

71. *Фалькович С. Е.* Прием радиолокационных сигналов на фоне флуктуирующих помех. — М.: Сов. радио, 1961. — 312 с.

72. *Фалькович С. Е., Хомяков Э. М.* Статистическая теория измерительных радиосистем. — М.: Радио и связь, 1981. — 288 с.

73. *Фалькович С. Е., Понамарев В. И., Шкварко В. И.* Статистическая теория измерительных радиосистем / Под ред. С. Е. Фальковича. — М.: Радио и связь, 1989. — 293 с.

*О.Ю.Колтачихіна,  
аспірант*

## **Дослідження в галузі загальної теорії відносності та космології зарубіжних вчених — вихідців з України**

Українська земля дала чималу кількість талановитих особистостей, призвища яких відомі сьогодні в широких колах наукової громадськості всього світу. Великий внесок в загальну теорію відносності та космологію зробили вчені, які народилися на території сучасної України, але, на жаль, жили та працювали не на батьківщині й відомі як вчені інших країн.

Найбільша кількість науковців—вихідців з України — представлена в Росії, і це не випадково, адже Україна знаходилася в складі Радянського Союзу. Багато наших співвітчизників навчалося в учбових закладах, що знаходилися на території Росії, або працювало в її дослідних інститутах. Серед них Д.Іваненко, М.Бронштейн, А.Зельманов, О.Компанієць, Є.Ліфшиць, І.Шкловський, І.Халатніков, І.Хріплович, В.Огієвецький.

*Іваненко Дмитро Дмитрович* (29.07.1904, Полтава — 30.12.1994, Москва) — російський фізик, праці якого стосуються питань ядерної фізики та фізики елементарних частинок, квантової механіки та квантової теорії тяжіння [1]. Вчений працював у багатьох наукових і вищих навчальних закладах Радянського Союзу. Це насамперед Ленінградський фізико-технічний інститут, Український

фізико-технічний інститут, Харківський механіко-машинобудівний інститут, Харківський університет, Ленінградський педагогічний інститут, Сибірський фізико-технічний інститут, Томський, Уральський та Московський університети, Інститут історії природознавства та техніки АН СРСР.

У 1928 р. у Д.Іваненко спільно з Л.Ландау та Г.Гамовим вийшла стаття “Світові сталі та граничний перехід”, в якій розглянуто питання побудови теорії на основі фундаментальних світових сталих — сталої Планка, швидкості світла, гравітаційної сталої [2]. Через рік спільно з В.Фоком він узагальнив рівняння Дірака на випадок наявності гравітаційного поля, тим самим побудувавши рівняння Дірака в гравітаційному полі й отримавши коефіцієнти для спінорної зв’язності в рімановій геометрії (коефіцієнти Фока—Іваненко) [3].

У теорії гравітації Д.Іваненко розробив першу модель квантування гравітаційного поля, розвинув тетрадну теорію гравітації та узагальнену теорію гравітації з полем скруту, розробив калібровочну теорію гравітації як хіггсовського поля. У працях середини ХХ ст. вчений розглядав питання єдиної нелінійної спінорної теорії, теорії гравітації з космологічним членом,

який відповідає за вакуумні параметри, й узагальненої та калібровочної теорії гравітації. Спільно з В.Амбарцумяном Д.Іваненко розробив теорію дискретного простору-часу.

Ще в студентські роки Д.Іваненко написав працю з 5-вимірної теорії Калюца—Клейна спільно з видатним у майбутньому вченим, також вихідцем з України, Г.Гамовим [4].

*Гамов Георгій Антонович* (04.03.1904, Одеса — 19.08.1968, Болдер, штат Колорадо, США) — фізик, астрофізик, праці якого стосуються питань квантової механіки, атомної та ядерної фізики, астрофізики, космології, біології [5]. Протягом 1937—1940 рр. вчений побудував першу послідовну теорію еволюції зір з термоядерним джерелом енергії.

У 1942 р. він разом з Е.Теллером запропонував теорію побудови червоних гігантів, а в 1946—1948 рр. розробив теорію утворення хімічних елементів шляхом послідовного нейтронного захоплення та модель Великого вибуху, в рамках якої передбачив існування реліктового випромінювання й оцінив його температуру [6]. Г.Гамов висловив припущення, що речовина раннього Всесвіту була не тільки щільною, але й гарячою. У своїй космологічній теорії він виділив два моменти: синтез елементів та космологічне випромінювання. Вони тісно взаємозв'язані: синтез елементів можливий лише за високої температури; але в розігрітій речовині, згідно із загальним законом термодинаміки, завжди повинно існувати випромінювання, що знаходиться з нею в тепловій рівновазі. Після епохи нуклеосинтезу, яка тривала декілька хвилин, випромінювання не зникло і продовжує рухатись разом з речовиною. Воно повинно зберегтись і до те-

перішньої епохи, тільки його температура має бути меншою, ніж на початку (внаслідок значного розширення), що й було підтверджено в 1965 р.

У студентські роки вчений товаришував з *Матвієм Петровичем Бронштейном* (02.12.1906, Вінниця — 18.02.1938, Ленінград) — фізиком-теоретиком, який займався астрофізикою і напівпровідниками, космологією і ядерною фізикою [7]. У 1931 р. в журналі “Успехи физических наук” вийшла його об'ємна праця з космології “Сучасний стан релятивістської космології” [8], яка була першим оглядом з даної тематики. У статті викладений апарат загальної теорії відносності і розглянуто космологічні моделі, що ґрунтуються на даній теорії, модель де Сіттера, моделі Фрідмана і Леметра.

Саме М.Бронштейн запропонував відомий сьогодні  $\Lambda$ -план, або “відношення фізичних теорій одна до одної й до космологічної проблеми”. Так він назвав розділ статті 1933 р. “До питання про можливу теорію світу як цілого” [9], де схематично розклав існуючі на той час теорії за областю застосування відповідно тому, наскільки теорія враховує фундаментальні константи  $c$ ,  $G$  і  $h$ . У цій праці він писав: “Після того, як релятивістська теорія квант буде побудована, задача полягатиме в тому, щоб розробити наступну частину нашої схеми, тобто об'єднання квантової теорії, спеціальної теорії відносності й теорії гравітації в єдине ціле” [9, с. 29].

У цьому ж році вийшла друга стаття вченого “Про Всесвіт, що розширюється” [10], де він запропонував космологічну модель, яка реалізує гіпотезу Бора: незбереження енергії враховується ефективно в рівняннях загальної теорії відносності у вигляді

космологічного лямбда-члена, який залежить від часу. Таким чином у фізиці мікросвіту почали застосовувати ейнштейнівську теорію гравітації.

У 1935 р. М.Бронштейн захистив докторську дисертацію, що стала основою для двох статей з квантової гравітації [11, 12]. Вчений знайшов принципову різницю між квантовою електродинамікою й квантовою теорією гравітаційного поля. Він був одним з перших, хто поставив питання про можливість народження Всесвіту як цілого в результаті квантових процесів. Вчений показав, що слабкі осциляції просторово-часової метрики з точки зору квантової фізики є ансамблями особливих елементарних частинок (гравітонів), які беруть участь у гравітаційній взаємодії.

У 1937 р. вийшли останні праці вченого: одна — з ядерно-фізичного обчислення [13]; інша — стаття “Про можливість спонтанного розщеплення фотонів” [14], яка стала першою з “космомікрофізики”.

Матвій Петрович зробив дуже важливий крок на шляху до повної квантової теорії гравітації; глибоке розуміння теоретичної фізики і майстерне володіння її методами допомогли йому знайти головні труднощі поставленої задачі та виявити важливі властивості майбутнього її розв’язку. На жаль, він не розкрив повністю свого таланту вченого, бо 18 лютого 1938 року був розстріляний в ленінградській тюрмі (реабілітований рішенням Військової колегії Верховного Суду СРСР від 9 травня 1957 р.).

Одним із засновників радянської космологічної школи, з ім’ям якого пов’язані становлення та розвиток розділу науки, що одержав згодом назву математична космологія, був *Зельманов*

*Абрам Леонідович* (15.05.1913, Гадяч, Полтавська обл. — 02.02.1987, Москва) [15]. Його наукові праці присвячені питанням космології, філософським проблемам сучасного природознавства. Математичний апарат, розроблений А.Л.Зельмановим, застосовується не тільки в космології, але й в астрофізиці. На його праці спираються при аналізі поведінки електромагнітних та гравітаційних полів в околицях нейтронної зорі та чорних дір. Вчений створив ряд нових математичних методів у загальній теорії відносності, пов’язаних з можливістю розщеплення простору-часу на трьохвимірний простір та час. Методи хронометрично інваріантних та кінематично інваріантних величин, ортометрична форма монадного формалізму знайшли широке застосування для розв’язання багатьох задач загальної теорії відносності, релятивістської астрофізики, космології, теорії анізотропного Всесвіту. Вчений розвинув релятивістську теорію анізотропного неоднорідного Всесвіту, використовуючи метод супутніх координат. Елементи цієї теорії використовуються при аналізі відхилень від стандартної фрідмановської космології, тобто при описі виникнення та розвитку метагалактичної структури. Він розробив математичний апарат хронометричних та кінематичних інваріантів.

*Компанієць Олександр Соломонович* (07.01.1914, Дніпропетровськ — 19.08.1974) — російський фізик-теоретик, професор Московського інженерно-фізичного інституту [16]. У 1949 р. вчений прояснив питання про особливості встановлення рівноваги в розрідженій плазмі, де розсіювання фотонів відбувається частіше, ніж народження нових фотонів [17]. Ця праця широко застосовується в астрофізиці, в теорії

гарячого Всесвіту та теорії рентгенівських джерел.

*Ліфшиць Євгеній Михайлович* (21.02.1915, Харків — 29.11.1986, Москва) — фізик-теоретик, академік АН СРСР (1979); праці з проблем теорії магнетизму, гравітації, ядерної фізики, космології [18]. Є.Ліфшиць зробив фундаментальний внесок в теорію тяжіння. Його дослідження в даній галузі розпочалися ще в 1946 р. класичною працею про стійкість космологічних рішень теорії тяжіння Ейнштейна, де він створив чітку класифікацію збурювань — скалярних, зі змінною густиною, векторних, які описують вихровий рух, тензорних, що описують гравітаційні хвилі. Ця класифікація зберігає вирішальне значення для аналізу виникнення структури Всесвіту й до сьогодні. У подальшому він звернувся до питання загального характеру особливостей в цій теорії. У багаторічних спільних дослідженнях Є.Ліфшиця та І.Халатнікова, до яких пізніше приєдналися В.Белінський, І.Ліфшиць, було подано досить повну картину динаміки неоднорідних та анізотропних космологічних моделей поблизу космологічної сингулярності [19, 20]. Ця динаміка має дуже складний коливальний характер і може бути наглядно представлена як стиснення простору в двох напрямках з одночасним розширенням в третьому, причому напрямки стиснення та розширення змінюються протягом часу згідно з певним законом.

*Халатніков Ісаак Маркович* (17.10.1919, Дніпропетровськ) — російський фізик-теоретик, академік АН СРСР (1984), академік РАН (1991) [21]. Йому належать праці з релятивістської космології про поведінку Всесвіту на ранніх стадіях його розвитку (разом

з Є.Ліфшицем та В.Белінським) та дослідження основ квантової електродинаміки (разом з О.Абрикосовим та Л.Ландау).

*Шкловський Іосиф Самуїлович* (01.06.1916, Глухів, Сумська обл. — 03.03.1985, Москва) — російський астрофізик, член-кореспондент АН СРСР (1966) [22]. Вчений розробив метод спектрального розподілу теплової та нетеплової складових радіовипромінювання Галактики, який дозволяє провести ототожнювання яскравих галактичних радіоджерел. Він також показав можливість спостереження лінії нейтрального водню на хвилі 21 см, що поклато початок систематичному та ефективному вивченню структури галактик.

І.С.Шкловській вперше дослідив можливість спостереження радіоліній міжзоряних молекул, насамперед молекули гідроксину. Ця праця привела до відкриття космічних мазерів та пов'язаних з ними процесів утворення зір, до систематичних спостережень радіовипромінювання складних молекул міжзоряного середовища. У 1965 р. вчений висловив ідею про якісно єдину природу активності ядер галактик та квазарів. Однією з останніх його ідей було припущення про можливість вибросу ядра галактики (масивної чорної діри) внаслідок асиметрії вибухових процесів навколо неї. Це дає змогу пояснити відсутність сильної активності (і відповідно чорної діри) в ядрах деяких галактик.

У 1965 р. було відкрите фонове випромінювання, яке мало максимальну інтенсивність в міліметровому діапазоні довжин хвиль та пізніше ототожнилось з космологічним випромінюванням, що виникло на ранніх етапах еволюції Всесвіту та відповідно при

дуже гарячому та щільному його стані. Але безпосередньо з експерименту з вимірювання реліктового фону не впливало, що випромінювання прийшло з дуже далекого космосу. Важливу роль тут відіграла праця І.С.Шкловського 1966 р., що пояснила аномальну населеність енергетичних рівнів молекули ціану впливом міліметрового фонового випромінювання. Молекули ціану входять до складу міжзоряних хмар та спричиняють оптичні лінії поглинання в спектрах зір. Відносна інтенсивність цих ліній залежить від інтенсивності випромінювання в міліметровому діапазоні довжин хвиль. Цим вперше надійно було доведено, що випромінювання виникає далеко за межами Землі, та запропоновано метод індикації інтенсивності радіовипромінювання за інтенсивністю оптичних спектральних ліній.

*Хріплович Іосиф Бенціонович* (23.01.1937, Київ) — російський вчений, член-кореспондент РАН (2000), головний співробітник Інституту ядерної фізики ім.Г.І.Будкера РАН [23]. У 1965 р. “асимптотично вільний” розв’язок для електричного заряду векторного бозону одержали фізики-теоретики М.В.Герентьєв та В.С.Ваняшин, але в їх працях не було строгого виведення. У 1968 р. І.Б.Хріплович отримав вірний розв’язок та опублікував його в журналі “Ядерна фізика” для цієї залежності, але залишив його без обговорення. Через чотири роки американські вчені отримали за цей розв’язок Нобелівську премію. Він є суттєвим кроком, щоб наблизити фізику до формулювання універсальної теорії гравітації.

*Огієвецький Віктор Ісаакович* (06.08.1928, Дніпропетровськ — 23.03.1996) — російський фізик-теоретик, доктор фізико-математичних

наук [24]. Спільно з І.В.Полубаріновим виконав цикл досліджень з теоретико-польового тлумачення калібровочних теорій та теорії гравітації. У процесі цих досліджень в 1965 р. вони ввели “нотиф” — антисиметричне тензорне калібровочне поле, що описує спіральність 0 та в певному розумінні додаткове до фотонного, яке описує спіральність  $\pm 1$ . У 1964 р. знайдена можливість включення в теорію тяжіння спінорів з нелінійним за метрикою законом перетворення відносно загальноковаріантної групи. У 1973 р. вчений інтерпретував теорію тяжіння як спільну нелінійну реалізацію двох спонтанно порушених кінцево-параметричних симетрій — конформної та афінної, які в своєму замиканні дають загальноковаріантну групу (теорема Огієвецького). Показав, що гравітон не тільки калібровочне поле, але одночасно і аналог поля Голдстоуна в нелінійних реалізаціях внутрішньої симетрії. Ці ідеї мали велике значення в топологічних теоріях поля та теорії вкладення струн та суперструн. У 1977 р. побудував лінеарізовану суперпольову супергравітацію, відкрив фундаментальну калібровочну групу супергравітації як групу загальних перетворень в комплексному кіральному суперпросторі. У 1984 р. дубнінською групою під керівництвом В.І.Огієвецького був розроблений метод гармонічних суперпросторів.

Українські імена відомі й далеко за кордоном, зокрема в Італії, Бразилії, США.

*Ватагін Гліб Васильович* (03.11.1899, Бирзула, Херсонська губернія, нині — м.Котовськ — 10.10.1986, Турин, Італія) — італійський фізик-теоретик, член Академії деї Лінчеї (1960), член Бразильської академії наук [25]. Його

праці відносяться до загальної та спеціальної теорій відносності, нелінійної та нелокальної квантової теорії поля, фізики космічних променів, астрофізики. У 1934 р. Г. Ватагін спробував побудувати квантову теорію поля з елементарною довжиною. У 1943—1944 рр. побудував статистичну теорію множинної генерації частинок космічних променів.

*Гольдхабер Моріс* (18.04.1911, Львів) — американський фізик, член Національної АН США (1958). Наукові праці стосуються області атомної та ядерної фізики, фізики елементарних частинок та космології. Висловив гіпотезу Всесвіту на ранній стадії його еволюції.

*Глінер Ераст Борисович* (1923, Київ) — фізик-теоретик. Дослідження в загальній теорії відносності, релятивістській астрономії, космології. У середині 60-х років ХХ ст. висловив ідею, що з початку розширення Всесвіту матерія в ній знаходилась в вакуумноподібному стані. Це створює граві-

таційне відштовхування, яке й стало першопричиною, що привела до появи великих початкових швидкостей розширення, тобто до сценарію еволюції раннього Всесвіту, відомому сьогодні як інфляційний.

Одним з широко відомих українських імен сьогодення є *Віленкін Олександр Володимирович* (1949, Харків) — американський космолог. Визнання прийшло до нього після виходу в світ праці “Створення Всесвіту з нічого”, в якій він довів можливість створення Всесвіту з вакууму завдяки просторово-часовим флуктуаціям квантової енергії [26]. Пізніше разом з А. Борде довів, що “Всесвіт, котрий вічно еволюціонує в майбутнє, не може бути геодезично повним у минулому, а тому в минулому повинна існувати первинна сингулярність, тобто початок” [27]. О. Віленкін є автором понад 160 праць, серед яких широко відомі монографії “Космічні струни та інші топологічні дефекти” [28] та “Багато світів в одному” [29].

1. *Космос, время, энергия. Сборник статей, посвящённых 100-летию Д.Д.Иваненко.* — М.: “Белка”, 2004. — 415 с.
2. *Гамов Г.А., Ландау Л.Д., Иваненко Д.Д.* Мировые постоянные и предельный переход // Журн. Рус. физ.-хим. о-ва. — 1928. — Т.60. — С.13 — 17.
3. *Fock V., Iwanenko D.* Uber eine mogliche geometrische Deutung der relativistischen Quantentheorie // Zeitschrift fur Physik. — 1929. — Bd.54, № 11/12. — S. 798 — 802.
4. *Gamov G., Iwanenko D.* Zur Wellentheorie der Materie // Ibid. — 1926. — Bd.39, № 10/11. — S. 865 — 868.
5. *Gamov G.* My World Line. An Informal Autobiography. — New York, 1970. — 184 p.
6. *Gamov G.* Expanding Universe and the Origin of Elements // The Physical Review. — 1946. — Vol.70. — P. 572—573.
7. *Горелик Г.Е., Френкель В.Я.* Матвей Петрович Бронштейн. 1906—1938. — М.: Наука, 1990. — 272 с.
8. *Бронштейн М.П.* Современное состояние релятивистской космологии // Успехи физ. наук. — 1931. — Т.1, вып.1. — С.124—184.
9. *Бронштейн М.П.* К вопросу о возможной теории мира как целого // Успехи астроном. наук: Сб. — 1933. — № 3. — С.3—30.
10. *Бронштейн М.П.* О расширяющейся Вселенной // Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion. — 1933. — Bd.3. — S.73—82.
11. *Бронштейн М.П.* Квантовая теория слабых гравитационных полей // Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion. — 1936. — Bd.9. — S.140—157. — То же. Эйнштейновский сборник, 1980—1981. — М.: Наука, 1985. — С. 267—282.
12. *Бронштейн М.П.* Квантование гравитационных волн // Журн. эксперим. и теорет. физики. — 1936. — Т.6. — С.195—236.

13. *Бронштейн М.П.* О магнитном рассеянии нейтронов // Там же. — 1937. — Т.7. — С.357—362.
14. *Бронштейн М.П.* О возможности спонтанного расщепления фотонов // Там же. — С.335—358.
15. *Памяти* Абрама Леонидовича Зельманова / В.А.Брумберг, В.Л.Гинзбург, Л.П.Гришук, Я.Б.Зельдович и др. // Успехи физ. наук. — 1987. — Т.152, вып. 3. — С.545—546.
16. *Памяти* Александра Соломоновича Компанейца / В.И.Гольданский, Я.Б.Зельдович, М.А.Кожушпер и др. // Успехи физических наук. — 1974. — Т.114, вып. 4. — С.686—688.
17. *Компанец А.* Об установлении теплового равновесия между квантами и электронами // Журн. эксперим. и теорет. физики. — 1956. — Т.31. — С.876.
18. *Памяти* Евгения Михайловича Лифшица / А.Ф.Андреев, А.С.Боровик-Романов, В.Л.Гинзбург и др. // Успехи физ. наук. — 1986. — Т.148, № 3. — С.549—550.
19. *Лифшиц Е.М., Халатников И.М.* О стохастических свойствах релятивистских космологических моделей вблизи особой точки // Письма в ЖЭТФ. — 1983. — Т.38, вып. 2. — С.79—82.
20. *Лифшиц Е.М., Халатников И.М.* Колебательный режим приближения к особой точке в открытой космологической модели // Там же. — 1970. — Т.11. — С.200—203.
21. *Исаак* Маркович Халатников (К семидесятилетию со дня рождения) / А.А.Абрикосов, А.Ф.Андреев, С.И.Анисимов и др. // Успехи физ. наук. — 1989. — Т. 159, № 2. — С. 384—386.
22. *Шкловский И.* Разум, Жизнь, Вселенная. — М.: Янус-К, 1996. — 432 с.
23. *Иосиф* Бенционович Хриплович (к 70-летию со дня рождения) / В.Н.Байер, Л.М.Барков, А.Е.Бондарь, Н.С.Диканский и др. // Успехи физ.наук. — 2007. — Т. 177, № 2. — С. 231.
24. *Памяти* Виктора Исааковича Огиевского / А.М.Балдин, А.С.Гальперин, Е.А.Иванов, В.Г.Кадышевский и др. // Там же. — 1996. — Т. 166, № 9. — С. 1031—1032.
25. *Salmeron R.A.* Gleb Wataghin // Estudos Avancados. — 2002. — Vol. 16, is. 44. — P. 310—315.
26. *Vilenkin A.* Gravitational Field of Vacuum Domain Walls and Strings // Physical Review D (Particles and Fields). — 1981. — Vol. 23, is. 4. — P. 852—857.
27. *Vilenkin A., Borde A.* Eternal Inflation and the Initial Singularity // Physical Review. Letters. — 1994. — Vol. 72, is. 21. — P. 3305—3308.
28. *Vilenkin A., Shellard E.* Cosmic Strings and Other Topological Defects. — Cambridge University Press, 2000. — 578 p.
29. *Vilenkin A.* Many Worlds in One: The Search for Other Universes. — New York: Hill & Wang, 2006. — 235 p.

*Т.В.Кілоцицька,  
аспірант*

## **Коротка історія вчення про лінійні коливання**

Колівальні процеси є найпоширенішим видом руху в природі. Вони зустрічаються в радіотехніці, машинотехніці, суднобудуванні, астрономії, хімії, оптиці тощо. Зародження і формування вчення про коливання відбувалося під дією потреб практики. Початкові уявлення про коливання як рух і звук, що виникає внаслідок коливання, з'явилися в стародавній Греції. Так, піфагорійці встановили, що висота звуку, який виникає внаслідок коливань струни, залежить від її довжини, товщини і натягу [1, с. 58; 2, с.49]. Вони вперше відкрили, що при відношенні

довжин струн як цілих чисел виникає гармонійний звук [3, с. 92—93]. Античні філософи, зокрема Птолемей, Евклід, Арістотель, вважали, що звук зумовлено колівальним рухом тіла. Арістотель перший запровадив поняття про два роди рухів — природні й вимушені, дав класифікацію рухів тіл. Природні рухи — це такі, що відбуваються самі по собі, наприклад падіння тіл по вертикалі. Вимушені рухи викликаються завжди зовнішньою причиною [4, с. 175].

У результаті тривалих експериментальних досліджень сформувався поняття про коливання і хвилі. У наш