучками частинок та ВЧ-поллями, а також унаслідок термоядерної реакції. Першу теоретичну роботу з передбаченням збудження альфвенових хвиль надтепловими іонами (α -частинками з енергією 3,5 MeV) було виконано в Києві в 1968 р., задовго до початку термоядерних експериментів з вивчення нестійкостей плазми, що збуджуються високоенергетичними іонами [3]. І лише в 1991 р. на токамаку TFTR (США) було здійснено експеримент, у якому спостерігали альфвенову нестійкість [4]. У цьому експерименті джерелом високоенергетичних іонів були пучки нейтральних атомів, інжектованих у плазму (NBI, Neutral Beam Injection). Експеримент готували на основі конкретних теоретичних розрахунків для TAE-моди (toroidicity-induced Alfvén eigenmode) — власних коливань з частотою у щілині альфвенового континууму [5].

Пізніше завдяки плідній співпраці між теоретичними групами Інституту ядерних досліджень НАН України та Інституту фізики плазми Макса Планка (Німеччина) було виявлено особливості альфвенових нестійкостей у стелараторах і здійснено інтерпретацію низки експериментів. Зокрема, в експериментах на стелараторі Wendelstein 7-AS виникали альфвенові нестійкості у широкому частотному діапазоні — від 50 до 250 кГц, що не мало пояснення. Це стимулювало розвиток теорії та розроблення числових кодів в Інституті ядерних досліджень НАН України. У результаті було відкри-

то існування дзеркальних та різних гвинтових мод, а також специфічних стелараторних резонансів частинка—хвиля, що дозволило ідентифікувати збуджені коливання [6].

В інших експериментах на стелараторі Wendelstein 7-AS спостерігали спалахи нестійкості, що приводили до значних спадів температури плазми (до 30 %) [7]. За результатами цих експериментів було теоретично передбачено новий тип коливань плазми (NGAE, non-conventional global Alfvén eigenmode) і показано, що ці коливання можуть трансформуватися в кінетичну альфвенову хвилю, через що виникає аномальна теплопровідність плазми. Таким чином було пояснено експеримент [8].

Наразі альфвенові нестійкості плазми в різних формах спостерігають у всіх типах тороїдальних термоядерних пристроїв.

2. *Просторове каналювання енергії та імпульсу.* Явище просторового каналювання (spatial channeling, SC) енергії та імпульсу було відкрито в роботі київських авторів [9] завдяки загадковим експериментам на сферичному торі NSTX (США) [10], в яких триразове (!) збільшення потужності нагрівання лише змінювало профіль температури плазми. Це явище полягає в передачі енергії та імпульсу власними коливаннями, які збуджуються високоенергетичними іонами. Його фізичний сенс є таким: під час нестійкостей високоенергетичні іони передають частину своєї енергії та імпульсу власним коливанням (модам), і ця енергія поглинається плазмою. Як правило, область емісії хвиль не збігається з областю їх поглинання. У цьому випадку енергія та імпульс високоенергетичних іонів передаються з однієї області плазми до іншої. Просторове каналювання відбувається, навіть якщо ці області збігаються за умови нестационарності системи. Отже, просторове каналювання доповнює відомі механізми передачі енергії та імпульсу, такі як дифузія, теплопровідність та випромінювання.

Просторовим каналюванням можна пояснити, зокрема, й такі експериментальні спостереження:

- викривлення (twist) радіальної структури власних коливань, збуджених швидкими іона-

ми, яке спостерігали в токамаку DIII-D, а також у сферичному торі NSTX (США) [11, 12]. Аналізуючи це викривлення, можна зробити висновки щодо потоків енергії впоперек магнітного поля;

- деградація утримання енергії плазми при посиленні її нагрівання пучками атомів у NSTX [10];
- поліпшення параметрів плазми при заміні нагрівання плазми ВЧ-полем на нагрівання α -частинками, що спостерігали в JET [13].

3. *Іонна циклотронна емісія*. Явище іонної циклотронної емісії (ion cyclotron emission, ICE) відоме давно, в багатьох експериментах спостерігали надтеплове випромінювання в діапазоні іонних циклотронних частот. Найбільш яскраві результати було отримано на токамаку JET у першому експерименті з домішкою тритію, струмені якого інжектували до дейтерієвої плазми (так званий preliminary tritium experiment) [14]. У цьому експерименті частотний спектр випромінювання був пікованим на перших семи іонних циклотронних гармоніках і суцільним за більших частот. Оскільки циклотронні частоти дейтерію і α -частинок (продукти D-T-реакції з енергією 3,5 MeV) збігаються, не було ясності, що саме є тригером випромінювання. Щоб з'ясувати це питання, дейтерієвий струмінь замінили на тритієвий. Тоді інтенсивність ICE зросла пропорційно збільшенню потоку нейтронів. Тому було зроблено висновок, що саме високоенергетичні α -частинки, а не теплові іони плазми, приводили до ICE [14]. Відтоді виконано вже багато експериментальних і теоретичних робіт, у яких вивчали генерацію іонного циклотронного випромінювання при нагріванні плазми інжекцією високоенергетичних частинок чи при утворенні продуктів реакцій ядерного синтезу.

Проте явище ICE спостерігають і без джерел високоенергетичних іонів. Ясності щодо фізики цього явища поки що немає. Тому нещодавно на сферичному торі MAST-U (Велика Британія) розпочали експерименти (які зараз ще тривають), спрямовані на з'ясування природи ICE в омічних розрядах [15]. Це спонукало дослідників Інституту ядерних досліджень

НАН України до теоретичного аналізу можливих механізмів збудження іонних циклотронних хвиль у максвелівській плазмі. В результаті було встановлено, що дестабілізувальний вплив температурного градієнта як електронів, так і іонів, значно підсилюється, якщо частинки, резонансні з циклотронними коливаннями, є помірно надтепловими; отримано також критерій виникнення циклотронної нестійкості [16]. На основі параметрів плазми в експерименті на MAST-U знайдено найбільш імовірну локацію джерела ICE, що узгоджується з експериментом [17].

Висновки. Наведені приклади демонструють спільнодію (синергію) теорії та експерименту в галузі керованого термоядерного синтезу, яка є можливою завдяки міжнародній співпраці.

Європейські термоядерні центри об'єднано в консорціум EUROfusion, який відповідає за виконання термоядерної програми Євратому в рамковій програмі «Горизонт Європа». НАН України в термоядерній програмі Євратому має статус власника програми з боку України (Program Owner), а ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» — менеджера програми EUROfusion. Інші інститути, зокрема Інститут ядерних досліджень НАН України, мають статус сполученої третьої сторони (в кожній країні менеджмент здійснює одна установа).

Однак маємо на сьогодні й певні проблеми. Згідно з правилами EUROfusion, відрядження співробітників установи до центрів розташування термоядерних пристроїв здійснюється коштом установи. Лише згодом установа отримує відшкодування витрат на відрядження. В Інституті ядерних досліджень НАН України це положення не виконується через брак фінансування, тому співробітники їздять за свій рахунок. Через значні затримки з відшкодуванням витрат на поїздки наша участь у програмі EUROfusion відчутно скоротилася. На нашу думку, для виправлення ситуації варто було б створити фонд для фінансування відряджень за програмою EUROfusion.

Міжнародна співпраця з американськими, японськими та іншими вченими здійснюється

переважно на двосторонній основі. Зокрема, триває виконання двостороннього проєкту «Fast-ion theory for tight aspect-ratio plasmas» за участю Університету Каліфорнії (США) та Інституту ядерних досліджень НАН України на основі партнерської угоди з УНТЦ (за фінансування Департаменту енергетики США).

Враховуючи досягнення та компактність сферичних токамаків, доцільно розглянути можливість започаткування проєкту зі спорудження такого пристрою в Україні. Звісно, поки триває війна, про будівництво нових систем не йдеться, але після її закінчення варто створити експертну раду для вироблення кон-

кретної програми розвитку термоядерних досліджень в Україні, в якій необхідно передбачити спорудження компактного токамаку. Слід також вивчити міжнародний досвід залучення приватного капіталу для фінансування термоядерних проєктів, зокрема досвід компаній «Tokamak Energy» (Велика Британія) та «Commonwealth Fusion Systems» (США).

І на завершення слід наголосити, що ключовою проблемою розвитку термоядерних досліджень в Україні залишається підготовка молодих кадрів. Без її вирішення ми не лише не зможемо розвиватися, а й ризикуємо втратити навіть те, що вже напрацьовано.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Maggi C.F. et al. Overview of T and D-T results in JET with ITER-like wall. *Nucl. Fusion*. 2024. **64**(11): 112012. <https://doi.org/10.1088/1741-4326/ad3e16>
2. Kingham D., Gryaznevich M. The spherical tokamak path to fusion power: Opportunities and challenges for development via public-private partnerships. *Phys. Plasmas*. 2024. **31**(4): 042507. <https://doi.org/10.1063/5.0170088>
3. Belikov V.S., Kolesnichenko Ya.I., Oraevskii V.N. Stability of magnetized plasma with a monoenergetic component. *Sov. Phys. — JETP*. 1969. **28**(6): 1172—1174.
[Беликов В.С., Колесниченко Я.И., Ораевский В.Н. Устойчивость магнитоактивной плазмы с моноэнергетической компонентой. *ЖЭТФ*. 1968. Т. 55. С. 2210—2212.]
4. Wong K.L. et al. Excitation of toroidal Alfvén eigenmodes in TFTR. *Phys. Rev. Lett.* 1991. **66**: 1874. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.66.1874>
5. Cheng C.Z., Chance M.S. Low- n shear Alfvén spectra in axisymmetric toroidal plasmas. *Phys. Fluids*. 1986. **29**(11): 3695. <https://doi.org/10.1063/1.865801>
6. Kolesnichenko Ya., Lutsenko V., Marchenko V., Weller A., Werner A., Wobig H., Yakovenko Yu., Yamazaki K. Fast-ion confinement and fast-ion-induced effects in stellarators. *Fusion Science and Technology*. 2004. **46**(1): 54—62. <https://doi.org/10.13182/FST04-A540>
7. Weller A. et al. Survey of magnetohydrodynamic instabilities in the advanced stellarator Wendelstein 7-AS. *Phys. Plasmas*. 2001. **8**(3): 931—956. <https://doi.org/10.1063/1.1346633>
8. Kolesnichenko Ya., Yakovenko Yu., Weller A., Werner A., Geiger J., Lutsenko V., Zegenhagen S. Novel mechanism of anomalous electron heat conductivity and thermal crashes during Alfvénic activity in the Wendelstein 7-AS stellarator. *Phys. Rev. Lett.* 2005. **94**(8): 165004. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.94.165004>
9. Kolesnichenko Ya.I., Yakovenko Yu.V., Lutsenko V.V. Channeling of the energy and momentum during energetic-ion-driven instabilities in fusion plasmas. *Phys. Rev. Lett.* 2010. **104**(7): 075001. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.104.075001>
10. Stutman D., Delgado-Aparicio L., Gorelenkov N., Finkenthal M., Fredrickson E., Kaye S., Mazzucato E., Tritz K. Correlation between electron transport and shear Alfvén activity in the National Spherical Torus Experiment. *Phys. Rev. Lett.* 2009. **102**(11): 115002. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.115002>
11. Tobias B.J., Classen I.G.J., Domier C.W., Heidbrink W.W., Luhmann Jr. N.C., Nazikian R., Park H.K., Spong D.A., Van Zeeland M.A. Fast ion induced shearing of 2D Alfvén eigenmodes measured by electron cyclotron emission imaging. *Phys. Rev. Lett.* 2011. **106**(7): 075003. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.075003>
12. Heidbrink W.W., Hansen E.C., Austin M.E., Kramer G.J., Van Zeeland M.A. The radial phase variation of reversed-shear and toroidicity-induced Alfvén eigenmodes in DIII-D. *Nucl. Fusion*. 2022. **62**(6): 066020. <https://doi.org/10.1088/1741-4326/ac5109>
13. Weisen H. et al. The scientific case for a JET D-T experiment. *AIP Conf. Proc.* 2014. **1612**(1): 77—86. <https://doi.org/10.1063/1.4894028>

14. Cottrell G.A., Bhatnagar V.P., Da Costa O., Dendy R.O., Jacquinot J., McClements K.G., McCune D.C., Nave M.F.F., Smeulders P., Start D.F.H. Ion cyclotron emission measurements during JET deuterium-tritium experiments. *Nucl. Fusion*. 1993. **33**: 1365. <https://doi.org/10.1088/0029-5515/33/9/I10>
15. Crocker N.A. et al. Proc. 29th ITPA meeting on Energetic Particles. Oak Ridge National Laboratory, 2023.
16. Kolesnichenko Ya.I., Lutsenko V.V., Tykhyi A.V. Ion cyclotron emission in Maxwellian plasmas. *Phys. Plasmas*. 2024. **31**(4): 042107. <https://doi.org/10.1063/5.0202353>
17. Lutsenko V.V., Kolesnichenko Ya.I., Tykhyi A.V., Crocker N.A. ICE driven by suprathermal particles in tokamak Ohmic discharges. Proc. 18th Energetic Particles conference. Seville (Spain), March 2025.

Yaroslav I. Kolesnichenko

Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

SYNERGY OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH IN PLASMA PHYSICS ON THE WAY TO FUSION ENERGY

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, May 28, 2025

The report is devoted to the analysis of the current state and further development of controlled thermonuclear fusion and plasma physics research in Ukraine as one of the priority areas of fundamental and applied research of scientific institutions of the National Academy of Sciences of Ukraine of the corresponding specialization. The need to ensure the participation of Ukrainian scientists in the European consortium EUROfusion and the importance of expanding international cooperation are emphasized.

Cite this article: Kolesnichenko Ya.I. Synergy of experimental and theoretical research in plasma physics on the way to fusion energy (according to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, May 28, 2025). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2025. (8): 43—49. <https://doi.org/10.15407/visn2025.08.043>