

# ПРОФЕСОР ІВАН ПРОХОРОВИЧ ЗАПІСОЧНИЙ БЛЯ ВИТОКІВ НАУКОВОГО НАПРЯМКУ З ФІЗИКИ ЕЛЕКТРОН-ІОННИХ ЗІТКНЕНЬ

А. Й. Імре

Інститут електронної фізики НАН України

Дано стислий систематичний опис основних етапів становлення і розвитку одного із експериментальних наукових напрямків в атомній фізиці – електрон-іонних зіткнень, який був започаткований проф. І.П. Запісочним. Висвітлено його роль у створенні експериментальних установок для цих досліджень, отриманні нових наукових результатів та їх аналізу у наукових журналах і дисертаціях. Наголошено на ролі експериментальних результатів у стимулюванні теоретичних досліджень в області атомної фізики. Показано домінуючу роль проф. І.П. Запісочного у розвитку експериментальної атомної фізики на Закарпатті та в Україні..

Молодий спеціаліст І.П. Запісочний, отримавши ґрунтовну наукову підготовку на кафедрі оптики Ленінградського держуніверситету в лабораторії всесвітньвідомого спектроскопіста, члена-кореспондента Академії наук СРСР Сергія Едуардовича Фріша, після закінчення аспірантури й успішного захисту кандидатської дисертації приїхав у 1954 році в Закарпаття і з великим ентузіазмом взявся за створення в Ужгородському державному університеті сучасних навчальних та наукових лабораторій. З цією метою він залучав до дослідницької роботи здібних студентів та випускників фізичного факультету. Для виконання виробничої практики та дипломної роботи І.П. Запісочний направляв кращих студентів у науково-дослідницькі інститути чи університети Ленінграду, Москви, Новосибірська, Харкова. Там, у творчій атмосфері, яка панувала у всесвітньвідомих наукових закладах, студенти не тільки знайомилися з технікою фізичного експерименту, поглиблювали свої знання з атомної фізики, а й набували навичок самостійної роботи.

У 1957 році Іванові Прохоровичу вдалося створити необхідні умови для відкриття кафедри оптики, завідувачем якої він став. Відкриття через рік на фізикоматематичному факультеті аспірантури за спеціальністю "Фізика" одразу ж поживило наукову роботу на кафедрі. Розпочалися дослідження елементарних процесів

при зіткненнях електронів з різними атомами і молекулами, з'явилося ряд розробок джерел електронів. Наукові публікації І.П. Запісочного в співавторстві зі своїми аспірантами, а також активна участь ужгородських фізиків у роботі всесоюзних та міжнародних наукових форумів сприяли популяризації широкомасштабних досліджень в Ужгороді, визнанню значимості отриманих результатів. Зміцненню матеріально-технічної бази досліджень у значній мірі допомагало виконання госпдоговірних робіт. Це, в свою чергу, створювало сприятливі умови для розвитку і поглиблення наукових пошуків та розширення напрямків досліджень.

З метою ознайомлення вчених інших наукових установ з результатами наших робіт у галузі атомної фізики, а також встановлення з ними наукових зв'язків у 1962 році в Ужгороді було організовано і проведено II Всесоюзну конференцію з фізики електронних і атомних зіткнень. У її роботі брали участь відомі спеціалісти з атомної фізики. Відвідавши наші наукові лабораторії, ознайомившись з оригінальними установками й отриманими результатами, учасники конференції схвально відгукнулися про наші здобутки. У бесідах І.П. Запісочного з ними, зокрема з професором Подгорним Ігорем Михайловичем з Інституту атомної енергії ім. І.В. Курчатова (ІАЕ), виникла ідея перетнути електронний пучок з іонним і до-

сліджувати при цьому процеси зіткнень. Вдалося домовитися про виготовлення в Курчатовському інституті іонного джерела для наших досліджень.

У 1962 році я закінчив навчання на кафедрі оптики Ужгородського держуніверситету і навіть не думав тоді, що буду причетний до створення нового напрямку досліджень з фізики електрон-іонних зіткнень. Сталося так, що у 1964 році, коли я вступив до аспірантури, професор Записочний І.П. направив мене до Москви в ІАЕ для з'ясування ситуації з виготовленням іонного джерела. Я поїхав до Москви, і вже там виявилось, що професор Подгорний І.М. перейшов на роботу в Астрофізичний інститут, і ніхто про обіцяне нам джерело іонів не знає. Мені не залишалось нічого іншого, як звернутися від імені професора І.П.Записочного до завідувача відділенням фізики плазми ІАЕ академіка Льва Андрійовича Арцимовича. Він поставився з великим розумінням до цього питання, і сказав: "Периферії потрібно допомогти у створенні експериментальної установки для досліджень електрон-іонних зіткнень". Після цього ми підписали договір про науково-технічну співпрацю з ІАЕ ім. І.В.Курчатова, у складанні якого велику допомогу надав головний інженер відділення фізики плазми Олексій Костянтинівич Спиридонов. Для уточнення деталей договору до Ужгороду разом зі О.К.Спиридоновим приїхав начальник лабораторії плазмових досліджень ІАЕ, доктор фізико-математичних наук Ковальський Микола Григорович. На цьому етапі до роботи був залучений С.С.Поп (нині – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач проблемної науково-дослідної лабораторії з фізичної електроніки УжНУ). У виготовленні різних типів іонних джерел, що працювали в режимі дугового розряду або осцилюючих електронів, велику допомогу нам надав головний конструктор відділення фізики плазми ІАЕ Браверман Емануїл Натанович. Поки велися роботи з виготовлення вузлів і блоків живлення експериментальної установки в Москві, в Ужгороді група співробітників кафедри оптики (С.С.Поп,

А.Й. Дашенко, В.С. Вукстич, Є.І.Непійпов та автор цих рядків) на чолі з професором І.П.Записочним розпочала підготовку лабораторії до встановлення в ній мас-спектрометричної установки великих габаритів.

У 1965 році деталі експериментальної установки, виготовлені в ІАЕ, було надіслано в Ужгородський університет на кафедру оптики, де швидкими темпами проводився її монтаж. У цій роботі активну участь брали і студенти Ф.Ф.Данч і В.А.Кельман (нині – лауреат премії імені К.Д.Синельникова НАН України, доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу квантової електроніки Інституту електронної фізики НАН України). З метою вивчення методів стабілізації високопотужних приладів для живлення п'ятитонного  $180^\circ$  магнітного сепаратора іонів цих студентів було направлено до Інституту ядерних досліджень у м. Новосибірськ. Вони успішно виконали це завдання і застосували свої знання при запуску установки, яка отримала назву "Карпати".

У 1967 році цю установку було введено в дію, і ми отримали стабільний пучок іонів  $Ag^+$ . Фактично це було початком нового наукового напрямку – фізики електрон-іонних зіткнень. На першому етапі об'єктами досліджень було вибрано іони  $Ag^+$  і  $Kr^+$ , на спектральних лініях яких генерували іонні лазери. Тому отримані нами наукові результати сприяли з'ясуванню механізму генерації цих лазерів та оптимізації їх параметрів [1]. У 1970–72 роках було підготовлено першу кандидатську дисертацію [2] з цієї тематики, яку я захистив у 1972 році на кафедрі оптики Ленінградського державного університету.

Інтенсивні наукові дослідження в області керованого термоядерного синтезу стимулювали дослідження процесів зіткнень електронів з іонами гелію. Однак інтенсивні спектральні лінії цього іона знаходились у вакуумній ультрафіолетовій (ВУФ) області спектра. Тому потрібно було виготовити ВУФ монохроматори. Завдяки наполегливій праці доцента І.Г.Жукова і старшого наукового співробітника І.І.Гарги було набуто досвіду розробки і

виготовлення таких приладів. За розробку і створення ВУФ монохроматорів для установки "Карпати" взявся В.С.Вукстич разом з молодшими колегами А.М.Соломоном, Ю.В.Жменяком (всі троє працюють нині старшими науковими співробітниками ІЕФ НАН України) та В.В.Самсоновим. Наслідком їх зусиль було створення цілої низки вакуумних монохроматорів.

Набутий досвід дозволив перейти до наступного етапу досліджень електронного збудження іона  $\text{He}^+$ . Оскільки досліджуване випромінювання потрапляло в область далекого ВУФу, то експеримент вимагав подальшої модернізації установки "Карпати". Однак наполеглива праця виправдала себе, і нам вдалося вперше у світі дослідити функцію електронного збудження резонансного випромінювання іона  $\text{He}^+$  на довжині хвилі 30.4 нм при електрон-іонних, електрон-атомних і іон-атомних зіткненнях. Отримані результати дозволили однозначно стверджувати, що для гелієвої плазми головним джерелом втрат енергії є збудження резонансного випромінювання іона  $\text{He}^+$  при електрон-іонних зіткненнях [3]. У 1975 році за результатами цих досліджень А.Й.Дашенком було захищено кандидатську дисертацію [4] у Фізико-технічному інституті ім. А.Ф.Йоффе (ФТІ).

Окрім іонів інертних газів, на установці "Карпати" проводились також дослідження ефективних перерізів електронного збудження іонів молекулярного азоту у видимій області спектра. Отримані дані мали фундаментальне значення і знайшли практичне застосування в астрофізичних дослідженнях.

Логічним розвитком фізики електрон-іонних зіткнень було проведення систематичних досліджень при зіткненнях повільних електронів з іонами інших елементів Періодичної системи Д.І.Менделєєва. Оскільки більшість із них є металами, то потрібно було створити експериментальну установку з відповідним джерелом іонів. Під керівництвом Івана Прохоровича мною і аспірантом Кельманом В.А. було створено таку установку, яку ми назвали "Іон". Її головною відмінністю від установки

"Карпати" була заміна громіздкого газорозрядного джерела іонів малогабаритним, компактним джерелом іонів, конструкцію якого розробив О.Б.Шпенник (нині – лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України, директор ІЕФ НАН України) зі співробітниками, та  $180^\circ$  магнітного сепаратора іонів –  $90^\circ$  електростатичним сепаратором іонів.

Першими об'єктами досліджень на цій установці стали іони лужноземельних металів. Інтерес до цих іонів обумовлено тим, що процеси за їх участю відіграють надзвичайно важливу роль в астрофізичній та термоядерній плазмі, у навколосемному космічному просторі, в лазерній техніці та інших перспективних наукових напрямках. Отримані результати з електронного збудження резонансних ліній та ліній побічних серій іонів  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Sr}^+$  і  $\text{Ba}^+$  показали, що ефективні перерізи їх збудження досить великі ( $\sim 10^{15} \text{ см}^2$ ) і набагато більші, ніж для іонів інертних газів ( $\sim 10^{17} \text{ см}^2$ ). У цих же експериментах при вимірюванні ступеня поляризації випромінювання в електрон-іонних зіткненнях було встановлено, що для сильних компонент резонансних дублетів іонів кальцію, стронцію і барію вона має максимальне значення в порозі (20%), потім поступово зменшується і при енергії 50–60 еВ змінює знак [5]. За результатами цих досліджень у 1978 році в Латвійському державному університеті В.А.Кельманом було захищено кандидатську дисертацію [6].

Наступними об'єктами досліджень на установці "Іон" були іони лужних металів, які характеризуються заповненою  $p^6$  валентною оболонкою, а досліджувані лінії попадають у ВУФ область спектру (40–110 нм). На відміну від іонів лужноземельних металів, ефективні перерізи процесів у випадку іонів лужних металів досить малі за величиною ( $\sim 10^{16} \div 10^{17} \text{ см}^2$ ). Нами досліджено електронне збудження резонансних ліній однозарядних іонів  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$  і  $\text{Cs}^+$  та ліній, які випромінюються внаслідок збудження електрона з субвалентної  $ns^2$  оболонки, тобто  $s$ -іонізацію цих іонів

[7]. У припороговій ділянці енергетичних залежностей ефективних перерізів збудження на всіх досліджуваних лініях було виявлено структуру, яка домінувала над прямим процесом збудження. Ми запропонували пояснення природи виявленої структури як ефективного захоплення налітаючих електронів іонами, утворення атомарних автоіонізаційних станів, які, розпадаючись в електронному каналі на збуджені рівні іонів, призводять до додаткового резонансного вкладу в ефективні перерізи збудження. Оскільки іони лужних металів характеризуються суттєвим розщепленням збуджених рівнів, то автоіонізаційні стани розпадаються головним чином у процесі Костера-Кроніга. Слід зазначити, що саме при дослідженні цих іонів вперше в умовах пучків, що перетинаються, було виявлено і досліджено діелектронну рекомбінацію іонів [8]. Отримані результати ввійшли в кандидатську дисертацію О.І.Запісочного (науковий керівник І.С.Алексахін, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки в 1995 році, доктор фізико-математичних наук, професор, на жаль, нині покійний), яку він захистив у 1980 році в ФТІ [9].

Паралельно з дослідженням взаємодії електронів з іонами металів тривали експерименти на установці "Карпати". На ній досліджувалося збудження резонансних ліній іонів інертних газів електронами з кращою (порівняно з попередніми роками) енергетичною однорідністю. Це дало змогу виявити на досліджуваних енергетичних залежностях ефективних перерізів збудження чітку резонансну структуру. У цих експериментах при дослідженні іона гелію також було виявлено випромінювання у спектральній області 30–32 нм, яке є результатом діелектронної рекомбінації. Вимірний ефективний переріз цього процесу становив  $10^{-18}$  см<sup>2</sup>, що більш ніж на порядок перевищувало теоретичні розрахунки. Результати цих досліджень описав і проаналізував Я.М.Семенюк (нині – кандидат фізико-математичних наук, доцент УжНУ) у кандидатській дисертації, захищеній ним у 1985 році в Ленінградському державному університеті.

Автоматизація досліджень на установці "Іон" за допомогою ЕОМ "Електроніка 100И" та суттєве покращення моноенергетичності електронного пучка (до 0.1 еВ) завдяки використанню 90° циліндричного селектора електронів дозволили більш прецизійно виміряти припорогові ділянки енергетичних залежностей перерізів збудження іонів Mg<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, Sr<sup>+</sup> і Ba<sup>+</sup> та виявити чітку резонансну структуру, яку було пояснено ефектом захоплення електронів в автоіонізаційні стани відповідних атомів [12]. Отримані результати стали основою кандидатської дисертації В.І.Фронта, яку він захистив у 1986 році в Інституті спектроскопії АН СРСР (м. Троїцьк) [13].

Слід зазначити, що прецизійні результати, отримані на цьому етапі досліджень, не тільки стимулювали цілий ряд теоретичних розрахунків, у яких вони знайшли підтвердження, а й дали поштовх для розвитку більш точних методів дослідження резонансів при електрон-іонних зіткненнях.

У 1981 році завдяки наполегливій науково-організаційній роботі професора І.П.Запісочного було створено Ужгородське відділення Інституту ядерних досліджень (УжВ ІЯД) АН України. Основою кадрового потенціалу відділів електронних процесів та іонних процесів стали співробітники кафедри квантової електроніки. З цієї кафедри новоствореному науковому підрозділу було передано деякі прилади й устаткування, у т.ч. установку "Іон". Тому подальший розвиток напрямку електрон-іонних зіткнень відбувався вже на новому місці. Для цього перш за все потрібно було ввести в дію установку в новій лабораторії, що було зроблено за досить короткий час. Відпрацювавши методику досліджень на іонах Mg<sup>+</sup> і Ca<sup>+</sup>, впевнившись у дієздатності установки, ми перейшли до дослідження більш складних багатоелектронних іонів.

Цикл таких досліджень був започаткований експериментами з іоном Tl<sup>+</sup>. Цей іон суттєво відрізняється будовою електронних оболонок від раніше досліджуваних іонів, оскільки має окрім двох s-електронів на валентній оболонці також заповнену субвалентну 5d<sup>10</sup> оболонку. Енергії зв'язку

електронів у валентній і субвалентній оболонках близькі за величиною, що призводить до їх сильної кореляції і, відповідно, до великої різноманітності спектральних переходів. Це дозволяє дослідити у межах однієї атомної системи різні процеси: збудження оптично дозволених, інтеркомбінаційних [14] і оптично заборонених переходів; переходів, пов'язаних з одночасним збудженням двох валентних електронів і утворенням зміщених термів [15] та зі збудженням або іонізацією внутрішнього (субвалентного) електрона з  $5d^{10}$  оболонки (бейтлерівських термів) [16]. Було досліджено також резонансні лінії двозарядного іона  $Tl^{2+}$  [17] та різні типи діелектронної рекомбінації: власне діелектронну рекомбінацію, що проявляється у радіаційній стабілізації автоіонізаційних станів через конкретні переходи в основний та низькі збуджені стани атома талію, а також діелектронні сателіти резонансних ліній [18]. Якщо у випадку більш легких іонів резонансна структура проявлялася, як правило, у припороговій ділянці функцій збудження, то при дослідженні збудження іона талію чітку структуру було виявлено також і за потенціалом іонізації іона. Результати цих досліджень показали, що у складних багатоелектронних систем зростає роль релятивістських і кореляційних ефектів, а резонансний вклад у перерізи збудження набагато більший, ніж у випадку іонів легких елементів. Отримані результати було описано і проаналізовано в кандидатській дисертації Г.М.Гомонай (нині – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник ІЕФ НАН України) [19], яку вона захистила у 1986 році в Ужгородському державному університеті. Велика заслуга у створенні нових приладів, необхідних для роботи установки, та аналізі нових результатів належить Конрошу Є.Е. (нині – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник ІЕФ НАН України).

Виявлені особливості і закономірності досліджуваних процесів для різних груп іонів було узагальнено в першій докторській дисертації з цього напрямку [20], яку я захистив у ФТІ ім. А.Ф.Йоффе.

Керуючи УжВ ІЯД АН України, І.П.Запісочний вмilo поєднував свої наукові здобутки з великими організаторськими здібностями і втілював у життя свою багаторічну мрію – створити академічний інститут на Закарпатті. Він докладав титанічних зусиль для того, щоб переконати владу в необхідності цього наукового закладу. Ця нелегка праця увінчалася успіхом, і у 1992 році в Ужгороді було відкрито Інститут електронної фізики НАН України.

Всі сили колективу інституту були задіяні у напрямку якнайшвидшого введення в експлуатацію експериментального устаткування на новому місці. Тому вже через деякий час установка "Іон" була готова до роботи. Разом зі мною у напрямку фізики електрон-іонних зіткнень на той час працювали наукові співробітники А.І.Запісочний і Г.М.Гомонай та інженери М.В.Коложварі й А.М.Немет.

На установці "Іон" продовжувалося вивчення механізмів непружних процесів при зіткненнях повільних електронів зі складними іонами. Вони проводилися вже на більш високому експериментальному рівні, для чого було вдосконалено автоматизацію процесу вимірювання на сучасній елементній базі за допомогою персонального комп'ютера. Великий вклад в автоматизацію та програмне забезпечення вимірів, а також у проведення наукових досліджень вніс старший науковий співробітник В.С.Вукстич.

Об'єктами досліджень були вибрані іони підгрупи цинку. Проведені прецизійні виміри та ґрунтовний аналіз отриманих результатів дозволили виявити чітку резонансну структуру на енергетичних залежностях ефективних перерізів збудження та встановити складний механізм збудження спектральних переходів іонів  $Zn^+$  і  $Cd^+$  [21,22]. Встановлено, що ця структура обумовлена суттєвим (~30-40%) вкладом в ефективні перерізи збудження процесів, які пов'язані з резонансним збудженням системи "електрон+іон" в атомарні та іонні автоіонізаційні стани, що утворюються переважно при збудженні електронів з  $nd^{10}$  оболонки, з наступним їх електрон-

ним розпадом безпосередньо чи через каскади на резонансні рівні іонів.

Біляпорогове збудження резонансних ліній цих іонів ускладнене не тільки резонансним збудженням, а й діелектронною рекомбінацією [23]. Вона є основним механізмом збудження діелектронних сателітів спектральних ліній. Отримані результати однозначно підтвердили, що у складних багатоелектронних іонів зростає роль релятивістських ефектів, суттєвий також вплив кореляційних ефектів, які, в свою чергу, суттєво впливають на механізми резонансних та прямих процесів непружних зіткнень електронів з іонами. Основні результати цього циклу робіт стали предметом обговорення й аналізу у кандидатській дисертації молодшого наукового співробітника ІЕФ НАН України Немета А.М.

На даний час на установці "Іон" розпочалися дослідження збудження іона індію електронним ударом. Для цього потрібно було модернізувати джерело іонів для роботи при високих температурах (~1000 °C). У цьому напрямку, крім мене і старшого наукового співробітника Г.М.Гомонай, беруть участь також провідний інженер Ю.І.Гутич та аспірант Є.В.Овчаренко.

Наукові досягнення з фізики електрон-іонних зіткнень знайшли своє відображення у багаточисельних публікаціях, доповідях на вітчизняних та міжнародних наукових форумах, мають високий індекс цитування, що свідчить про їх всесвітнє визнання. Таким чином, ідеї і мрії Івана

Прохоровича Записочного про новий напрям досліджень – електрон-іонні зіткнення, у важливості якого для розвитку світової науки він був переконаний, стали реальністю і достойно репрезентують школу ужгородських фізиків на світовому рівні.

Простеживши у хронологічному порядку історичні етапи становлення та розвитку фізики електрон-іонних зіткнень, бачимо, що за цей час зроблено багато, і в усіх отриманих результатах є велика частка творчого і організаторського потенціалу професора І.П.Записочного. Він міг не тільки організувати роботу, залучаючи до неї найздібніших зрілих вчених і кращих студентів, а й мобілізувати всі сили на досягнення мети, своїм прикладом показуючи, що труднощі у роботі тимчасові і наполегливою працею їх можна здолати.

Протягом багатьох років я у своїй творчій роботі йшов пліч-о-пліч зі своїм вчителем, професором І.П.Записочним, і з впевненістю можу стверджувати, що у становленні і розвитку атомної фізики не тільки в Ужгороді, а й у світовій науці, його роль величезна. Я та мої колеги й учні, які працювали у напрямку фізики електрон-іонних зіткнень, глибоко вдячні долі, що на своєму життєвому шляху зустріли таку людину як Іван Прохорович. Він навчив нас самостійності і цілеспрямованості у роботі, завдяки чому ми досягли значних успіхів у науці. Зі свого боку ми докладемо всіх сил, щоб справа всього життя нашого вчителя і наставника продовжувалась.

### Література

1. Записочный И.П., Имре А.И., Дашенко А.И., Вукстич В.С., Данч Ф.Ф., Кельман В.А. Экспериментальное исследование возбуждения  $ArII$  и  $KrII$  при электрон-ионных столкновениях // ЖЭТФ. – 1972. – Т.63, вып. 6(12). – С.2000–2009.
2. Имре А.И. Разработка методики и исследование возбуждения  $ArII$  и  $KrII$  при электрон-ионных столкновениях. Диссертация кандидата физ.-мат. наук. – Ленинград, 1972. – 111 с.
3. Дашенко А.И., Записочный И.П., Имре А.И., Вукстич В.С., Данч Ф.Ф., Кельман В.А. Возбуждение резонансного уровня  $He^+$  при электрон-атомных, электрон-ионных, ион-атомных столкновениях // ЖЭТФ. – 1974. – Т.67, вып. 2(8). – С. 503–509.
4. Дашенко А.И. Экспериментальное исследование возбуждения резонансного излучения ионов гелия электронным ударом. Диссертация кандидата физ.-мат. наук. – Ленинград, 1975. – 125 с.

5. Запесочный И.П., Кельман В.А., Имре А.И., Дашенко А.И., Данч Ф.Ф. Возбуждение резонансных уровней  $Mg^+$ ,  $Ca^+$ ,  $Sr^+$  и  $Ba^+$  при электрон-ионных столкновениях // ЖЭТФ. – 1975. – Т.69, вып. 6(12). – С.1948–1955.
6. Кельман В.А. Экспериментальное исследование возбуждения ионов щелочноземельных элементов при медленных электрон-ионных столкновениях. Диссертация кандидата физ.-мат. наук. – Рига, 1978. – 119 с.
7. Запесочный А.И., Имре А.И., Алексахин И.С., Запесочный И.П., Зацаринный О.И. Резонансные явления при неупругих взаимодействиях медленных электронов с ионами щелочных металлов // ЖЭТФ. – 1986. – Т.90, вып. 6. – С.1972–1981.
8. Алексахин И.С., Запесочный А.И., Имре А.И. Обнаружение диэлектронной рекомбинации иона калия // Письма в ЖЭТФ. – 1978. – Т.28, вып. 9. – С. 576–579.
9. Запесочный А.И. Исследование неупругих процессов взаимодействия электронов с ионами щелочных металлов. Диссертация кандидата физ.-мат. наук. – Ленинград, 1980. – 140 с.
10. Запесочный И.П., Имре А.И., Семенюк Я.Н. Неупругие столкновения электронов с ионами благородных газов // ЖЭТФ. – 1991. – Т.99, вып. 3. – С.721–734.
11. Семенюк Я.Н. Экспериментальное исследование неупругих процессов взаимодействия медленных электронов с ионами инертных газов. Диссертация кандидата физ.-мат. наук. – Ленинград, 1985. – 136 с.
12. Запесочный И.П., Имре А.И., Дашенко А.И., Фронтов В.И. Структура в сечениях возбуждения ионов щелочноземельных элементов моноэнергетическими электронами // ЖЭТФ. – 1991. – Т. 100, вып. 1(7). – С.113–124.
13. Фронтов В.И. Исследование возбуждения ионов кальция, стронция и бария моноэнергетическими электронами с использованием автоматизированной системы управления экспериментом. Диссертация кандидата физ.-мат. наук. – Троицк, 1986. – 144 с.
14. Запесочный И.П., Имре А.И., Контрош Е.Э., Запесочный А.И., Гомонай А.Н. Резонансы при возбуждении интеркомбинационного  $6^1S_0-6^3P_1$  перехода иона таллия в электрон-ионных столкновениях // Письма в ЖЭТФ. – 1986. – Т. 43, вып. 10. – С.463–465.
15. Гомонай Г.М., Имре А.И., Запесочный О.И., Контрош Е.Е., Запесочный И.П. Збудження радіаційних переходів з  $6p^2$  ( $^1D_2$  та  $^3P_1$ )-рівнів іона талію електронним ударом // УФЖ. – 1994. – Т. 39, № 1. – С.43–46.
16. Гомонай Г.М., Имре А.И. Про збудження  $5d^96s^26p$ -рівнів іона  $Tl^+$  електронним ударом // УФЖ. – 1996. – Т.41, № 11–12. – С.1032–1037.
17. Гомонай Г.М., Имре А.И. Про d-іонізацію однозарядного іона талію електронним ударом // УФЖ. – 1996. – Т.41, № 2. – С.170–173.
18. Гомонай А.Н., Имре А.И., Контрош Е.Э. Диэлектронная рекомбинация иона таллия // Оптика и спектроскопия. – 1996. – Т. 81, № 1. – С.29–32.
19. Гомонай А.Н. Возбуждение, ионизация и диэлектронная рекомбинация при столкновениях электронов с ионами таллия. Диссертация кандидата физ.-мат. наук. – Ужгород, 1986. – 157 с.
20. Имре А.И. Неупругие процессы при медленных электрон-ионных столкновениях. Диссертация доктора физ.-мат. наук. – Ленинград, 1990. – 321 с.
21. Имре А.И., Гомонай А.Н., Вукстич В.С., Немет А.Н. Возбуждение резонансных линий иона  $Zn^+$  электронным ударом // Оптика и спектроскопия. – 2000. – Т.89, № 2. – С.179–184.
22. Гомонай А.Н. Возбуждение резонансных линий иона кадмия моноэнергетическими электронами // Оптика и спектроскопия. – 2003. – Т.94, № 4. – С.538–545.
23. Имре А.И., Гомонай А.Н., Вукстич В.С., Немет А.Н. О резонансных процессах в окологороговом возбуждении резонансных линий иона  $Zn^+$  при электрон-ионных столкновениях // Письма в ЖЭТФ. – 1998. – Т.68, вып. 8. – С.614–618.

# **PROF. I.P.ZAPESOCHNY AT THE ORIGIN OF A NEW SCIENTIFIC TREND – THE PHYSICS OF ELECTRON- ION COLLISIONS**

**A. I. Imre**

Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.

A concise systematic description of the main stages of formation and development of an experimental trend in atomic physics, namely the physics of electron-ion collisions, founded by I.P.Zapesochny, is given. His role in the construction of experimental setups for these studies, obtaining new scientific results and their analysis in journals and theses is pointed out. The role of experimental results in stimulating theoretical studies in the field of atomic physics is emphasized. The predominant role of Prof. I.P.Zapesochny in the development of experimental atomic physics in Transcarpathia and Ukraine is shown.