

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

НАУЧНИ СКУПОВИ

Књига CIV

ОДЕЉЕЊЕ ЗА МАТЕМАТИКУ, ФИЗИКУ И ГЕО-НАУКЕ

Књига 2/2

ПРИМЕЊЕНА ФИЗИКА У СРБИЈИ

ЗБОРНИК ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ



ПРИМЕЊЕНА ФИЗИКА У СРБИЈИ
ЗБОРНИК ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ



БЕОГРАД

2003

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

SCIENTIFIC MEETINGS

Volume CIV

DEPARTMENT OF MATHEMATICS, PHYSICS AND GEO-SCIENCES

Book 2/2

APPLIED PHYSICS IN SERBIA

PROCEEDINGS OF LECTURES UPON INVITATION

May 27, 28 and 29, 2002

Editors

S. Koički, N. Konjević, Z. Lj. Petrović, Đ. Bek-Uzarov

BELGRADE 2003

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

НАУЧНИ СКУПОВИ

Књига CIV

ОДЕЉЕЊЕ ЗА МАТЕМАТИКУ, ФИЗИКУ И ГЕО-НАУКЕ

Књига 2/2

ПРИМЕЊЕНА ФИЗИКА У СРБИЈИ

ЗБОРНИК ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ

27, 28. и 29. мај 2002.

Уредници

С. Коички, Н. Коњевић, З. Љ. Петровић, Ђ. Бек-Узаров

БЕОГРАД 2003

Издаје
Српска академија наука и уметности
Београд, Кнез Михаилова 35

Насловна страна
Н. М. Шишовић

Тираж 400 примерака

Штампа
ГИП „Култура“
Београд, М. Бирјугова 28

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

53 (497.11) "19" (082)

ПРИМЕЊЕНА физика у Србији : зборник предавања по позиву 27, 28. и 29. мај 2002. / уредници С. [Стеван] Коички ... [и др.]. – Београд : САНУ, 2003 (Београд : Култура). – 437 стр. : илустр. ; 24 см. – Научни скупови / Српска академија наука и уметности ; књ. 98. Одељење за математику, физику и гео-науке, ISSN 1451-2025 ; књ. 2, 2)

На спор. насл. стр. : Applied Physics in Serbia. – Тираж 400. – Библиографија уз већину радова. – Summaries. – Регистар.

ISBN 86-7025-357-7

1. Ств. насл. на упор. насл. стр. 2. Коички, Стеван
а) физика – Србија – 20в – Зборници

COBISS. SR-ID 113441036

ПРЕДГОВОР

У Србији до данас не постоји свеобухватан запис о развоју физике. Непотпуност историјског увида се посебно односи на примењену физику чији је развој био спорадичан, њеорганизован и недовољно алиментиран. Одељење за математику, физику и гео-науке Српке академије наука и уметности – САНУ је проценило да је могуће, кроз организацију скупа истраживача из области примењене физике, да сачини преглед истраживања који би показао научна достигнућа и доприносе које је примењена физика учинила у развоју Србије у другој половини двадесетог века. Један од циљева скупа био је и да се сагледа садашње стање и могућности за будући развој примењене физике и технологија заснованих на физици.

У том циљу сазван је научни скуп “Примењена физика у Србији” који је одржан у САНУ, 27, 28. и 29. маја 2002. године, када је издата, на енглеском језику прва књига – Зборник радова и апстракти предавања одржаних на скупу.

Друга књига, на српском језику, садржи текстове предавања чији је главни циљ био историјски преглед развоја примењене физике у Србији током друге половине XX века. Разумљиво је да у оквиру тродневног скупа није било могуће обрадити сва примењена истраживања и укључити све учеснике од којих, нажалост, многи нису више међу нама. Очекују се и даље допуне историјске грађе у овој области.

Неке од дискусија које су вођене за округлим столом прибележене су и треба да послуже као поруке за будућност.

Садржај чланака у овој књизи одражава мишљење и сећање аутора. Уредници нису битно утицали на садржај изложеног градива. Одговорност за тачност података носе аутори чланака.

Организатори научног скупа захваљују за финансијску подршку Министарству за науку, технологију и развој Републике Србије, Секретаријату за развој, науку и околину Савезне Републике Југославије и НИС рафинерије нафте Београд.

ОТВАРАЊЕ НАУЧНОГ СКУПА

ПРИМЕЊЕНА ФИЗИКА У СРБИЈИ

Д. МЕДАКОВИЋ - ПРЕДСЕДНИК САНУ

У непуних шест деценија које су протекле од краја другог светског рата, догодиле су се огромне промене у технологији, које су биле толико значајне, да су током само једног људског живота успевале да промене и само људско друштво. Суштина тих процеса последица је великог убрзаног преношења резултата основних научних истраживања у технологију и конкретне примене, које су потом даље убрзавале и развој науке. Физика је предводила ову експлозију савремених технологија. Сетимо се нуклеарне енергетике, открића транзистора, развоја технологија за производњу интегрисаних кола, открића и примене ласера, холографије, суперпроводника, развоја нових материјала и примену објеката величине једног атома.

Пре нешто више од сто година познати енглески научник, а многи кажу и највећи експериментални физичар свих времена, Ј.Ј.Томсон открио је електрон. Напомињем да је Српска академија наука и уметности обележила стогодишњицу овог догађаја. У духу тог времена, када се сматрало да се једино вреди бавити чистом науком, Ј.Ј.Томсон је сваку божићну здравицу отпочињао речима: "Електрону и да му нико не нађе никакву примену". То доба бављења науком ради интелектуалних и цивилизацијских успеха је давно прошло. Данас смо сви свесни колико је окосницу технолошког развоја 20. века представљао баш тај електрон. А и сам Томсонов опит је врло брзо примењен и од њега је настао катодни осцилоскоп и екран ТВ апарата и компјутерских монитора. Данас не само да је примењена физика постала важна у хијерархији научних постигнућа, већ се слободно може тврдити да се свака наука развија имајући у виду неке специфичне примене, стварајући и неке посебне облике међусобно апсолутне зависности.

Наравно, банално свођење науке на решавање конкретних технолошких проблема је крајње погрешно и једнострано. Јер да је тако било, ми данас не бисмо имали ласере, интегрисана кола, оптичке телекомуникације и многе примене у медицини. Сва ова и већина других кључних достигнућа потекла су од онога што се назива истраживања вођена радозналошћу. Суштина успешних примена је у томе да су научници били одговорни да, по обављеним открићима из подручја

непознатог у која их је одвела машта и радозналост, покушају наћи и одговарајуће примене, доказујући себи и свету да то чине само ради опште среће и напретка.

Због тога је велика одговорност не само ове Академије, већ и свих институција које се баве науком, од државно-управних до научних института и факултета, да створе окружење у којем ће наши научници бити у стању да прате светска достигнућа у науци. Истовремено треба да се створе и могућности да се та њихова знања што брже и успешније примене, првенствено кроз конкретне технологије, услуге као што су развој стандарда или мерних система или развој кадрова који ће бити у стању да прихвате нове технологије, без обзира што оне захтевају висок степен научне и стручне обучености. Свако занемаривање ових захтева, неминовно води у изолацију науке и, обавезно, кобно заостајање.

Да ли су наши физичари успешно обављали ове задатке, одговориће бројни радови и предавања на овом скупу. Указује се прилика да се докаже да су физичари један од најактивнијих делова наше науке и један од најзрелијих у преузимању и примени достигнућа савремене науке. Ми се надамо да ће овај научни скуп да послужи самим научницима да саберу генезу својих активности и да провере шта све можемо данас да очекујемо у предворју 21. века. Такође се надамо да ће овај научни скуп моћи да послужи и као корисна поучна основа онима који у овој земљи воде бригу о науци да се сачини боља и успешнија научна политика, да се уздигне њено уважавање у свету политике, онако како се то чини у целом напредном свету.

Али, то су, уопштено говорено, задаци науке, или боље рећи свих наука. Код нас и у свету, њихов заједнички циљ је проналажење и устројавање опште хармоније и спречавање сваке опасне једностраности и њених кобних последица. О противном, човечанство је опоменуо још Данте, који у XXXII, 1-9. певању "Пакла" казује узбудљив стих. "Discrive fondo a tutto l'universo." (Јер свијета дио описат се не даде.) Ту немоћ оповргавају и напори савремене науке да продре до свих тајни природе, да нам приближи и оно што до данас изгледа као недокучиво. Велико је питање да ли ће наука открити, баш као у Гетеовој балади о чаробњаковом учитељу, и тајну како да се заустави једном покренута чаробњакова метла и тако сачува свет од разарања. Век који је недавно започео био би неизрециво тужан, уколико не бисмо били у стању да сачувамо и спасемо оне хуманистичке идеале који учвршћују општу наду у бољи живот. Са овом оптимистичком поруком, проглашавам овај скуп отвореним.

САДРЖАЈ
CONTENTS

ПРЕДГОВОР

Д. Медаковић, председник САНУ
ОТВАРАЊЕ СКУПА

1. С. Коички
ПРИМЕЊЕНА ФИЗИКА КАО ЕЛЕМЕНАТ РАЗВОЈА
ДРУШТВА–ИСКУСТВА И ПЕРСПЕКТИВЕ ФИЗИКЕ
У СРБИЈИ 1
S. Koički
APPLIED PHYSICS AS AN ELEMENT OF GENERAL
DEVELOPMENT OF COUNTRY–EXPERIENCES AND
PERSPECTIVES OF PHYSICS IN SERBIA 16
2. В. Ајдачић, И. Бикит, М. Манасијевић, Б. Радак, Ј. Сливка
ПРИМЕЊЕНА НУКЛЕАРНА ФИЗИКА 19
V. Ajdačić , I. Bikit, M. Manasijević , B. Radak, J. Slivka
APPLIED NUCLEAR PHYSICS 33
3. Р. Антанасијевић, Ђ. Бошан, Ђ. Крмпотић, М. Млађеновић
ДЕТЕКТОРИ НУКЛЕАРНИХ ЗРАЧЕЊА И ЕЛЕМЕНТАР-
НИХ ЧЕСТИЦА 35
R. Antanasijević , Đ. Bošan, Đ. Krmpotić, M. Mladenović
NUCLEAR RADIATION AND ELEMENTARY PARTICLE
DETECTORS 49
4. Д. Стефановић, М. Пешић
ФИЗИКА НУКЛЕАРНИХ РЕАКТОРА 51
D. Stefanović, M. Pešić
PHYSICS OF NUCLEAR REACTORS 67
5. Б. Маршићанин, Б. Аничин, М. Петровић
О НЕКИМ КРУПНИЈИМ ПОСТРОЈЕЊИМА ПРИМЕЊЕНЕ
ФИЗИКЕ 69

- B. S. Maršićanin, B. Aničin, M. Petrović
SOME LARGER INSTALLATIONS IN APPLIED PHYSICS 76
6. J. Вуковић, Ђ. Бек-Узаров, Ј. Станковић, Р. Антанасијевић,
М. Летић, В. Бошњаковић, В. Обрадовић, Р. Спаић
ФИЗИКА У МЕДИЦИНИ 77
- J. Vuković, Dj. Bek-Uzarov, J. Stanković, R. Antanasijević,
M. Letić, V. Bošnjaković, V. Obradović, R. Spaić
PHYSICS IN MEDICINE 108
7. З. В. Поповић
ФИЗИКА ЧВРСТОГ СТАЊА И ФИЗИКА МАТЕРИЈАЛА 109
- Z. V. Popović
CONDENSED MATTER AND MATERIALS PHYSICS 124
8. С. Н. Маринковић
НОВИ УГЉЕНИЧНИ МАТЕРИЈАЛИ – КАРБОНИ И
СИНТЕТИЧКИ ДИЈАМАНТ 125
- S.N. Marinković
ADVANCED MATERIALS –CARBON AND SYNTHETIC
DIAMOND 134
9. З. Ђурић, М.Смиљанић, М.Матић
МИКРОЕЛЕКТРОНСКИ СЕНЗОРИ 139
- Z. Djurić, M. Smiljanić, M. Matić
MICROELECTRONIC SENSORS 161
10. Т. М. Ненадовић
ОД НАУКЕ О ПОВРШИНАМА ДО ХИПЕРФИНИХ
ТЕХНОЛОГИЈА ПОВРШИНА 163
- T. M. Nenadović
FROM SURFACE SCIENCE TO HYPERFINE SURFACE
TECHNOLOGIES 180
11. М. М. Пејовић, Г. С. Ристић, А. Б. Јакшић
ЕФЕКТИ ГАМА ЗРАЧЕЊА НА ПОЛУПРОВОДНИКЕ 181

- M. M. Pejović, G. S. Ristić, A. B. Jakšić
THE EFFECTS OF GAMMA-RAY IRRADIATION ON
SEMICONDUCTORS 188
12. Б. П. Маринковић, Д. М. Филиповић, Д. Шевић, В. Бочварски,
М. Терзић, Д. Д. Маркушев, Д. Белић
АТОМСКА И МОЛЕКУЛСКА ФИЗИКА 191
B. P. Marinković, D. M. Filipović, D. Šević, V. Bočvarski,
M. Terzić, D. D. Markušev, D. Belić
ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS 207
13. Н. Коњевић, Шћ. С. Миљанић, Д. Пантелић, М. В. Поповић
ЛАСЕРИ И ОПТИКА 209
N. Konjević, Šć. S. Miljanić, D. Pantelić, M. V. Popović
LASERS AND OPTICS 232
14. Т. М. Павловић
РАЗВОЈ СОЛАРНЕ ЕНЕРГЕТИКЕ У СРБИЈИ 233
T. M. Pavlović
DEVELOPMENT OF SOLAR ENERGETICS IN SERBIA 241
15. М. М. Поповић, С.С. Поповић
ФИЗИКА ЈОНИЗОВАНИХ ГАСОВА ОСНОВА ПРИМЕЊЕНИХ
ИСТРАЖИВАЊА НЕКОХЕРЕНТНИХ СВЕТЛОСНИХ
ИЗВОРА 243
M. M. Popović, S. S. Popović
THE PHYSICS OF IONIZED GASES THE BASE OF APPLIED
RESEARCH ON NON-COHERENT LIGHT SOURCES 258
16. З. Љ. Петровић
МИКРОТАЛАСНЕ ЦЕВИ И ПРИМЕНЕ НЕРАВНОТЕЖНЕ
ПЛАЗМЕ 261
Z. Lj. Petrović
MICROWAVE TUBES AND APPLICATIONS OF
NON-EQUILIBRIUM PLASMAS 276
17. М. Златановић
ПЛАЗМА ТЕХНИКА ПОВРШИНА 277

M. Zlatanović PLASMA SURFACE ENGINEERING	290
18. К. Ф. Змбов ПРИМЕНА МАСЕНЕ СПЕКТРОМЕТРИЈЕ	291
К. Ф. Zmbov MASS SPECTROMETRY APPLICATIONS	300
19. М. М. Нинковић ЗАШТИТА ОД ЈОНИЗУЈУЋЕГ ЗРАЧЕЊА	301
М. М. Ninković IONIZING RADIATION PROTECTION	323
20. М. Д. Тасић, С. Ф. Рајшић, Ј. М. Марендић-Миљковић, В. Т. Новаковић, З. Б. Вукмировић ФИЗИКА У ЗАШТИТИ АТМОСФЕРЕ	325
М. D. Tasić, S. F. Rajšić, J. M. Marendić-Miljković, V. T. Novaković, Z. B. Vukmirović PHYSICS IN ATMOSPHERIC ENVIRONMENTAL PROTECTION	336
21. В. Георгијевић, М. Симић ФИЗИКА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ	339
V. Georgijević, M. Simić PHYSICS IN CIVIL ENGINEERING	347
22. Х. Ш. Куртовић, П. Б. Правица, Д. Д. Калић ПРИМЕЊЕНА АКУСТИКА У СРБИЈИ	349
Н. Š Kurtović, P. Pravica, D. Kalić APPLIED ACOUSTICS IN SERBIA	357
23. Д. С. Поповић, М. Белић, И. Мендаш ПРИМЕНЕ ТЕОРИЈСКЕ ФИЗИКЕ МАТЕРИЈА ПОД ВИСОКИМ ПРИТИСЦИМА И ТРАНССОНИЧНА АЕРОДИНАМИКА	359
D. Popović, M. Belić and I. Mendaš APPLICATIONS OF THEORETICAL PHYSICS MATTER AT HIGH PRESSURES AND TRANSONIC AERODYNAMICS	370

24. М. С. Димитријевић, Л. Ч. Поповић	
РАЗВОЈ И ПРИМЕНА БАЗА ПОДАТАКА У АСТРОНОМИЈИ И ФИЗИЦИ	373
М. S. Dimitrijević, L. Č. Popović	
DEVELOPMENT AND APPLICATION OF DATABASES IN ASTRONOMY AND PHYSICS	381
25 Ј. Дојчиловић	
РАЗВОЈ НАСТАВНИХ СРЕДСТАВА ИЗ ФИЗИКЕ	383
J. Dojčilović	
DEVELOPING OF EDUCATIONAL DEVICES IN PHYSICS	390
26. Ђ. Бек-Узаров, Љ. Зековић, М. Ковачевић, К. Маглић, Д. Новковић, Д. Станковић	
МЕТРОЛОГИЈА И СТАНДАРДИЗАЦИЈА	391
Dj. Bek-Uzarov, Lj. Zeković, M. Kovačević, K. Maglić, D. Novković, D. Stanković	
METROLOGY AND STANDARDIZATION	431
ЗАКЉУЧЦИ НАУЧНОГ СКУПА	433
Autor index, Book 1.	435
Регистар аутора, књига 2	437

Б. П. МАРИНКОВИЋ, Д. М. ФИЛИПОВИЋ, Д. ШЕВИЋ, В. БОЧВАРСКИ,
М. ТЕРЗИЋ, Д. Д. МАРКУШЕВ, Д. БЕЛИЋ
B. P. MARINKOVIĆ, D. M. FILIPOVIĆ, D. ŠEVIĆ, V. BOČVARSKI,
M. TERZIĆ, D. D. MARKUŠEV, D. BELIĆ

АТОМСКА И МОЛЕКУЛСКА ФИЗИКА

ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS

Отисак из публикације *Примењена физика у Србији*
(Научни скупови Српске академије наука и уметности,
књ. CIV, Одељење за математику, физику и
гео-науке, књ. 2/2)

Reprinted from: *Applied physics in Serbia*
(Scientific meetings of the Serbian academy of sciences and arts,
Volume CIV, Department of mathematics, physics and
geo-sciences, Book 2/2)

БЕОГРАД

2003

АТОМСКА И МОЛЕКУЛСКА ФИЗИКА

Б. П. МАРИНКОВИЋ, Д. М. ФИЛИПОВИЋ, Д. ШЕВИЋ, В. БОЧВАРСКИ,
М. ТЕРЗИЋ, Д. Д. МАРКУШЕВ, Д. БЕЛИЋ

А п с т р а к т. Истраживања у атомској и молекулској физици наша су своју директну примену у низу реализованих уређаја. Реализовани су детектори малих концентрација гасова SO_2 , NO_x , CO_2 , CO и неких органских молекула применом метода индуковане флуоресценције или линеарне и нелинеарне импулсне фотоакустичке спектроскопије. Постигнуте су осетљивости реда 10^{-9} . На овим принципима раде и уређаји за мониторинг избачених гасова након проласка кроз електрофилтерска постројења. Конструисани су генератори јона и детектори концентрације јона у ваздуху, а извршен је низ мерења квалитета ваздуха у урбаним срединама и у бањским лечилиштима. Реализован је низ уређаја за мерење, калибрацију и образовање у области вакуума. Направљена су два прототипа микрометарског манометра као апсолутних мерила у области грубог и средњег вакуума као и уређај за интеркомпарацију мерила притиска у истом опсегу вакуума. Истраживања су наша примену и у другим фундаменталним научним дисциплинама као и у реализацији информacionих и експертских система или конструкцији учила за факултетску наставу.

1. УВОД

Истраживања у области атомске и молекулске физике у Србији су се одвијала на нивоу фундаменталних и примењених наука. Фундаментални ниво укључује теоријска и експериментална истраживања атомских структура, динамике атомских система, као и интеракције атомских честица са другим атомским ентитетима, површинама или ласерским пољем. Многа искуства су сакупљена у софистицираним експериментима у којима је познавање различитих технологија, као што су: технологија вакуума, детекција појединачних фотона или електрона, детекција малих сигнала, одређивање резидуалних магнетских поља и других, неопходно за њихово успешно извођење. На овим основама реализован је низ примењених пројеката. Примена резултата истраживања на фундаменталном нивоу се огледала у коришћењу добијених података, као што су: диференцијални и интегрални пресеци за поједине атомске процесе, у другим научним дисциплинама, физици ласера, плазма физици, физици чврстог тела, физици околине или астрофизици.

Једна од директних примена истраживања у атомској и молекулској физици се огледала у конструкцији детектора молекула одређених гасова са детекционом ефикасношћу реда *ppm* (*pars per millio*). Ови уређаји су направљени за детекцију молекула SO_2 , CO , CO_2 , CH_4 и NO_x .

Експерименталне технике, као што су индукована флуоресценција или линеарна фотоакустичка спектроскопија (континуална или импулсна), искоришћене су за практичну реализацију ових уређаја. Један од ових детектора је примењен у термоелектрани „Никола Тесла” у Обреновцу за мониторинг концентрације гасова загађивача. Експеримент који је у току у истој електрани је посвећен примени електрофилтера за депозицију пепела.

Следећа успешна примена истраживања у атомској и молекулској физици огледала се у конструкцији детектора јона у ваздуху. Развијен је цилиндрични детектор „Gerdien” – овог типа за симултано одређивање концентрација негативних и позитивних јона у ваздуху. Уређај је у „on line” вези са компјутером на коме се бележе подаци. Детектор се може успешно користити како за мерења загађења ваздуха у урбаним срединама и праћењу квалитета ваздуха у затвореним просторијама тако и на отвореним просторима, као што је контрола квалитета ваздуха у бањама

Посебно су вредна достигнућа у коришћењу вакуумске технологије. Урађени су пројекти и реализовани уређаји за националне еталоне ниског притиска, као и уређаји за интеркомпарацију мерила притиска у области грубог, средњег и високог вакуума. Организовани су курсеви намењени обучавању инжењера и техничара за рад са вакуумским уређајима и неколико директних пројеката је реализовано за потребе индустрије.

Мерења и израчунавања низа пресека за атомске процесе довела су до спознаје о потреби уобличавања специфичног информационог система у области физике атомских сударних процеса. Целокупан истраживачки процес је сабран у оваквом информационом систему са базом података о публикованим радовима. Систематска анализа потреба и доступности података у атомској и молекулској физици била је у фокусу неколико група истраживача у Србији. Такође, развијени су експертски системи за анализу спектра губитака енергије у електрон атомским сударима као и „on line” експертски систем за анализу нееластичних судара електрона у сударима са атомима пара метала.

Више типова лабораторијских уређаја је направљено за потребе образовања у научним и техничким установама. То су, на пример, мерачи концентрације јона у ваздуху, или уређаји за рад са вакуумом.

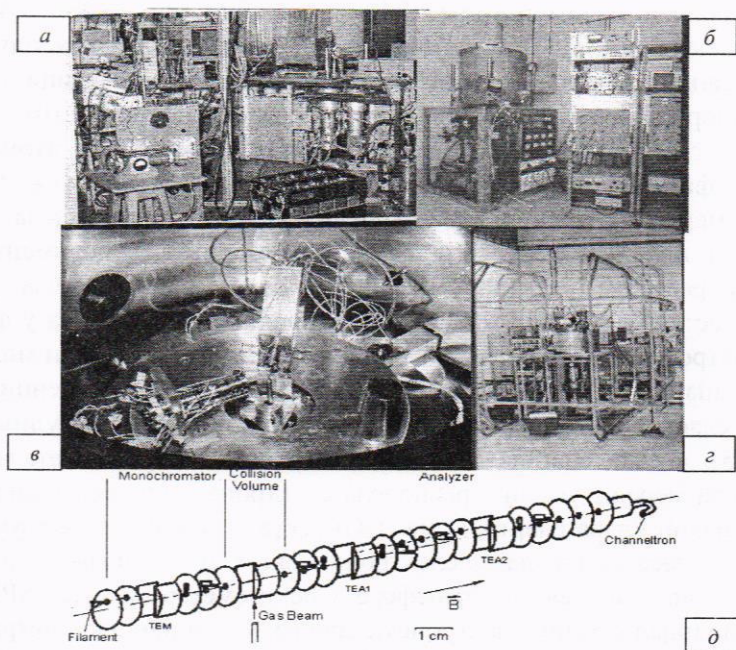
2. ПОСТОЈЕЋИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ УРЕЂАЈИ

Фундаментална истраживања у атомској и молекулској физици су заступљена на експерименталном и теоријском нивоу. Покривене су следеће области дефинисане схемом класификације у физици (PASC – *Physics Abstracts Classification Scheme*): електронске структуре (PASC 31), особине атома и интеракције са фотонима (32), особине молекула и интеракције са фотонима (33), а посебно мултифотонски процеси (33.80),

сударни процеси и интеракције (34) са посебно развијеном облашћу расејања електрона (34.80), egzотични атоми и молекули и кластери (36), инструментација и технике у атомској и молекулској физици (39), а посебно извори и технике атомских и молекулских млазева (39.10).

Неки од постојећих експерименталних уређаја из атомске и молекулске физике у области расејања електрона приказани су на слици 1. Уређај за мерење тоталних пресека за јонизацију и пресека за захват електрона на гасовима (ZAGA) је један од најстаријих експерименталних уређаја за расејање електрона [1,2]. Резултати ових мерења налазе примену у осталим фундаменталним дисциплинама, а пре свега у физици плазме и астрофизици [3]. Електронски спектрометар за атоме и молекуле (ESMA) је апаратура са вишеструком наменом у мерењу диференцијалних пресека за еластично и нееластично расејање електрона на молекулима [4] и атомима [5], а сада специјализована за мерења на парама метала [6,7]. Апаратура за мерење угаоних расподела електрона и јонских фрагмената насталих након удара електронима (UGRA) [8,9] је намењена изучавању сударних процеса молекула са електронима који су од битног значаја за процесе у горњим слојевима атмосфере. Спектрометар прагова (SPEPRA) је такође специјализовани електронски спектрометар намењен истраживању сударних процеса на енергијском прагу за реакцију [10]. Дуални трохоидални монохроматор (DUTEM) [11] је експериментални уређај намењен истраживању вибрационе ексцитације молекула ударом нискоенергијским електронима [12]. Експериментални уређај за изучавање ласерски индикуваних фотоапсорпционих процеса (LIPA) намењен је квантитативном одређивању апсорпционих и релаксационих параметара процеса мултифотонског побуђивања методом трансмисионе и фотоакустичке спектроскопије [13].

Да би се добили ваљани резултати при извођењу свих ових експеримената, неопходно је да се освоји високи технолошки ниво експерименталних метода и техника. То су, пре свих, технике и технологија високог и ултрависоког вакуума, детекција фотона и детекција појединачних атомских честица (електрона, атома, молекула, јона,...), мерење малих струја и мерење резидуалних магнетских поља, као и мерење густина мета и одређивање концентрације честица. Освајајући поједине технике за потребе експерименталног рада, упоредо су се отварале и могућности за њихову примену у другим областима ван атомске и молекулске физике. Дакле, истраживања у атомској и молекулској физици нашла су своју примену у следећим областима: а) другим фундаменталним наукама, б) вакуумским технологијама, в) детекцији честица (SO_2 , NO_x , CH_4 ,...) методама индуковане флуоресценције и фотоакустичке спектроскопије, г) електрофилтерским уређајима, д) детекцији јона у ваздуху, ђ) производњи учила за наставу физике.



Слика 1. Експериментални уређаји из атомске и молекулске физике: а) ZAGA уређај за мерење тоталног пресека за јонизацију и пресека за захват на гасовима; б) ESMA електронски спектрометар за атоме и молекуле; в) UGRA унутрашњост спектрометра за мерење угаоних расподела електрона и јона; г) SPEPRA спектрометар прагова; дуални д) DUTEM трохондални електронски монохроматор.

3. ПРИМЕНА У ДРУГИМ ФУНДАМЕНТАЛНИМ НАУЧНИМ ДИСЦИПЛИНАМА

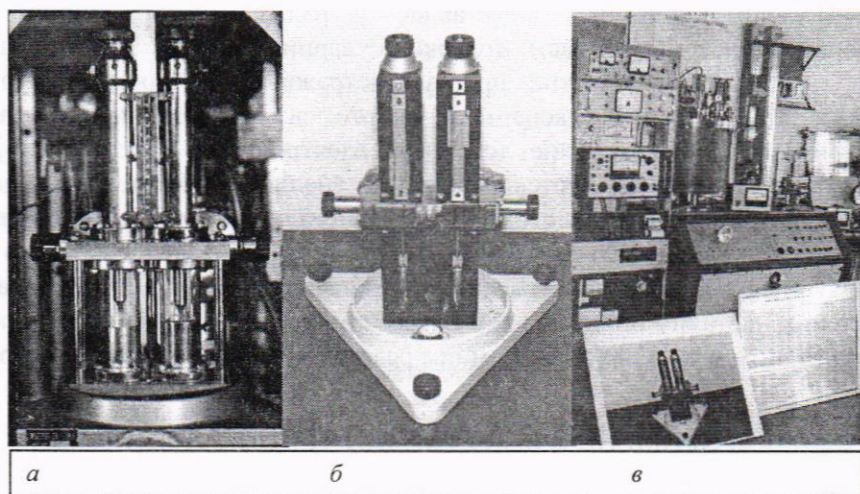
Примена резултата истраживања у атомској и молекулској физици у другим научним дисциплинама везана је, пре свега, за коришћење мерених пресека за одговарајуће атомске процесе. Ови пресеци представљају вероватноће да се поједини атомски процеси десе под одговарајућим условима. У физици ласера неопходно је знати релаксациона времена појединих атомских стања као и вероватноће њиховог побуђивања. Ове податке даје атомска физика. Такође, у физици плазме и јонизованих гасова неопходно је познавати пресеке за процесе [14] у циљу детаљног разумевања појава и њиховог моделовања, почевши од нискотемпературских плазми до фузионих и астрофизичких плазми. У физици површина неопходно је познавање пресека код изучавања процеса адсорпције или анализе састава превлака [15].

Посебну примену представља изградња информационог и експертског система у области атомских сударних процеса. То је покушај да се направи свеобухватни приступ истраживачком процесу у овој области. Направљен је експертски систем за препознавање стања у спектрима губитака енергије добијених електронском спектроскопијом [16] као и „on line” експертски систем за анализу нееластичних судара електрона у сударима са атомима пара метала [17]. На основу ових резултата, сличан модел је планиран у развоју експертског система за анализу спектра нуклеарне магнетске резонанце или сеизмичких таласа, било оних насталих приликом земљотреса било индукованих сеизмичких таласа са циљем трагања за подземним резервама нафте, угља, воде и др.

4. ПРИМЕНЕ У ВАКУУМСКОЈ ТЕХНОЛОГИЈИ

Важност вакуумских технологија се огледа и у чињеници да су у Европској унији ове технологије сврстане међу пет приоритетних технологија у периоду девете деценије двадесетог века. Мотивација за бављење овим технологијама у оквиру истраживања из атомске и молекулске физике налазила се у остваривању услова за проучавање атомских сударних процеса, пре свега у проучавању судара електрона са атомским честицама помоћу техника укрштених млазева. Да би се обезбедили услови за бинарне сударе, потребно је остварити притиске у комори реда 10^{-7} mbar. За остваривање ових притисака (вакуума) потребно је савладати технике високог и ултрависоког вакуума. Са друге стране, да би се одредиле апсолутне вредности пресека, потребно је познавати и величине струја наелектрисаних честица али и концентрације мете, односно притиске који владају у интеракционој запремини. Отуда потреба за развојем и апсолутном калибрацијом мерила притиска. Примена знања стечених у фундаменталним истраживањима и мерењима пресека је нашла примену у: развоју еталона за ниске и средње вакууме за потребе Савезног завода за мере и драгоцене метале и Ваздухопловног опитног центра; пуњењу термостатских капиларних цевчица гасом ксилолом за потребе фабрике „Север” из Суботице; одржавању 120 kV акцелераторског постројења у „Фабрици каблова” из Јагодине са применом у очвршћавању полиетилена X – зрацима и за стерилизацију медицинске инструментације.

За потребе апсолутног мерења ниских притисака развијена су два прототипа апсолутних мерила микрометарског манометра по узору на еталоне из NBS (*National Bureau of Standards, SAD*) [18] као и Меклодов (McLeod) вакуум–метар [19], уређај за интеркомпарацију мерила ниског притиска [20], а освојена је и метода апсолутних мерења ниских притисака помоћу калибрационог чепа [21]. Прототипови микрометарског микрометра и уређај за интеркомпарацију мерила ниског притиска приказани су на слици 2.



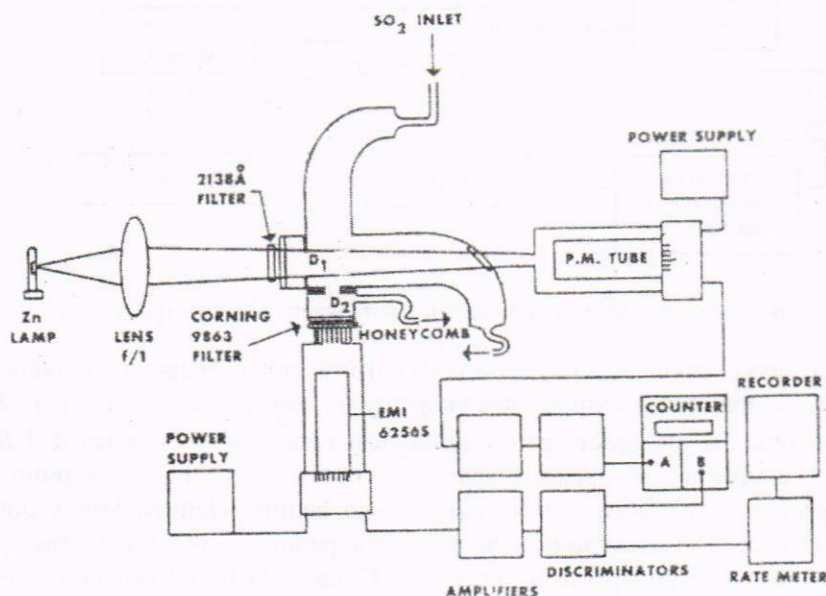
Слика 2. Мерила и уређаји за мерење ниских притисака у Лабораторији за физику атомских сударних процеса, Института за физику у Земуну: а) Први прототип микрометарског манометра; б) други прототип микрометарског манометра; в) уређај за интеркомпарацију мерила ниског притиска

Као један од значајних резултата дугогодишњег рада на развоју вакуумских техника и технологија произашла је опсежна монографија [22]. У њој су образложени физички принципи добијања и мерења вакуума и приказане специфичне технике и уређаји за рад у домену грубог, средњег, високог и ултрависоког вакуума.

5. ДЕТЕКЦИЈА ЧЕСТИЦА

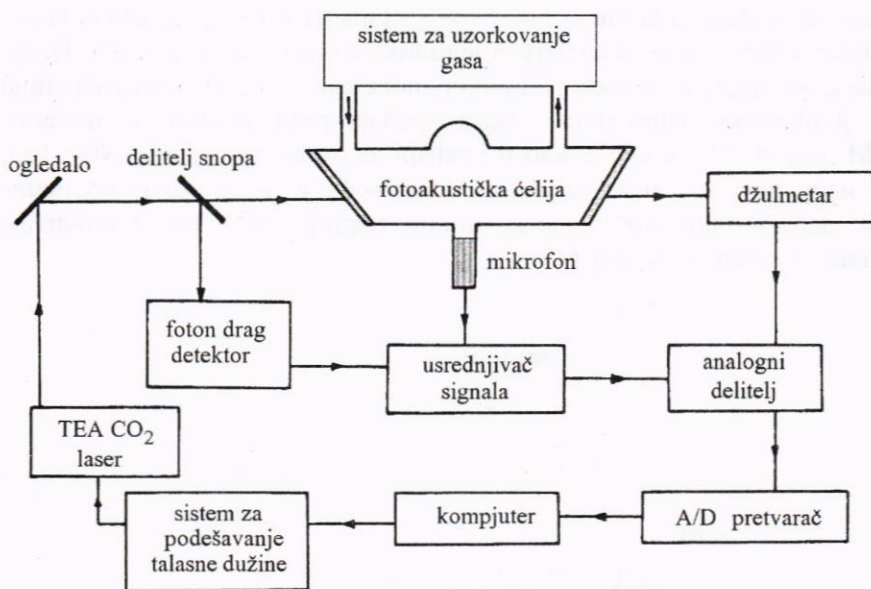
У атомској и молекулској физици основни ентитети изучавања су атомске честице под којима се подразумевају: неутрални атоми, метастабилни атоми, молекули вибрационо и електронски побуђени, јони, електрони, радикали, кластери и друге честице, при чему енергије ових честица можемо окарактерисати као ниске, реда eV и keV . Отуда основни задатак који се поставља пред експериментатора је детекција ових атомских честица, а одатле следи и природно могућа примена. У фундаменталним истраживањима су развијене методе појединачне детекције фотона, електрона, атома, молекула, јона и осталих атомских честица. То су методе индуковане флуоресценције, методе фотоакустичне спектроскопије или методе мултифотонске апсорпције. Такође су изражене потребе за припремом смеша гасова са тачно одређеном концентрацијом појединих састојака за потребе испитивања и калибрације. Отуда су

примене ових метода реализоване у низу апликативних пројеката везаних за квалитет ваздуха или детекцију појединих гасова у некој средини. То су, пре свега, уређаји за детекцију сумпордиоксида у опсегу концентрација 10^{-9} у јединичној запремини (схема уређаја реализованог у пројекту ВИЗАМ дата је на слици 3), као и уређаји за детекцију гасова NO_x , CO , SO_2 у испусним гасовима димњака. Обављено је и систематско испитивање десетогодишњих мерења концентрације SO_2 на различитим локацијама у граду Београду [24].



Слика 3. Уређај за детекцију SO_2 у опсегу концентрација од 10^{-9} заснован на методу индуковане флуоресценције. Главни делови уређаја су: цинкова лампа, интерференциони филтер на $213,8 \text{ nm}$, Corning филтер, колиматор, фотомултипликатор, појачивач, дискриминатор, бројач учестаности, бројач импулса и писач (према раду Schwarz *et al.* [23])

Фотоакустичка (ФА) спектроскопија је постала стандардни метод за испитивање линеарних и нелинеарних појава у различитим срединама [25]. Развијена су два импулсна фотоакустичка спектрометра који покривају линеарну и нелинеарну спектроскопију. Једна од најважнијих примена линеарне ФА спектроскопије је локална анализа микропримеса у гасу што се користи у контроли аерозагађења и анализи екстремно чистих материјала. Иако се за ове намене углавном користе континуални ФА спектрометри, у Институту за физику је развијен уређај за проучавање ФА процеса у импулсном режиму у инфрацрвеној области спектра (слика 4).



Слика 4. Схематски приказ импулсног фотоакустичког спектрометра

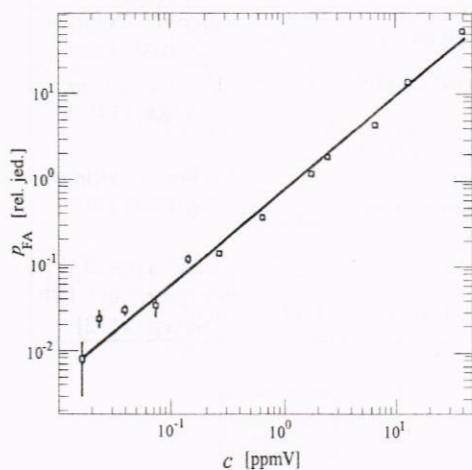
Фотоакустички таласи формирају се импулсним ласерским зрачењем TEA CO₂ ласера, подешеног да даје енергију од 100 mJ по импулсу у TEM₀₀ моду. Номинална вредност брзине понављања ласерског импулса је 1 Hz. Излазна енергија ласерског зрачења прати се пироелектричним детектором постављеним иза фотоакустичке ћелије. Испитивани узорци гаса налазе се у цилиндричној ћелији затвореној са два NaCl прозора, дужине 250 mm и унутрашњег пречника 27 mm. Да би се смањио ефект рефлексије, прозори на ћелији су монтирани под Брустеровим (Brewster) углом. Ћелија такође има и проширења насупрот микрофону за елиминацију интерференције фотоакустичких таласа рефлектованих са зидова ћелије. Ово проширење формира временски размак између фотоакустичког таласа насталог апсорпцијом зрачења и позадинског сигнала. Настали фотоакустички таласи детектују се кондензаторским микрофоном, чији је сигнал појачаван. Сви фотоакустички сигнали нормализовани су на екситациону енергију ласерског зрачења аналогним делитељем. Таласни облици и ласерска екситациона енергија су дигитализовани. Подаци се сакупљају и обрађују микрорачунаром, а цео систем је тригеран фотон драг детектором.

Систем за узорковање гаса заснован је на употреби независно калибриране смеше етилена (C₂H₄) од 39,2 ppmV у сувом ваздуху, као и смеше 880 ppmV угљендиоксида (CO₂) у сувом ваздуху за мерења у проточном режиму. Различите концентрације етилена (неколико редова величине) и CO₂ у сувом ваздуху, добијане су разређењем са сувим

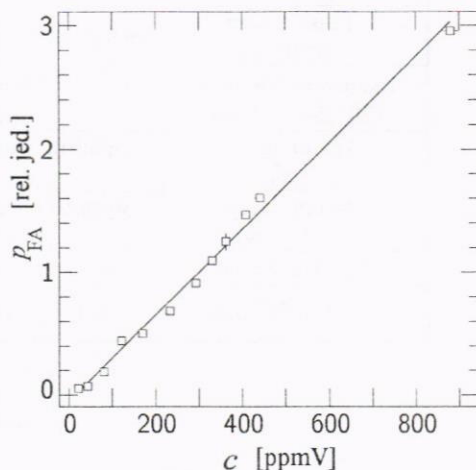
ваздухом помоћу посебно конструисаног система са два степена разређења са прецизним мерењем концентрације гаса (систем за узорковање гаса). На улазу у фотоакустичку ћелију налази се мерило протока да би се обезбедио исти проток гаса за све испитиване концентрације. За елиминацију нечистоћа, пре почетка мерења систем се испира сувим ваздухом.

Резултати мерења показали су да се овакав спектрометар одликује великом осетљивошћу. Такође је коришћење већих снага зрачења CO_2 ласера указало на могућност примене импулсног фотоакустичког спектрометра за испитивања мултифотонских процеса.

За испитивање осетљивости импулсног ФА спектрометра коришћени су гасови етилен и угљендиоксид. На сл. 5 и 6 приказане су зависности ФА од концентрације етилена, односно угљендиоксида у сувом ваздуху.



Слика 5. Зависност фотоакустичког сигнала од концентрације етилена у сувом ваздуху.



Слика 6. Зависност фотоакустичког сигнала од концентрације CO_2 у сувом ваздуху.

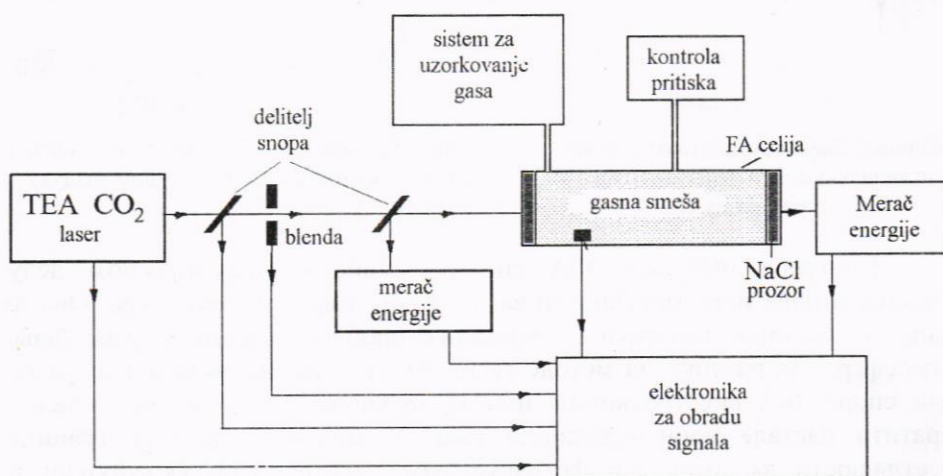
Употреба импулсне ФА спектроскопије у инфрацрвеном делу спектра отвара нове могућности за детекцију гасова у траговима. Ово је данас од великог интереса за решавање проблема везаних за загађење атмосфере. За разлику од методе гасне хроматографије која је осетљива, али спора, ФА спектроскопија има ту предност да може континуално пратити настале концентрацијама гаса. У табели 1 дате су границе осетљивости за импулсне фотоакустичке спектрометре укључујући и постојећи спектрометар у Институту за физику у Београду.

Физика мултифотонских (МФ) процеса, у којима долази до апсорпције више од једног фотона, представља значајан спектроскопски

алат за проучавање атомских и молекулских структура, нарочито тамо где се традиционалне (линеарне) методе спектроскопије не могу применити. МФ спектрометар је конструисан тако да се могу симултано користити две спектроскопске методе: фотоакустична (ФА) и трансмисиона (ТР) метода.

Табела 1. Детекциони лимити за импулсне фотоакустичне спектрометре.

ЛАСЕР	ГАС	C_{\min} ppbV	ЛИТЕРАТУРА
Течни ласер (480–625 nm)	NO ₂ у ваздуху	4	Wood <i>et al</i> , 1971. [26]
Течни ласер (480–625 nm)	NO ₂ у ваздуху	4	Claspy <i>et al</i> , 1977. [27]
ХеCl ласер (308 nm)	сирћетна киселина у сувом азоту	25	Leugeras <i>et al</i> , 1984. [28]
Течни ласер (300,05 nm)	SO ₂ у пречишћеном ваздуху	0,25	Vujković–Cvijin <i>et al</i> , 1987. [29]
Ексцимерски ласер (302,5–303,8 nm)	H ₂ CO у различитим гасним смеш.	50	Boutonnat <i>et al</i> , 1988. [30]
Течни ласер (222,8 nm)	сирћетна киселина у сувом ваздуху	120	Vujković Cvijin <i>et al</i> , 1988. [31]
Течни ласер (223,4 nm)	мравља киселина у сувом ваздуху	140	
CO ₂ (10,532 μm)	C ₂ H ₄ у сувом ваздуху	1,5	Импулсни ФА спектрометар у ИФ Београд [32]
CO ₂ (10,532 μm)	CO ₂ у сувом ваздуху	1700	



Слика 7. Схематски приказ мултифотонског спектрометра у Институту за физику у Београду.

МФ процеси у различитим гасним смешама побуђују се ТЕА CO_2 ласером. Као молекули апсорбери ласерског зрачења користе се молекули SF_6 у смеси са неапсорбујућим гасовима (Ar , N_2 , CH_4). Гасна смеша се налази у нерезонантној ФА ћелији. Испред и иза ФА ћелије смештени су калибрисани мерачи енергије. За контролу, сакупљање и обраду добијених података користи се микрорачунар. Схема оваквог спектрометра приказана је на слици 7 [33].

Оваквом апаратуром могу се проучавати МФ процеси ексцитације и дисоцијације у различитим гасним смешама. Одређују се разни параметри којима се описују МФ процеси: средњи број апсорбованих фотона, апсорпциони и диференцијални пресеци, пресеци и времена различитих релаксационих процеса вибрационо–транслационих и ротационо–ротационо транслационих (V–T, R–R/T).

Практична примена ове апаратуре може се усмерити на добијање нових материјала, тзв. ултрафиних керамичких прахова. Поред тога она има и ту предност да се може, без додатне адаптације, користити и за испитивање нелинеарних процеса у различитим гасовима или смешама гасова. Конкретна примена може бити усмерена на мерење трагова гасова у различитим гасним смешама.

6. ЕЛЕКТРОФИЛТЕРИ

Електрофилтерска постројења имају кључну улогу у регулисању емисије штетних честица из ложишта термоелектрана у атмосферу. Правилно пројектовано постројење, које исправно функционише, може да одстрани веома висок проценат (изнад 99 %) честица пепела из димних гасова.

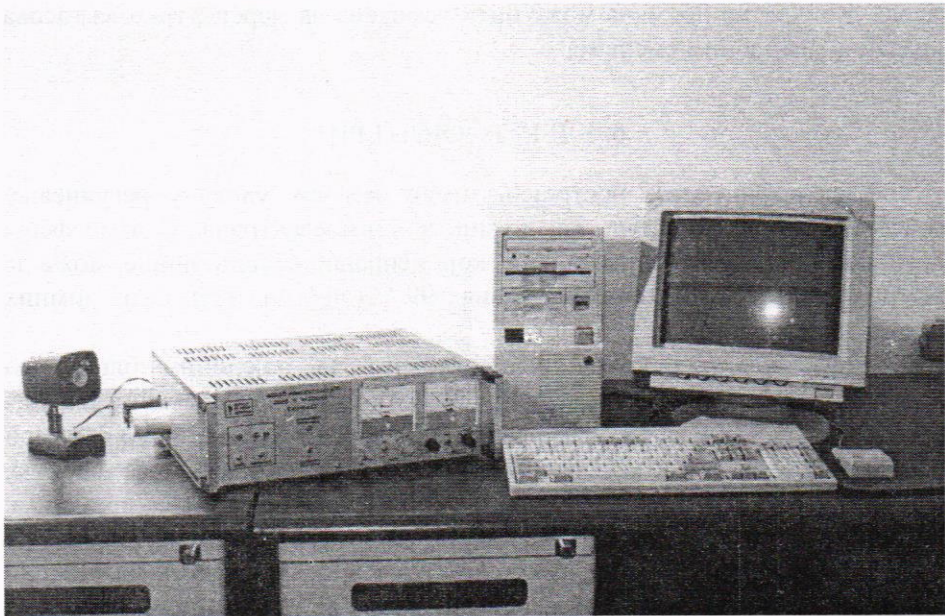
Стање електрофилтерских постројења на појединим блоковима термоелектране „Никола Тесла” (ТЕНТ) у Обреновцу није задовољавајуће. Ово се посебно односи на електрофилтере блокова А1 и А2. Ови филтери су најстарији, налазе се у експлоатацији преко 30 година. Стање на овим, као и свим осталим филтерима прогресивно је погоршавано са временом. Разлози за то су природни и очекивани, дошло је до оштећења одређеног броја емисионих и колекторских електрода на свим уређајима, високи напон за напајање електрофилтера је опао, у неким случајевима за 20-30 %, што је све узроковало смањење ефикасности отпашивања.

Емисија сумпордиоксида на свим блоковима, мерена на излазу из електрофилтера, превазилази граничну вредност за 2–4 пута. Везана је за концентрацију сумпора у угљу и на њу се не може знатно утицати параметрима електрофилтерских постројења, већ се мора примењивати поступак одсумпоравања. Концентрације азотних оксида и угљенмоноксида у димним гасовима задовољавају прописане норме на свим блоковима. Емисија SO_2 за све блокове се креће у границама од 1700 mg/m^3 до

2500 mg/m^3 (ГВЕ износи 650 mg/m^3), док су емисије NO_2 и CO у дозвољеним границама. При том се у атмосферу испушта по једном блоку у просеку 2000 kg/h SO_2 , 450 kg/h NO_2 , 250 kg/h CO и 850 kg/h чврстих честица. То значи да само ТЕНТ А испусти дневно преко 120 тона чврстих честица у атмосферу и преко 300 тона SO_2 , односно укупно годишње 36 000 t чврстих честица и 90 000 t SO_2 , док ТЕНТ Б дуплира ову количину сумпордиоксида. Отуда произлази као неминован, стални мониторинг концентрације гасова у овим гигантским индустријским постројењима.

7. ДЕТЕКЦИЈА ЈОНА У ВАЗДУХУ

После вишегодишњег рада на пројектовању и испитивању карактеристика генератора и детектора јона у ваздуху, започела је 1990. године и његова примена. Наиме, изграђен је један нови такав уређај, проширен аквизицијом података персоналним рачунаром, а након одговарајуће конверзије аналогног сигнала у дигитални сигнал (слика 8).



Слика 8. Систем за детекцију јона у ваздуху (у левом делу је један генератор јона).

Систем приказан на слици је откупио Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, а до сада је коришћен за едукацију студената последипломских студија. Укључена компјутерска опрема омогућава примену овога уређаја у мониторингу ширег подручја Србије, будући да слични уређаји постоје у Институту за физику у Земуну и на Физичком

факултету у Београду. У оквиру наведеног пројекта је извршена примарна калибрација протока ваздуха кроз сонду детектора јона, чиме је, у односу на дотадашња релативна мерења, успостављена апсолутна скала концентрације како позитивних тако и негативних јона у ваздуху [34]. Мерењу концентрације лаких јона у приземном слоју атмосфере, као једном од параметара атмосферског електрицитета од значаја за метеорологију, поклоњена је пуна пажња током више месеци 1999. године. У том периоду су вршена мерења у Климатолошкој станици “Зелено брдо” Савезног хидрометеоролошког завода у Београду, у оквиру планирања изградње једне аутоматске метеоролошке станице [35].

Примена детектора јона CDJ 04AT је настављена 2000. године, у Истраживачкој експедицији „Др Обрад Видојевић”, Друштва пријатеља Соко Бање у Београду. Развијена је метода симултане детекције α -зрака из распада Rn^{222} и лаких јона, за које се претпоставља да су, на подручју Соко Бање, једне од најзначајнијих бања у Србији, преобладајуће узроковани деловањем зрачења радона [36].

Мерење концентрације негативних јона истовремено са мерењем релативне влажности, током делимичног помрачења Сунца, у Земуну, 11. августа 1999. године, довело је до закључка да су ова два метеоролошка параметра у јакој корелацији. Да би се експериментално проверио овај резултат, постављен је лабораторијски оглед у којем су праћене концентрација јона и релативна влажност у инкубатору за бебе као радном простору. Потврђена је врло јака корелација између величина о којима је реч, уз отварање нове могућности примене уређаја за праћење концентрације јона као елемента микроклиме у условима који владају у инкубатору за бебе.

Генератор јона у ваздуху, који ради на принципу електричног короналног пражења, по правилу прати уређај за детекцију јона у ваздуху. Основна примена овога генератора је обогаћивање ваздуха у радним просторијама јонима, којих нема у довољној количини због испарења или просто због коришћења уређаја за кондиционирање ваздуха. Снимањем UV спектра електричне короне уређаја о којем је реч, утврђено је да доминирају линије молекула азота и то углавном 2. позитивне групе ($C^3\pi_u \rightarrow V^3\pi_g$), мада има и других линија молекула азота, као и молекуларног јона N_2^+ . Поред наведених има и линија које нису идентификоване, а могле би да се припишу полутантима ваздуха. Снимљени су оптички спектри у различитим условима, са циљем да се идентификује што више линија. Поред наведених молекулских врста, потврђено је присуство молекула озона у близини металног шиљка на високом потенцијалу где се и формира коронално пражење.

8. УЧИЛА

Значајне активности које прате истраживачки рад су усмерене ка стварању истраживачког подмлатка. Стога је у оквиру пројекта атомске и молекулске физике направљено неколико учила која су нашла своје место у образовним институцијама Србије. На Физичком факултету у Београду остварен је низ експерименталних вежби које су директно примена истраживања из ове области. То су: апаратуре за Ramsauer–Townsend–ов ефекат, реализација црног тела, детектор јона у ваздуку и друге [37]. Овакви уређаји се налазе и у другим образовним институцијама, као што су: Технички факултет у Новом Саду, Природноматематички факултет у Бањалуци или Universidad de Antioquia, Medellin, Колумбија.

Посебно треба истаћи активности усмерене на обучавању кадрова из области технике и технологије вакуума. Као резултат низа курсева одржаних за потребе индустрије произашла је опсежна монографија из вакуумске физике и технике [22]. И на крају, вредно је споменути реализацију научне играчке – левитопа, магнетске левитирајуће чигре, направљене и у оквиру сарадње са Музејем Николе Тесле у Београду.

ЗАХВАЛНИЦА

Истраживачи у области атомске и молекулске физике изражавају посебну захвалност академику професору др Милану Курепи (1933 – 2000), који је руководио и усмеравао експериментални рад у овој области током низа година свог плодног научног рада. Између осталих, и њему имамо да захвалимо на иницијативи за скуп посвећен примењеној физици у Србији. Аутори су такође захвални свим колегиницама и колегама који су својим истраживањима у области атомске и молекулске физике допринели високој репутацији научног рада и сами учествовали делом или активно у појединим применама које су произашле из фундаменталних истраживања.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] M.V.Kurepa, V.M.Pejčev and I.M.Čadež "Total Ionization and Dissociative Attachment Cross Sections for Borontrifluoride by Electron Impact *Phys.D: Appl.Phys.*, **9** (1976) 481 – 4.
- [2] M.V.Kurepa and D.S.Belić Dissociative Attachment of Electrons to Chlorine Molecule *Chem.Phys.Letters*, **49** (1977) 608 – 10.
- [3] M.Kurepa Electron Impact Ionization and Electron Attachment Cross Sections of some Molecules of Astrophysical Importance *Publ. Astronom. Obs. Belgrade*, **60** (1998) 48 – 54.

- [4] B.Marinković, Cz.Smytkowski, V.Pejčev, D.Filipović and L.Vušковиć Differential cross sections for elastic and inelastic scattering of electrons by N₂O in the range from 10 to 80 eV *J.Phys.B.At.Mol.Phys.*, **19** (1986) 2365 – 75.
- [5] D.Filipović, B.Marinković, V.Pejčev and L.Vušковиć Electron-impact excitation of xenon at incident energies between 15 and 80 eV *Phys.Rev.A*, **37** (1988) 356–64.
- [6] B.Marinković, V.Pejčev, D.Filipović and L.Vušковиć Elastic and inelastic electron scattering by cadmium *J.Phys.B.At.Mol.Opt.Phys.*, **24** (1991) 1817 – 37.
- [7] R.Panajotović, V.Pejčev, M.Konstantinović D.Filipović, V.Bočvarski and B.Marinković Elastic and inelastic electron scattering by mercury *J.Phys.B.At.Mol.Opt.Phys.*, **26** (1993) 1005 – 24.
- [8] M.Kurepa, S.Madžunkov and I. Čadež Energy and Angular Distributions of Positive Ions from Dissociative Ionization Processes *Balkan Phys.Letters*, **5** (1998) 14 – 20.
- [9] A.Milosavljević, B.P.Marinković, D.Šević, S.Madžunkov, I.Čadež i M.Kurepa "Merenje ugaonih raspodela elektrona i jona u eksperimentima sudara elektrona sa atomima i molekulima" CD zbornik radova II kongres metrologa Jugoslavije, Novi Sad, 2000; saopštenje 043, str.1–8.
- [10] J.Jureta, S.Cvejanović, M.Kurepa and D.Cvejanović Threshold Electron Impact Excitation of Cl₂ *Z.Phys.A: Atoms and Nuclei*, **304** (1982) 143 – 53.
- [11] M. Vičić, G. Poparić and D. S. Belić A crossed beam double trochoidal electron spectrometer *Rev. Sci. Instrum.*, **69** (1998) 1996 – 9.
- [12] G. Poparić, M. Vičić and D. S. Belić "Vibrational excitation of the C³Π_u state of N₂ by electron impact" *Chem. Physics*, **240** (1998) 283 – 9.
- [13] J.Jovanović–Kurepa, D.D.Markušev, M.Terzić and P.Vujković–Cvijin Multiple excitation and relaxation processes in SF₆–CH₄ mixtures: Experimental study" *Chem.Phys.*, **211** (1996) 347 – 58.
- [14] A. V. Phelps and Z. Lj. Petrović Cold-cathode discharges and breakdown in argon: surface and gas phase production of secondary electrons *Plasma Sources Sci. Technol.*, **8** (1999) R21 44.
- [15] M. V. Kurepa High Resolution Electron Spectroscopy *Vacuum*, **37** (1987) 3.
- [16] V.Cvjetković, V.Bočvarski and B.Radenković Expert system for analysis of electron-atom scattering energy loss spectra *Expert Systems with Applications*, **14** (1998) 275 – 82.
- [17] V.Cvjetković and V.Bočvarski "Online expert system for analysis of inelastic electron scattering by metal atoms" *Comput.Phys.Commun.*, **120** (1999) 185 – 96.
- [18] Милан Курепа и Јозо Јурета "Живин У – манометар" „Свет мерења” – публикација са изложбе, уредници С. Рибникар, С. Спиридоновић и Ј. Петковић, аутори изложбе С. Спиридоновић и Ј. Петковић, коаутори А. Ђорђевић и др., Београд : Музеј науке и технике : Галерија Српске академије наука и уметности, 1995, Каталог, експонат 159, стр.236.
- [19] Милан Курепа и Братислав Маринковић "Меклодов (McLeod) вакуум–метар" „Свет мерења” – публикација са изложбе, уредници С. Рибникар, С. Спиридоновић и Ј. Петковић, аутори изложбе С. Спиридоновић и Ј. Петковић, коаутори А. Ђорђевић и др., Београд : Музеј науке и технике : Галерија Српске академије наука и уметности, 1995, Каталог, експонат 163, стр.238.
- [20] M. Kurepa i Ž. Nikitović "Uređaj za baždarenje merila niskog pritiska u domenu grubog, srednjeg i visokog vakuuma" Simpozijum o merenjima i mernoj opremi,

- Zbornik radova, knjiga druga, urednici: I. Župunski i G. Danković, Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd, 1998, str. 677 – 86.
- [21] Milan Kurepa "Primarna kalibracija niskih pritisaka gasova metodom gasnog protoka" *Tehnika*, **XXXIII** (1978) 499 – 510 i 687 – 92.
- [22] Milan Kurepa i Branka Čobić Fizika i tehnika vakuuma" Naučna knjiga, Beograd 1988, 777 str, ISBN 86–23–2137–9.
- [23] F. P. Schwartz, H. Okade and J. K. Whittaker "Fluorescence detection of sulfur dioxide in air at the parts per billion level" *Analyt. Chem.*, **46** (1974) 1024 – 8.
- [24] D. M. Filipović, D. Belić and Z. Gagić-Filipović "Analytical fitting of the SO₂ air pollution in Belgrade city" *Ekologija*, **31** (1) (1996) 159 – 64.
- [25] M. Terzić i J. Jovanović-Kurepa Linearna fotoakustička spektroskopija-metodologija i ispitivanje molekula⁰ Univerzitet u Novom Sadu, PMF, edicija: "Univerzitetska naučna knjiga" br.3, Novi Sad, 2000, 171 str, ISBN 86–499–0074–7.
- [26] A. D. Wood, M. Camac and E. T. Gerry *Appl. Opt.*, **10** (1971) 1877.
- [27] P. C. Claspy, Ha Chang and Y. H. Pao *Appl. Opt.*, **16** (1977) 2972.
- [28] M. A. Leugers and G. H. Atkinson *Anal. Chem.*, **56** (1984) 925.
- [29] P. Vujković Cvijin, D. A. Gilmore, M. A. Leugers and G. H. Atkinson *Anal. Chem.*, **59** (1987) 300.
- [30] M. Boutonnat, D. A. Gilmore, K. A. Keilbach, N. Oliphant and G. H. Atkinson *Appl. Spect.*, **42** (1988) 1520.
- [31] P. Vujković Cvijin, D. A. Gilmore and G. H. Atkinson *Appl. Spect.*, **42** (1988) 770.
- [32] M. Terzić, D. D. Markušev and J. Jovanović-Kurepa Linear pulsed photoacoustic spectroscopy: Calibration method Review of Research Faculty of Science, University of Novi Sad, **26** (1996) 87.
- [33] M. Terzić, D. D. Markušev, J. Jovanović-Kurepa Experimental study of rotational relaxation processes by pulsed photoacoustic technique *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **32** (1999) 1193 – 206.
- [34] D. Filipović, B. Marinković, M. Minić, I. Čadež "Detektor jona u vazduhu" Simpozijum o merenjima i mernoj opremi, Zbornik radova, knjiga druga, urednici: I. Župunski i G. Danković, Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd, 1998, str. 117 – 22.
- [35] Јадранка Шекарић Мерење концентрације лаких јона у приземном слоју атмосфере" Дипломски рад на Физичком факултету Универзитета у Београду, под руководством Д. Филиповића, 1999.
- [36] P. Kolarž, Ž. Todorović, S. J. Buckman, B. P. Marinković and D. M. Filipović "Simultaneous detection of small air-ions and α -particles from Rn²²² decay near the ground" *Proc. 21st SPIG, Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures and Progress Reports, 26–30 August 2002, Soko Banja, Yugoslavia, Eds. M.K.Radović and M.S.Jovanović (Dept. of Physics, Faculty of Sciences and Mathematics, Univ. of Niš) Contributed Paper, p.116 – 9.*
- [37] D. Filipović Istraživačke vežbe atomske i molekulske fizike Studio Plus, Beograd, 1998.

*B. P. Marinković**, *D. M. Filipović***, *D. Šević**, *V. Bočvarski****, *M. Terzić*****,
*D. D. Markušev**, *D. Belić***

ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS

Summary

A construction of series of devices resulted from a fundamental research in the field of atomic and molecular physics. Detectors of small concentration of gases such as SO₂, NO_x, CO₂, CO and some organic molecules were realized by methods of induced fluorescence or linear and nonlinear pulsed photoacoustic spectroscopy. Detection efficiency of 10⁻⁹ was achieved. On this basis, devices for monitoring of exhausted gases emerging after filters were designed. Ion generators as well as detector of ion concentration in air were designed and used for measurements of the quality of air in urban environments and in spas. A series of devices for measurements, calibration and education were realized in the field of vacuum. Two prototypes of micrometer manometers for absolute measurements of pressure in the range of rough and medium vacuum were constructed. In the same vacuum range, a device for inter comparison of different pressure gauges was established. From the research in atomic and molecular physics also the other scientific disciplines benefited. An information system and expert system were designed and realized. Also many educational devices were constructed and used as a teaching tools at other university centers.

*Институт за физику, Београд

**Физички факултет, Београд

***Природноматематички факултет
Крагујевац

**** Природноматематички
факултет Нови Сад

*Institute of Physics, Belgrade

**Faculty of Physics, Belgrade

***Faculty of Natural Sciences and
Mathematics, Kragujevac

****Faculty of Natural Sciences and
Mathematics, Novi Sad