

**Ա. Ի. ԱԼԻԽԱՆՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ ԱԶԳՍՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ
(Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ)**

Էլ բակյ ան Յայ կ Վաչ ագ ան ի

**Ռադիո հաճախու թյ ու ն ն եր ո վ ղ ե կ ա վ ա ր վ ո ղ
ս ս ր ի կ ի խ յ ի կ ն եր**

Ա.04.16 - «Մի ջ ու կ ի , տար ր ա կ ան մ ա ս ն ի կ ն եր ի և տ ի ե գ ե ր ա կ ան
ճ ա ա գ ա յ թ ն եր ի ֆ ի զ ի կ ա» մ ա ս ն ա գ ի տ ու թ յ ա մ բ
ֆ ի զ ի կ ա մ ա թ ե մ ա տ ի կ ա կ ան գ ի տ ու թ յ ու ն ն եր ի թ ե կ ն ա ծ ու ի
գ ի տ ա կ ան ա ս տ ի ճ ան ի հ ա յ ց մ ան ա տ ե ն ա փ տ ս ու թ յ ան

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

Ե Դ Ե Վ Ա Ն 2017

**НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИМ. А.И. АЛИХАНЫА
(Ереванский Физический Институт)**

Քլբա կ յ ա ն Ա յ կ Վ ա չ ա գ ա ն ո Վ ի շ

Радио-частотные стрик-камеры

АВТОРЕФЕРАТ

Դ ի ս ս ր տ ա լ յ ա լ յ ո ն ս ո յ ս կ ա ն յ ու ղ ս ր աս յ ու ղ կ ա ն ժ յ ա լ ֆ ի շ ի կ ո-մ ա տ ե մ ա լ յ ի շ յ յ
ն ա կ ո յ ս ս ր յ ա լ յ ո ս յ ո ս յ 01.04.16 “Ֆ ի շ ի կ ա յ ա ղ ա , է լե մ Ե ն տ ա ռ յ ն յ շ յ յ ի
կ ո ս մ յ ի շ յ յ ն յ շ յ յ ”

Ե Ր Ե Վ Ա Ն 2017

Ատենախոսություն թեման հաստատվել է Ա. Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական Լաբորատորիայի (ԵրՖԻ) գիտական խորհրդում:

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.-մաթ գիտ. թեկնածու

Ա. Թ. Մարգարյան (ԱԱԳԼ)

Պաշտոնական ընդիմախոսներ՝

Ֆիզ.-մաթ գիտ. դոկտոր, պրոֆ.

Է. Մ. Լազիև (ԹԵՆԴԼ ՍՅԻ)

ՍՅԻ)

Ֆիզ.-մաթ գիտ. թեկնածու

Ա. Է. Ավետիսյան (ԱԱԳԼ)

Առաջատար կազմակերպություն՝

Երևանի պետական

համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ. հունիսի 27-ին, ժամը 14:00-ին ԱԱԳԼ-ի «Միջուկի և տարրական մասնիկների ֆիզիկա» 024 մասնագիտական խորհրդում (Երևան - 0036, Ալիխանյան եղբյարների փ. 2):

Ատենախոսությունը կարելի է ծանոթանալ ԱԱԳԼ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2017թ. մայիսի 25-ին

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝

Ֆիզ.-մաթ գիտ. դոկտոր

Դ.

Կարախանյան

Тема диссертации утверждена ученым советом Национальной Научной Лаборатории имени А. И. Алиханяна (ЕрФИ)

Научный руководитель:

Кандидат физ - мат. наук

А. Т. Маргарян (ННЛА)

Официальные оппоненты:

Доктор физ - мат. наук

Э. М. Лазиев (КЕНДЛ ИСИ)

Кандидат физ - мат. наук

А. Э. Аветисян (ННЛА)

Ведущая организация:

Ереванский государственный университет

Защита состоится 27 июня, 2017 г. в 14:00 часов на заседании специализированного совета ВАК 024 "Физика ядра и элементарных частиц" Национальной научной лаборатории им. А.И.Алиханяна (Ереван-0036, ул. Братьев Алиханян 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛА

Автореферат разослан 25 мая 2017 г.

Ученый секретарь спец. Совета

Доктор физ.-мат. наук

Д. Караханян

Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Թեկնածուական ատենախոսությունը նվիրված է Ռադիո Զանախոսություններով (ՌՅ) ղեկավարվող ստրիկ խցիկների աշխատանքի սկզբունքի ուսումնասիրմանը, շեղող համակարգի նախագծմանը, ստեղծմանը և ուսումնասիրությանը: Աշխատանքում մշակված և մանրամասն ներկայացված է նոր, զգայուն, սպիրտաձև սկանավորում իրականացնող ՌՅ շեղող համակարգը: Բերված են տեսական և փորձնական արդյունքներ, ինչպես նաև ստրիկ խցիկների մի քանի կիրառական նշանակություններ:

Թեմայի արդիականությունը

Ժամանակի ճշգրիտ չափումը հանդիսանում է տեխնիկայի և գիտության հիմնական պահանջներից մեկը: Գիտության ոլորտներից կարելի է առանձնացնել ֆիզիկան, քիմիան, աստղագիտությունը, բժշկությունը, գեոդեզիան: Տեխնիկայի ոլորտներից՝ արագ օպտիկական կոմպոնենտների և ինտեգրալ չիպերի հետազոտությունը: Պիկովայրկյան (պվ) ճշտությամբ ժամանակը չափելու այլ կիրառություններից են՝ լազերային իմպուլսների միջոցով հեռավորության չափումը և խորքային արտապատկերումը [1, 2]: Այս կիրառությունների հիմնական պահանջ է հանդիսանում 2 ֆոտոնային իմպուլսների միջև ժամանակային տարբերության չափումը մեծ ճշտությամբ: Ֆոտոնային իմպուլսների գրանցումը հիմնականում իրականացվում է ֆոտո-էլեկտրոնային Բազմապատկիչների (ՖԷԲ), Զեդեղային ֆոտոդիոդների (ԶՖ), և Զիբերիդային ֆոտոնային Դետեկտորների (ԶՖԴ) միջոցով, որոնց ժամանակային լուծողականությունը ընկած է մոտ 50-100 պվ ժամանակային տիրությունում [3], իսկ մեռյալ ժամանակը մոտ մի քանի տասնյակ նվ է: Բացի այդ գոյություն ունի նաև այլ ինդիք, ինչպիսին ժամանակ-Թիվ Փոխարկիչից (ԺԹՓ) եկող ժամանակային դիսպերսիայի և մեռյալ ժամանակի առկայությունն է: ԺԹՓ-ն ժամանակի չափման լայն կիրառություն ունեցող սարքավորում է: [4, 5]: 1 կամ 25 պվ ժամանակային լուծողականություն ունեցող ԺԹՓ-ները ունեն համապատասխանաբար 80 կամ 25 նանովայրկյան (նվ) մեռյալ ժամանակ:

ՌՅ-ների վրա հիմնված ժամանակ չափող սարքավորումները ունեն մոտ մի քանի պվ ժամանակային լուծողականություն: Նրանց աշխատանքի հիմնական սկզբունքը կայանում է նրանում,

որ բարձր հաճախականության ՌՅ շեղող համակարգի միջոցով
Էլեկտրոնային թանձրուկների կամ ֆոտոնային իմպուլսների
ժամանակային ինֆորմացիան փոխակերպվում է տարածական
կոորդինատի: Այս սկզբունքի վրա է հիմնված նաև ՌՅ ստրիկ
խցիկների աշխատանքը: ՊՎ-ՖՎ (Ֆեմտովայրկյան) տիրույթում
ֆոտոնային իմպուլսների և Էլեկտրոնային թանձրուկների
ուսումնասիրությունը կարևոր է լազերային,
արագացուցչային և պլազմայի ֆիզիկայում: Այս տիրույթում
արագ և ամենալավ ժամանակային լուծողականություն
ունեցող տեխնիկան հանդիսանում են ստրիկ խցիկները [6, 7]:
Ստրիկ խցիկների հիմնական առավելություններից կարելի է
առանձնացնել պիկովայրկյանային լուծողականությունը,
մեռյալ ժամանակի բացակայությունը (մեռյալ ժամանակը
այս մասովորված է միայն սարքի ժամանակային
լուծողականությամբ):

Սակայն, ՌՅ ստրիկ խցիկները դեռ չունեն լայն
կիրառություն տարրական մասնիկների ֆիզիկայում,
միջուկային ֆիզիկայում, բժշկության մեջ և այլ
ոլորտներում: Դրա հիմնական պատճառներից մեկն այն է, որ
շուկայում գոյություն ունեցող սարքավորումները չեն
կարող ապահովել նվ տևողությամբ, արագ Էլեկտրական
ազդանշաններ: Մյուս պատճառը նրանց սահմանափակ
սկանավորման պարբերությունն է (սա այն ժամանակահատվածն
է, որից ավելի երկար տևողությամբ իմպուլսներ ստրիկ խցիկը
չի կարող միարժեքորեն գրանցել): Ընդ որում մեծ
ժամանակային ճշտություն ունեցող ստրիկ խցիկները ունեն
փոքր սկանավորման պարբերություն և նրա մեծացմանը
գուզընթաց փոքրանում է ստրիկ խցիկի ժամանակային
ճշտությունը: Սա իր հերթին առաջացնում է ստրիկ խցիկների
որոշակի կիրառական դժվարություններ:

Այս աշխատանքում առաջարկված է մեթոդ, որի միջոցով
հնարավոր է մեծացնել ստրիկ խցիկների սկանավորման
պարբերությունը, առանց ժամանակային լուծողականության
էական փոփոխության:

Ատենախոսության նպատակ

Ատենախոսության հիմնական նպատակն է մեծացնել ստրիկ
խցիկների սկանավորման պարբերությունը և միևնույն
ժամանակ ապահովել մի քանի պլ ժամանակային

լ ու ծողականուխ ու թյ ու նը: Այ ս ն պատակին հասնել ու համար առաջ ադրվել են հետևյալ խնդիրները.

- Մշակել մեթոդ, որի միջոցով հնարավոր կլինի մեծացնել ստրիկ խցիկի սկանավորման պարբերությունը:
- Ստեղծել 500 ՄՅց հաճախային տիրույթում աշխատող շեղող համակարգ, որը, իրականացնելով սպիրալ աճ և սկանավորում, կմեծացնի ստրիկ խցիկի սկանավորման պարբերությունը:
- Յալվել 500 ՄՅց և 1000 ՄՅց հաճախություններին դեպքում սպիրալ աճ և սկանավորում իրականացնող ՌՅ շեղող համակարգի ժամանակային լ ու ծողականուխ ու նը և սկանավորման պարբերությունը:
- Փորձնականորեն հետազոտել սպիրալ աճ և սկանավորում իրականացնող ՌՅ շեղող համակարգի աշխատանքը:
- Ուսումնասիրել ՌՅ շեղող համակարգի կիրառական նշանակությունը այլ սարքավորումներում և ՌՅ ստրիկ խցիկների կիրառությունը այլ ոլորտներում:

Կիրառական նշանակությունը

Սպիրալ աճ և սկանավորում իրականացնող ՌՅ շեղող համակարգը կարող է օգտագործվել ստրիկ խցիկներում և Ռադիո Զաճախային Ֆոտո-Էլեկտրոնային Բազմապատկիչներում (ՌՅ ՖԷԲ), ապահովելով նրանց մեծ սկանավորման պարբերություն և մի քանի պլ ժամանակային լ ու ծողականուխ ու նը: Սա տալիս է նրանց կիրառական մեծ նշանակություն գիտության և տեխնիկայի տարբեր բնագավառներում, ինչպիսիք են՝ բարձր էներգիաների ֆիզիկան, արագ պրոցեսների ֆիզիկան, բիրբժշկությունը և այլն: Մասնավորապես MAMI (Mainz Microtron) – ի մագնիսական սպեկտրոմետրում չափելով մասնիկների թռիչքի ժամանակները մեծ ճշտությամբ՝ հնարավոր է իրականացնել իմպուլսների սանդղակավորում $\delta p/p \leq 10^{-4}$ ճշտությամբ, որը կունենա կարևոր նշանակություն հիպերմիջուկների զանգվածների ճշգրիտորոշման համար:

Գիտական նորություն

Առաջին անգամ մշակվել է ստրիկ խցիկի համար նախատեսված, 500-1000 ՄՐց հաճախության ու ներքի տիրույթում աշխատող սպիրալ աճև սկանավորող համակարգի տեսությունը: Իրականացվել է ժամանակային լուծողականության և սկանավորման պարբերության հաշվարկը: Իրականացվել է փորձարարական հետազոտության և սպիրալ աճև սկանավորող համակարգի աշխատանքը ու սուլմնասիրելու համար:

Պատասխանների ազդող հիմնական դրույթները

Ստրիկ խցիկի համար նախատեսված, 500-1000 ՄՐց հաճախության ու ներքի տիրույթում աշխատող սպիրալ աճև սկանավորող համակարգի տեսությունը, ժամանակային լուծողականության և սկանավորման պարբերության հաշվարկը, ինչպես նաև փորձարարական հետազոտության արդյունքները:

Աշխատանքի ներկայացումը

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները զեկուցվել են հետևյալ տեղական և միջազգային գիտաժողովներում.

1. <Workshop on picosecond photon sensors for physics and medical applications> (8-10 June 2015 Prague, Czech Republic).
2. <ԵՊՐ ՈւԳԸ տարեկան գիտական նստաշրջան> (2015 թ. ապրիլի 27-30. Երևան, Հայաստան)
3. <International Conference on Microwave and THz Technologies, Photonics and Wireless Communications, IRPhE' 2016> (4-6 May, 2016. Yerevan, Armenia)
4. <25th annual International Laser Physics Workshop> (11-15 July 2016, Yerevan, Armenia)
5. Workshop On Picosecond Photon Sensors For Physics And Medical Applications. (15-18 September 2016. Kansas City, USA)

Հրատարակումները

Ատենախոսության հիմնական դրույթները և արդյունքները տպագրվել են 4 գիտական աշխատանքներում, որոնց ցանկը բերված է սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

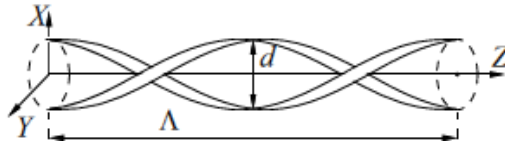
Ատենախոսությունը բաղկացած է առաջաբանից, 4 գլուխներից, եզրակացություններից, 85 հղում պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 110 էջ է, պարունակում է 50 նկար և 3 աղյուսակ:

Աշխատանքի բովանդակությունը

Առաջաբանում հիմնավորված է թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված են նպատակներն ու խնդիրները, գիտական նորությունը, պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները, ինչպես նաև կիրառական նշանակությունը:

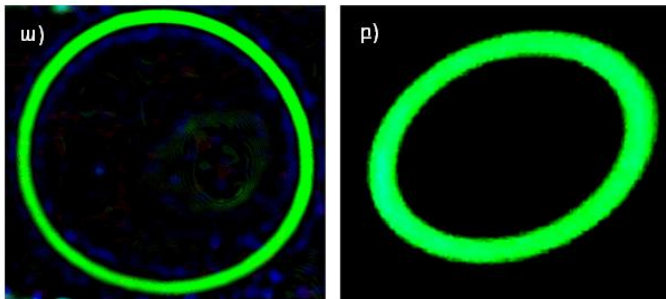
Առաջին գլխում ներկայացված է ստրիկ խցիկների (Էլեկտրոնա-օպտիկական խցիկների) աշխատանքի սկզբունքը, որը ֆոտոնային իմպուլսի ժամանակային ինֆորմացիայի փոխակերպումն է տարածականի: Այն կատարվում է արագ փոփոխվող Էլեկտրոմագնիսական դաշտերի օգնությամբ ֆոտոկատոդից պրկված Էլեկտրոններին շեղելու միջոցով: Ֆոտոնային իմպուլսը ընկնում է ֆոտոկատոդի վրա, որից ֆոտոէմիսիայի հետևանքով ֆոտոկատոդի հակառակ կողմից դուրս են պրկվում ֆոտոէլեկտրոններ (\$E)\$, որոնց ժամանակային բաշխվածությունը համապատասխանում է ֆոտոնային իմպուլսի ժամանակային բաշխվածությանը: Այնուհետև \$E\$-ները արագացվում են բարձր Էլեկտրաստատիկ դաշտում և անցնում ֆոկուսացնող ոսպնյակի միջով, արդյունքում ստացվում է \$E\$-ների նեղ փունջ: Այդ փունջը, անցնելով շեղող համակարգի միջով, շեղվում է սկզբնական ուղղությունից որոշակի օրենքով և Էկրանի վրա ստեղծում երկչափանի պատկեր (streak image), որը գրանցվում է տեղագրայուն սարքի օգնությամբ: Այդ պատկերի կոորդինատների օգնությամբ կարելի է վերականգնել սկզբնական ֆոտոնների ժամանակային ինֆորմացիան: Այս գլխում ներկայացված է ստրիկ խցիկների բաղկացուցիչ մասերի աշխատանքը:

Ուսումնասիրվել են նախկինում այս ուղղությամբ կատարված աշխատանքները, պարզաբանվել են նրանցում առկա խնդիրները: Մասնավորապես, 500-1000 ՄՅց հաճախությամբ ունենորով շրջանաձև սկանավորում իրականացնող ստրիկ խցիկն ունի փոքր սկանավորման պարբերություն, որը հավասար է շեղող համակարգին տրված ՌՅ-ի պարբերությանը: Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում ստեղծվել է պարուրած և շեղող համակարգ և ստեղծվել է շրջանաձև սկանավորման տեսությունը [8]: Ծեղող համակարգի սխեմատիկ պատկերը բերված է նկ. 1-ում:



Նկ. 1 Շրջանաձև սկանավորող համակարգի սխեմատիկ պատկերը

Այս շեղող համակարգը հանդիսանում է ռեզոնատոր, որի բարորակությանը մոտ 100 է: Շրջանաձև սկանավորող համակարգի փորձարարական հետազոտության արդյունքները 1000 և 750 ՄՀ գ Ռ-ների համար բերված են նկ. 2 –ում:

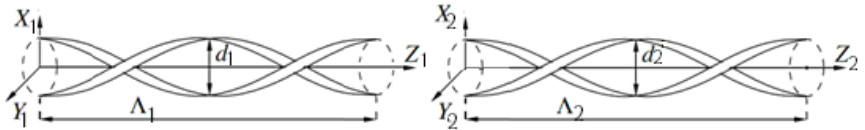


Նկ. 2. 2.5 ԿԷԿ Էներգիայով Էլեկտրոնների շարունակական փնջի ստեղծած պատկերը ֆոսֆորե Էկրանի վրա, երբ շեղող համակարգին տրված Ռ-ն
 ա) 1000 ՄՀ գ է, բ) 750 ՄՀ գ

Սպիրալաձև սկանավորման միջոցով նախկինում փորձ է կատարվել մեծացնել սկանավորման պարբերությունը [9]: Դա իրականացվել է շեղող համակարգին տրված Ռ-ի ամպլիտուդի փոփոխմամբ: Քանի որ շեղող համակարգը իրենից ներկայացնում էր ռեզոնատոր, ապա 13 նվ պարբերությամբ սկանավորում իրականացնելու համար անհրաժեշտ էր 30-100 նվ ժամանակ համակարգը նախնական վիճակի բերելու համար: Սակարելի է ասել համարվում էր սարքի համար մեռյալ ժամանակ: Յետագայում այդ հեղինակները առաջարկեցին նոր գաղափար, ըստ որի կարելի է իրականացնել սպիրալաձև սկանավորում երկու իրար մոտ հաճախություններով աշխատող շրջանաձև սկանավորող համակարգերի օգնությամբ: Այս պարագայում ակնկալվում էր, որ ստրիկ խցիկը կունենա մինչև 5 նվ

սկանավորման պարբերությունն [10], իսկ ժամանակային ճշտությունը ամբողջ սկանավորման ընթացքում կլինի 2 պլ-ից ավելի և ավել:

Երկրորդ գլխում ներկայացված է նոր պարունակ էլեկտրոններով սպիրալ ան սկանավորող համակարգի մաթեմատիկական մոդելը: Այդ համակարգի սխեմատիկ պատկերը բերված է նկ. 3-ում:



Նկ. 3 Սպիրալ ան սկանավորող համակարգի սխեմատիկ պատկերը:

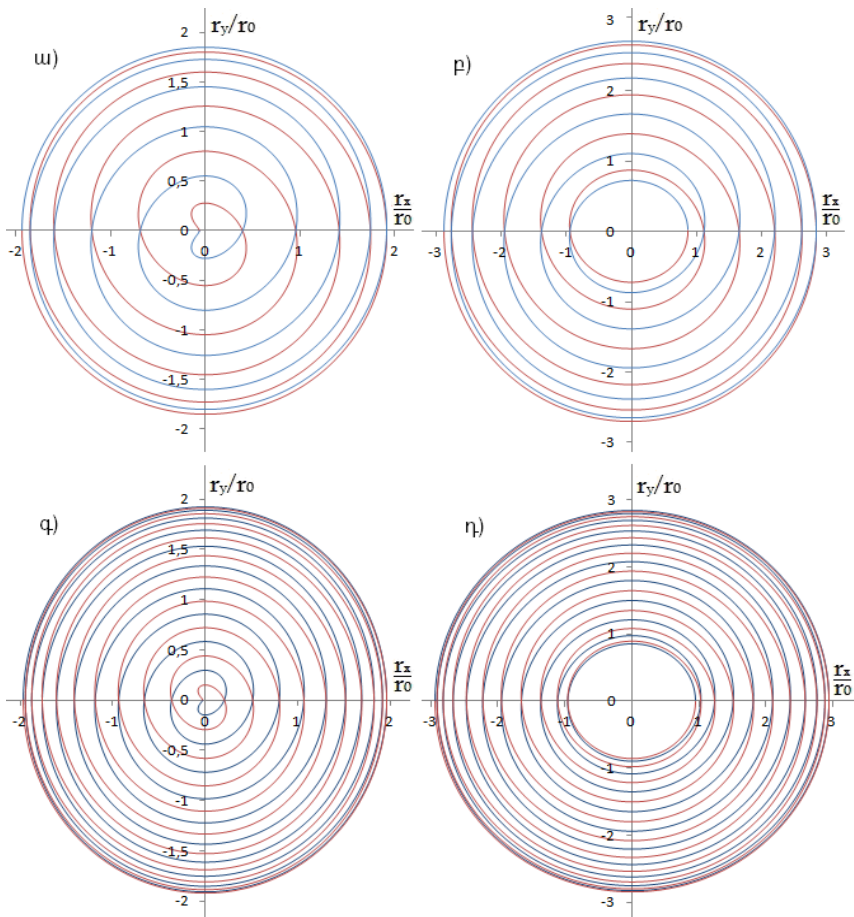
Առաջին և երկրորդ շեղող համակարգերին տրվում է ω_1 և ω_2 անկյունային հաճախություններով ՌՅ-ներ, որոնց հարաբերությունը նշանակվել է՝ $k = \omega_2 / \omega_1$, իսկ առաջին և երկրորդ շեղող համակարգերին տրված ՌՅ-ների ամպլիտուդների հարաբերությունն՝ $a = E_{d2} / E_{d1}$: Արդյունքում ի հայտ է գալիս բաբախման երևույթը:

Կատարից արկված էլեկտրոնները արագացվում են, այնուհետև ֆոկուսացվում էլեկտրաստատիկ ոսպնյակում և անցնելով նկ. 3-ում ցուցադրված սպիրալ ան սկանավորող համակարգով՝ շեղվում են և ձեռք են բերում z առանցքին ուղղահայաց արագություն: Իսկ նրանց շառավիղ վեկտորի x և y բաղադրիչները որոշվում են (1) և (2) արտահայտությամբ.

$$\frac{r_x}{r_0} = \cos \varphi + a \left(\frac{\sin(1+k)\pi}{k(1+k)\pi} \cos((1+k)\pi + k\varphi) + \frac{\sin(1-k)\pi}{k(1-k)\pi} \cos((1-k)\pi - k\varphi) \right) \quad (1)$$

$$\frac{r_y}{r_0} = -\sin \varphi + a \left(\frac{\sin(1-k)\pi}{k(1-k)\pi} \sin((1-k)\pi - k\varphi) + \frac{\sin(1+k)\pi}{k(1+k)\pi} \sin((1+k)\pi + k\varphi) \right) \quad (2)$$

Որտեղ φ -ն ՌՅ-ի փուլն է, իսկ $r_0 = eE_{d1}\tau^2 / 4m$, τ -ն էլեկտրոնի առաջին շեղող համակարգը անցնելու ժամանակն է, e -ն և m -ը էլեկտրոնի համապատասխանաբար լիցքը և զանգվածն են: Այս արտահայտությունների գրաֆիկական տեսքը տարբեր է k-երի և a-երի համար բերված է նկ. 4-ում:



Նկ. 4. Շեղող համակարգից դուրս գալ ու պահին
 Էլ եկտրոնների

2 առավել դեկտրոնի գրաֆիկները տարբեր դեպքերի համար.

ա) $a=1, k=1.1$ բ) $a=2, k=1.1$ գ) $a=1, k=1.05$ դ) $a=2, k=1.05$

Վերծանելով նկ. 4-ում ցուցադրված պատկերը՝ կարելի է պատկերացում կազմել շեղող համակարգ մուտք գործած Էլ եկտրոնների, հետևաբար նաև այդ Էլ եկտրոններն առաջացրած ֆոտոնների ժամանակային բնութագրերի մասին: Այս գլխում ներկայացվել է նաև ՌՅ ստրիկ խցիկների ժամանակային լուծողականության և սկանավորման պարբերության հաշվարկը: Սպիրալ աճ և սկանավորող համակարգի տեխնիկական լուծողականությունը որոշվում է $\Delta t_{tr} = \Delta d/v$ արտահայտությամբ,

որտեղ Δd -ն էլ եկտրոնները գրանցող տեղագրայ ուն դետեկտորի տարածական լուծողականությունը է (կամ էլ եկտրոնային փնջի լայնքը, եթե այն ավելի մեծ է քան տարածական լուծողականությունը), իսկ $v=2\pi R/T_1$ սկանավորման արագությունն է, R -ը սկանավորման շառավիղն է, T_1 -ը առաջին շեղող համակարգին տրված ՌՅ -ի պարբերությունն է: Յազվարկների արդյունքում ստացվել է, որ 500 ՄՅգ (1000 ՄՅգ) հաճախային տիրույթում աշխատող սպիրալ աճև սկանավորում իրականացնող շեղող համակարգի տեխնիկական լուծողականությունը գտնվում է 1-3.2 պվ (0.5-1.6 պվ) տիրույթում: Յազվարկների ժամանակ ընդունվել է, որ տեղագրայ ուն դետեկտորի տարածական լուծողականությունը (ֆոկոսացված էլեկտրոնների փնջի չափսը) 0.1 մմ է, իսկ էկրանի վրա առաջացած պատկերի շառավիղը տատանվում է 1-3սմ տիրույթում (3-րդ գլխում բերված է փորձարարական հետազոտության արդյունքները, որտեղ ստացվում են այս արժեքներին մոտ շառավիղներ): Սկանավորման պարբերությունը, որը համընկնում է բաբախման պարբերության հետ, որոշվում է (3) արտահայտությամբ.

$$T_b = \frac{T_1}{k-1} \tag{3}$$

Եթե $k=1.1$, ապա $T_p=10T_1$: Սա նշանակում է, որ եթե շրջանաձև սկանավորման պարբերությունը T_1 է, ապա սպիրալ աճև սկանավորման դեպքում պարբերությունը կլինի 10 անգամ ավելի մեծ (500 ՄՅգ –ի դեպքում կստացվի 20 նվ, 1000 ՄՅգ –ի դեպքում՝ 10 նվ): k -ի փոքրացմանը զուգընթաց մեծանում է սկանավորման պարբերությունը, մասնավորապես $k=1.05$ դեպքում $T_p=20T_1$ (500 ՄՅգ –ի դեպքում կստացվի 40 նվ, 1000 ՄՅգ –ի դեպքում՝ 20 նվ), իսկ $k=1.01$ դեպքում (նկ 2.7) $T_p=100T_1$: Եթե առաջին շեղող համակարգին կիրառվի 1000 ՄՅգ ՌՅ ($T_1=1$ նվ), ապա $k=1.01$ դեպքում բաբախման պարբերությունը կլինի 100 նվ: Իսկ 500 ՄՅգ հաճախության դեպքում ($T_1=2$ նվ) սկանավորման պարբերությունը կստացվի 200 նվ: Այս մեթոդը թույլ է տալիս մոտ 1-2 կարգով մեծացնել ստրիկ խցիկի սկանավորման պարբերությունը [8] աշխատանքում ներկայացված շրջանաձև սկանավորման պարբերության համեմատ: Սա նշանակում է, որ ՌՅ ստրիկ խցիկը կարող է գրանցել մի քանի պվ-ից մինչև մի քանի հարյուր նվ տևողությամբ ֆոտոնային իմպուլսներ կամ էլ եկտրոնային թանձրուկներ, ընդ որում մի քանի պվ ժամանակային լուծողականությամբ:

Երրորդ գլխում ներկայացված են փորձարարական հետազոտության արդյունքները: Որպես էլեկտրոնների աղբյուր օգտագործվել է Kimball physics ընկերության կողմից արտադրված ES-525 մոդելի կատոդը, որից անընդհատ արկվում են էլեկտրոններ և արագացվում, ձեռք բերելով 2.5 ԿԵՎ էներգիա: Էլեկտրոնները Ֆոկուսացվելուց հետո անցնում են սպիրալաձև սկանավորող համակարգը, որը իրենից ներկայացնում է երկու շրջանաձև սկանավորող համակարգերի համախումբ: Շրջանաձև սկանավորող համակարգի ընդհանուր տեսքը բերված է նկ.5:



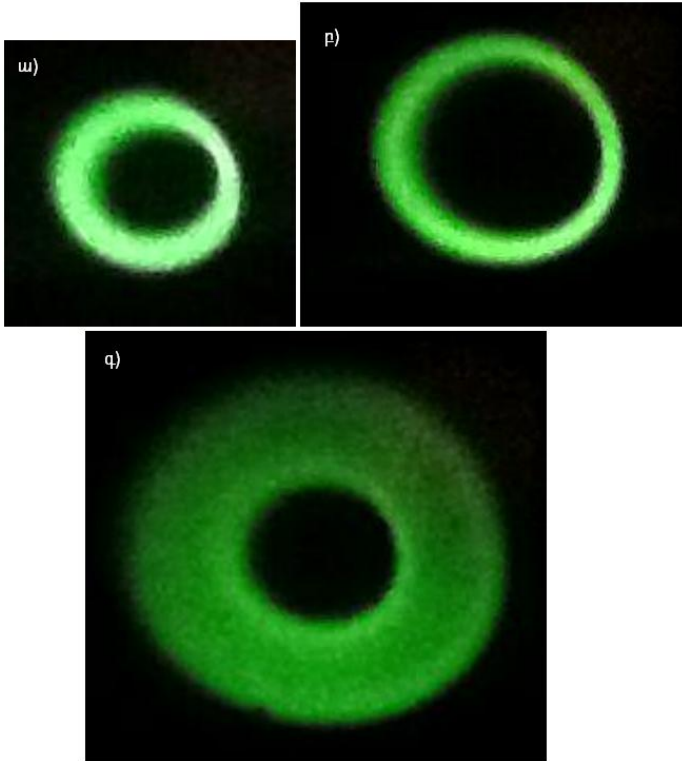
Նկ. 5. Շրջանաձև սկանավորող համակարգի ընդհանուր տեսքը:

Շեղող համակարգի երկարությունը ընտրվում է այնպես, որ 2.5 ԿԵՎ էներգիայով էլեկտրոնը յուրաքանչյուր շեղող համակարգը անցնի կիրառված ՌՅ-ի մեկ պարբերության ընթացքում, որի շնորհիվ բացավում են անցումային ժամանակային երևույթները: Մասնավորապես, 500 ՄՅց հաճախության դեպքում ($T_1=2$ նվ), մեկ շեղող համակարգի երկարությունը ստացվել է 6սմ: Արագացվելուց և ֆոկուսացվելուց հետո ստացվում է էլեկտրոնների նեղ փունջ, որի պատկերը բերված է նկ. 6-ում: Այս դեպքում շեղող համակարգերին ՌՅ-ներ չեն կիրառվել:



Նկ.6. Էլ եկտրոնների փուլն չի պատկերը \$ոսֆորե Էկրանի վրա
(շ առավիղը
մոտ 0.5մմ)

Երբ երկու շեղող համակարգերն էլ գործում են՝ Էլ եկտրոնները շեղվում են համաձայն (1)-(2) արտահայտության և երկրորդ շեղող համակարգի եզրից 12 սմ հեռավորության վրա տեղադրված \$ոսֆորե Էկրանի վրա առաջացնում է նկ. 7 գ) բերված պատկերը: Ծեղող համակարգերը սնվել են երկու տարբեր ՌՅ գեներատորներից, որի հետևանքով ՌՅ-ների փուլերը իրար հետ կապված չեն: Նկ. 7-ի ա) դեպքում աշխատել է միայն առաջին շեղող համակարգը, իսկ երկրորդը անջատված է եղել: 500 ՄՅ և 10 Վ ամպլիտուդով ՌՅ-ի միջոցով ստացվել է մոտ 1սմ շառավիղով շրջան: Բ) դեպքում աշխատել է միայն երկրորդ շեղող համակարգը, իսկ առաջինը անջատված է եղել: 550 ՄՅ և 20 Վ ամպլիտուդով ՌՅ-ի միջոցով ստացվել է մոտ 2սմ շառավիղով շրջան: Իսկ գ) դեպքում, երբ աշխատել են միաժամանակ երկու շեղող համակարգերը, նույն պարամետրերով՝ ստացվել է Լայն օղակ, որի ներքին շառավիղը մոտ 1սմ է, իսկ արտաքին շառավիղը մոտ 3սմ: Այսինքն ստացված օղակի ընդհանուր տեսքը համապատասխանության մեջ է գտնվում տեսության հետ (նկ.4 բ):

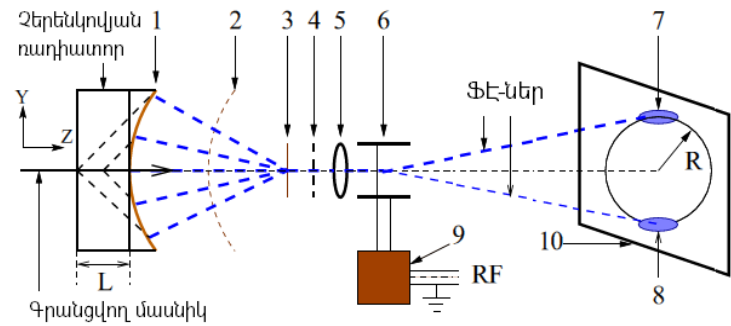


Նկ. 7. 2.5 ԿԵՎ ԷՆԵՐԳԻԱՅ ՈՎ ԷԼ ԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ԱՆՆՈՒՄԻ ԱՄՓՈՆՆԵՐԻ ԿԱՍՏԿԵՐՈՂ ԵԿՐԱՆԻՎՐԱԿԵՐՔ. ա) աջ խառնել և միայն առաջին շեղող համակարգը,
 բ) աջ խառնել և միայն երկրորդ շեղող համակարգը,
 գ) աջ խառնել են երկու շեղող համակարգերը միաժամանակ

Չորրորդ գլխում ներկայացված է սպիրալ աճն սկսնավորող համակարգի վրա հիմնված ՌՅ ստրիկ խցիկների և ՖԷԲ-ների կիրառությունները: Սպիրալ աճն սկսնավորող համակարգը կարող է օգտագործվել նաև ՌՅ ՖԷԲ-երում, որոնց հիման վրա կարելի է ստեղծել ժամանակի մեջ կոռելացված միայնակ ֆոտոնների հաշվարկման համակարգ: Միայնակ ֆոտոնները ընկնում են ֆոտոկատոդի վրա, որից արկվում են ՖԷ-ներ, ապա արագացվում և ֆոկուսացվում են, անցնելով շեղող համակարգը գրանցվում են տեղագրայուն դետեկտորի միջոցով: Այս դեպքում պետք է օգտագործել միկրո-կանալային թիթեղներից (ՄԿԹ) բաղկացած էլեկտրոնային բազմապատկիչ, որոնք

բազմապատկում են էլեկտրոնների քանակը մոտ 10^6 անգամ: Տեղազգայուն անոդը կարող է լինել պիկսելավորված, որի յուրաքանչյուր պիկսելի չափսը 0.1 մմ է և կարգավում է ամանձին կանաչով; Այս պարագայում յուրաքանչյուր պիկսելը համապատասխանում է մոտ 1 պվ ժամանակային ինտերվալի: Սա թույլ է տալիս ստեղծել ժամանակի մեջ կոռելացված միայնակ ֆոտոնների հաշվարկման համակարգ, որի ժամանակային լուծողականությունը կլինի մոտ 1 պվ, իսկ ընթերցման արագությունը կլինի 1 ՏՀց մոտ 100 նվ տիրույթում:

Մյուս կիրառությունները ՌՀ ՖԷԲ-ի վրա հիմնված թռիչքի ժամանակի (ԹԺ) Չերենկովյան դետեկտորի կիրառությունն է մազնիսական սպեկտրոմետրերում: Դետեկտորի սխեմատիկ պատկերը բերված է նկ. 8-ում:



Նկ. 8. ՌՀ ՖԷԲ-ի վրա հիմնված Չերենկովյան ԹԺ դետեկտորի սխեմատիկ պատկերը. 1- Ֆոտոկատոդ, 2- էլեկտրոնների համար թափանցիկ արագացնող էլեկտրոդ, 3- Դինոդ, 4- Արագացնող էլեկտրոդ, 5- էլեկտրաստատիկ ուսայնակ, 6- ՌՀ շեղող համակարգ, 7- Գրանցվող էլեկտրոնից առաջացած ՖԷ-ի հետքը, 8- Գրանցվող պիոնից առաջացած ՖԷ-ի հետքը, 9- ՌՀ ծավալային ռեզոնատոր, 10- էլեկտրոնային դետեկտոր

Լիցքավորված մասնիկները (տվյալ դեպքում էլեկտրոնը և պիոնը), ընկնելով ռադիատորի մեջ, առաջացնում են Չերենկովյան ճառագայթում: Ֆոտոնները, ընկնելով ֆոտոկատոդի վրա, առաջացնում են ՖԷ-ներ, որոնք արագացվում և ընկնում են դինոդի վրա, առաջացնելով երկրորդային էլեկտրոններ (ԵԷ): Այդ էլեկտրոնները արագացվում, ֆոկուսացվում են և անցնելով շեղող համակարգը, ընկնում են տեղազգայուն դետեկտորի վրա: Որոշելով այդ կետերի

կոորդինատները՝ կարելի է չափել միևնույն իմպուլսով մասնիկների թժ-ների տարբերությունը, որից կարելի է որոշել իմպուլսի բացարձակ արժեքը: Մոնտե Կառլո (ՄԿ) հաշվարկները ցույց են տվել, որ չափելով 2 մասնիկների թժ-ների տարբերությունը մոտ 1.6 պվ ճշտությամբ, ՄԱՄԻ-ի մագնիսական սպեկտրոմետրում կարելի է իրականացնել սանդղակավորում 10^{-4} ճշտությամբ 100 ՄեՎ/Ց իմպուլսների տիրույթում, որը կունենա կարևոր նշանակություն թեթև հիպերմիջուկների զանգվածների ճշգրիտորոշման համար:

Եզրակացություն

1. Մշակվել է ՌՀ ղեկավարվող սպիրալ աձև սկանավորող համակարգ, որը բաղկացած է երկու շրջանաձև սկանավորող համակարգերից: Այդ շրջանաձև սկանավորող համակարգը բացառում է անցումային ժամանակային երևույթները, և հարմար է կիրառել 500-1000 ՄՅց հաճախությունների տիրույթում:
2. Ստեղծվել է երկու շրջանաձև սկանավորող համակարգերի միջոցով սպիրալ աձև սկանավորման տեսությունը: Սպիրալ աձև սկանավորումը ստացվել է երկու իրար մոտ ՌՀ-երի կիրառմամբ:
3. Իրականացվել է փորձարարական հետազոտություն սպիրալ աձև սկանավորող համակարգի աշխատանքը ուսումնասիրելու համար:
4. Սպիրալ աձև սկանավորումը թույլ է տալիս գրանցել մի քանի պվ-ից մինչև մի քանի հարյուր նվ տևողությամբ \$ոտոնային իմպուլսներ և էլեկտրոնների թանձրուկներ, պվ ճշտությամբ:
5. Սպիրալ աձև սկանավորող համակարգի վրա հիմնված ժամանակային արոցեսորի մեռյալ ժամանակը պայմանավորված է միայն նրալուծողականությամբ, որը մի քանի պվ է:
6. Սպիրալ աձև սկանավորող համակարգը կարելի է կիրառել նաև ՌՀ \$ԷԲ-ներում:
7. Մշակվել է ՌՀ \$ԷԲ-ի վրա հիմնված, ժամանակի մեջ կոռեկցված միայնակ \$ոտոնների հաշվարկման համակարգ, 10 - 100 նվ սկանավորման պարբերությամբ:
8. ՄԿ հաշվարկները ցույց են տրվել, որ ՌՀ \$ԷԲ-ի վրա հիմնված թժ Չերենկոյվյան դետեկտորի օգնությամբ կարելի է իրականացնել ՄԱՄԻ-ի (Մայնց, Գերմանիա)

մագնիսական սպիկտրոմետրերի սանդղակավորումը 10^{-4}
ճշտությամբ:

Օգտագործված գրականության համառոտացման

1. M. Wahl. Modern TCSPC Electronics: Principles and Acquisition Modes Advanced Photon Counting. Springer Series on Fluorescence 15, Series Editor: Martin Hof editors Peter Kapusta, Michael Wahl, Rainer Erdmann. p.1. 2015.
2. W. Becker. Advanced time-correlated single photon counting techniques. Springer, Berlin. 2005.
3. A. Margaryan. RF timing technique and its possible applications. Armenian Journal of Physics, vol.2, issue 3, p.164. 2009.
4. G. Roberts, M. Ali-Bakhshian. A brief introduction to time-to-digital and digital-to time converters. IEEE Transact Circ. Syst. II Expr Briefs 57. p.153. 2010.
5. M. Wahl, et al., Integrated multichannel photon timing instrument with very short dead time and high throughput. Rev. Sci. Instrum. 084:043102 (2013).
6. Hamamatsu Photonics ընկերության պաշտոնական կայք www.hamamatsu.com
7. P. Bak, et al. Status of a radio-frequency-based streak camera with sub-ps time resolution. Proceedings of EPAC Vienna, Austria. p.1723. 2000.
8. L. Gevorgian, A. Margaryan, et al. A radio frequency helical deflector for keV electrons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 785, p.175, 2015.
9. Y. Chernousov, et al. Proposal for a deflecting system for streak camera with sub-ps resolution and wide dynamic range. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 451. p.541. 2000.
10. S. Gurov, et al. The Measurements of the Longitudinal Beam Profile on the Preinjector VEPP-5. Proceedings of EPAC, p.259, 2004.

Յրատարակված աշխատանքների ցանկը

1. Յ. Էլբակյան. Սպիրալ աձև շեղող համակարգ ստորիկ խցիկների համար. ԵՊՅ ՈՒԳԸ գիտական հոդվածների ժողովածու. 1.1 (11), Էջ .121. 2016.
2. S. Zhamkochyan, R. Ajvazyan, J. Annand, H. Elbakyan, L. Gevorgian, A. Margaryan. A Radio Frequency spiral scanning deflector for keV electrons. Proceedings of the international conference on Microwave and THz technologies, photonics and wireless communications. Yerevan, Armenia, May 4-6, p. 103. 2016.
3. A. Margaryan, R. Ajvazyan, J. Annand, H. Elbakyan, L. Gevorgian, S. Zhamkochyan. Single photon THz timer. Armenian Journal of Physics, vol. 10, issue 1, p. 23. 2017.
4. A. Margaryan, et al, H. Elbakyan, et al. High precision momentum calibration of the magnetic spectrometers at MAMI for hypernuclear binding energy determination. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 846, p. 98, 2017.

Radio-frequency streak cameras

Abstract

The PhD thesis is dedicated to studies of Radio-frequency (RF) streak cameras principles of operation, development, construction and experimental testing of spiral scanning system, operating in 500-1000 MHz range. The spiral scanning system represents two aligned dedicated circular scanning systems, operating at slightly different RF frequencies, which results amplitude beating effect. The architecture of the deflecting system allows to avoid transition time effects. Fine tuning of the effective capacitance of the system results in the deflection electrodes forming a resonant circuit, with a quality factor Q in excess of 100. On resonance, the sensitivity of the deflection system is about 1mm/V. Spiral scanning periods are by 1-2 orders of magnitude longer than circular scanning periods. Operating in 500-1000 MHz range, such spiral scanning system allows RF streak camera to detect electron or photon bunches in few ps to few hundred ns range. By transforming timing information of the detected photons into spatial information, this device can provide picosecond time precision, while dead time of spiral scanning streak camera is only defined by its time resolution.

Experimental studies were carried out with 2.5 keV continuous electron beam. The two deflectors were tuned to operate at 500 and 550 MHz RF frequencies with 10 V and 20 V amplitudes correspondingly. Narrow electron beam, scanned by the deflection system and detected by a phosphor screen, placed at 12 cm distance from the deflection system, produced annular image with inner and outer radiuses of approximately 1 cm and 3 cm. These results are in good agreement with theoretical predictions.

The proposed spiral scanning system can be also used in RF Photo-Multiplier Tubes (RF PMTs), providing long scanning period and picosecond time resolution. Such RF PMTs can find number of applications in different fields of science and technology, such as high energy physics, physics of ultrafast processes, biomedical applications and others. Further applications of RF PMTs with picosecond timing are found in fluorescence lifetime imaging, laser ranging and depth imaging.

A Cherenkov detector, read out by a radio frequency photomultiplier tube, is considered as the high-resolution and highly stable time-of-flight (TOF) detector. By means of Monte Carlo simulations it is demonstrated that the magnetic spectrometers at the MAMI (Maintz Microtron, Germany) electron-scattering facility can be calibrated absolutely with an accuracy $\Delta p/p=10^{-4}$, which will be crucial for high precision determination of hypernuclear masses. RF PMTs can be used as a base for single photon counting system, which is capable to register single photons with picosecond resolution. Over a period of around 100 ns the technique would be

capable of THz rates. The detection and readout systems of the RF PMT are based on commercial multichannel plates (MCP), electron bombardment avalanche photodiodes (EB APD) and regular nanosecond electronics.

Main results from the thesis were presented at number of local and international conferences and 4 scientific publications, which are listed in the summary.

Радио-частотные стрик-камеры

Резюме

Диссертация посвящена изучению принципов работы радио-частотных (РЧ) стрик-камер, разработке, созданию и экспериментальным исследованиям спиральной системы сканирования, работающей в диапазоне 500-1000 МГц. Спиральная система сканирования представляет собой две специальные последовательно расположенные системы кругового сканирования, работающие на близких частотах, что приводит к эффекту биения амплитуд. Конструкция системы позволяет избежать временных эффектов при перемещении электронов. При надлежащей тонкой настройке эффективной емкости системы, ее отклоняющие электроды формируют резонансную схему с коэффициентом добротности Q выше 100. В области резонанса чувствительность отклоняющей системы составляет примерно 1мм/В. Период спирального сканирования больше периода кругового сканирования на 1-2 порядка. При работе в диапазоне частот 500-1000 МГц, такая система спирального сканирования позволит РЧ стрик-камерам регистрировать электронные или фотонные пучки длительностью от нескольких пикосекунд до нескольких сотен наносекунд. Преобразуя временную информацию зарегистрированных фотонов в пространственную информацию, такое устройство способно обеспечить пикосекундную точность, при этом мертвое время стрик-камеры спирального сканирования определяется только ее временным разрешением.

Экспериментальные исследования проводились с помощью непрерывного электронного пучка с энергией 2.5 кэВ. Два дефлектора были настроены на работу с частотами 500 и 550 МГц и амплитудами 10 В и 20 В соответственно. Изображение узкого электронного пучка, отклоненного системой дефлекторов и регистрируемого фосфорным экраном, расположенным на расстоянии 12 см от нее, представляет собой кольцо с внутренним и внешним радиусами около 1 см и 3 см соответственно. Эти результаты согласуются с теоретическими расчетами.

Предлагаемая система спирального сканирования может быть также применена в РЧ фото-электронных умножителях (РЧ ФЭУ), обеспечивая длительный период сканирования и пикосекундное временное разрешение. Такие РЧ ФЭУ могут найти применение в различных областях науки и техники, таких как физика высоких энергий, физика сверхбыстрых процессов, биомедицинские приложения и т.д, а также в лазерной дальнометрии, построении глубинных изображений и изображений на основе продолжительности флуоресценции.

Черенковский детектор, использующий в качестве устройства регистрации РЧ ФЭУ, может использоваться как времяпролетный детектор высокой стабильности. Как показывают Монте-Карло симуляции, абсолютная калибровка магнитных спектрометров MAMI (Maintz Microtron, Germany) может быть таким образом доведена до $\Delta p/p=10^{-4}$, что может сыграть решающую роль в при точном определении масс гиперядер.

РЧ ФЭУ может быть использован в качестве основы для системы регистрации единичных фотонов, способной обеспечить пикосекундное временное разрешение. В течении периода в 100 нс такая техника способна обеспечить террагерцовую скорость обработки данных. Системы регистрации и считывания для РЧ ФЭУ основаны на коммерчески доступных микроканальных пластинах (МКП), лавинных фотодиодах и серийной наносекундной электронике.

Основные результаты, приведенные в диссертации, были представлены на местных и международных конференциях и опубликованы в четырех научных статьях, список которых приведен в резюме.