

ԲԱՐՁՐ ԷՆԵՐԳԻԱՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԲՆԱԳԱՎԱՌՈՒՄ ԷՔՍՊԵՐԻՄԵՆ-ՏԱԼ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆՈՒՄ

Հոգիածում քննարկվելու են Հայաստանում դարգացում ստացած բարձր էներգիաների ղեկարում ֆիզիկական էքսպերիմենտի մեթոդիկայի որոշ հարցեր կապված կալծային խցիկների միջոցով լիցքավորված մասնիկների ղեկակցուման, արգելակման ճառագայթման օգնությամբ մոնիթորինգետիկ և բեռացված չ (զամմա) քվանտների ստացման, արագ մասնիկների էներգիան չափելու համար անցումային ճառագայթումն օգտագործելու, նյութի նուրբ թաղանթում չհագեցվող իոնացման կորուստների, միջուկային էմուսիանների մշակման արագընթաց մեթոդի հետ:

Էքսպերիմենտալ առաջին սարքավորումը, որով սկսվեցին տիեզերական ճառագայթների սխտեմատիկ հետազոտությունները, Ալիխանով-Ալիխանյանի մասս-սպեկտրաչափն էր¹: Մեթոդական հետազոտությունները հիմնականում կատարվում էին մասս-սպեկտրաչափով և պայմանավորված էին նրա կատարելագործումով: Հետազոտվում էին սպեկտրաչափի տարբերակները, քննարկվում էին այլ սարքերով այն լրացնելու հնարավորությունները: Հարկ է նշել սպեկտրաչափի զոդոսկոպիկ սխտեմը, որը բաղկացած էր Գեյգեր-Մյուլլերի նրբապատ ինքնամարող հաշվիչներից. վերջիններիս պատրաստման տեխնոլոգիան մշակվել է Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում: Այդ տեխնոլոգիան լայնորեն օգտագործվել է միութայն այլ լաբորատորիաներում, բանի որ այդ ձևով պատրաստված հաշվիչները արշավախմբի պայմաններում ցուցաբերում

¹ Алиханян А. К., Дадаля А. Т., Акопян Г. С. и др., О новом магнитном спектрометре. ДАН СССР, 1951, т. 80, № 1, стр. 37.

Алиханян А. К., Кириллов-Угрюмов В. Г. и др., Магнитный масс-спектрометр в сочетании с камерой Вильсона. ДАН СССР, 1953, т. 92, № 2, стр. 255.

էին բարձր կայունութիւն: Սպեկտրալափի կատարելագործումների շարքում պետք է նշել նաև նրա լրացումը Վ. Մ. Խարիտոնովի մշակած համեմատական հաշվիչով, Վիլսոնի երկու մեծ խցիկներով, սցինցիլյացիոն հաշվիչներով:

Մեծ նշանակություն ունեցավ Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի տիեզերական կայաններում իոնացման կալորիաչափի մեթոդի իրագործումը, որն առաջարկեցին Ն. Լ. Գրիգորովը, Վ. Ս. Մուրզինը և Ի. Դ. Ռապոպորտը²: Կալորիաչափի օգնութամբ հնարավոր եղավ որոշել տիեզերական ճառագայթման առաջնային մասնիկների բարձր ու գերբարձր էներգիաները: Մոսկվայի պետական համալսարանի միջուկային ֆիզիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտի աշխատակիցների հետ համատեղ պատրաստվեց 10 մ² մակերեսով կալորիաչափ, որի միջոցով իրագործվեց հսկվող ֆոտոէմուսիաների մեթոդը (այս մեթոդը հնարավորութիւն է տալիս առանձնացնել անհրաժեշտ իրադարձութիւնները): Հետագայում կալորիաչափական մեթոդը զուգակցւեց մի շարք այլ մեթոդներով, որը հնարավորութիւն ընձեռեց էականորեն բարելավել արձանագրող սարքավորման բնութագրերն ու հնարավորութիւնները: Այսպես, կալորիաչափական սխեմայի զուգակցումը գոգոսկոպիկ սխեմայի, մագնիսական սպեկտրաչափի, կայծային խցիկների հետ հնարավորութիւն ստեղծեց հետազոտութիւնների մեծ կոմպլեքս անցկացնել տիեզերական ճառագայթների բնագավառում:

Հիշատակութեան արժանի է մթնոլորտային լայն տարափնների էներգիայի որոշման մեթոդը, որ մշակել են Ա. Ի. Ալիխանյանը և Թ. Լ. Ասաթիանին³: Խոսքը վերաբերում է մակերեսների վարիացիոն մեթոդին, երբ համընկնումների բազմակիւթյան դեպքում մասնիկների խտութիւնը որոշվում է արձանագրող հաշվիչների մակերեսի փոփոխութեամբ:

Ֆիզիկական էքսպերիմենտի մեթոդի հետ կապված հարցերը գնալով սկսեցին ավելի մեծ նշանակություն ստանալ հատկապես տարրական մասնիկների ֆիզիկայում: Ներկայումս տարրական մասնիկների բնութիւն և օրենքների մասին գրեթե բոլոր տեղեկու-

² Бабаян Х. П., Бояджян Н. Г. и др., Описание установки состоящей из понизационного калориметра, сцинтилляционных детекторов, годоскопических счетчиков. Ученые записки ЕРГУ, 1967, стр. 17.

³ Алиханян А. И., Асатиани Т. Л. и др., Исследование воздушных ливней. Новый метод исследования воздушных ливней. ДАН Арм. ССР, 1947, т. 6, № 2, стр. 33.

թյունները ստանում են արագացուցիչների և այն սարքավորման շնորհիվ, որի օգնությամբ հաշտվում է դիտել տարրական մասնիկները Այդ սարքերի մեջ կարևոր տեղ է գրավում հետքային կայծախցիկը՝ կայծային խցիկների զարգացմամբ ու կատարելագործմամբ զբաղվել են ամբողջ աշխարհի փորձարար ֆիզիկոսները, բայց առավելագույն հաշտությունների հասան սովետական, հատկապես, մոսկվացի, թրիլիոցի և երևանցի ֆիզիկոսները:

Մոսկվայի ինժեներա-ֆիզիկական ինստիտուտում Բ. Ա. Դուլդոշինը իր աշխատակիցների հետ միասին շրջեց այն պայմանները, որոնց առկայությամբ կայծային հետքը կամ հետագիծը մի քանի սանտիմետր հետևում է մասնիկին, երբ նրա շարժման ուղղությունը գործադրվող էլեկտրական դաշտի ուղղության հետ կազմում է $\Theta \leq 40^\circ$ անկյուն: Վրացական ՍՍՀ ԳԱ ֆիզիկայի ինստիտուտում Գ. Ե. Չիքովանին իր աշխատակիցների հետ միասին, իսկ հետագայում ՍՍՀՄ ԳԱ ֆիզիկայի ինստիտուտում Մ. Ի. Դայոնը, Բ. Մ. Բոլոտովը և ուրիշներ, ավելի մանրամասնորեն հետազոտեցին կայծի շարժման ճշգրտությունը մասնիկի հետագծի երկայնքով և ցույց տվեցին, որ նա $\sim (10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-4})$ ուղղ է: Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում Ա. Ի. Ալիխանյանը և Թ. Լ. Ասաթիանին⁴ իրենց աշխատակիցների հետ միասին ցույց տվեցին, որ կայծի շարժման նման ճշգրտությունը պահպանվում է ընդհուպ մինչև կես մետր և ավելի տարածություններում: Սովետական մի շարք ֆիզիկոսների ջանքերով ստեղծվեց կայծային լայնաբացակ խցիկ, որում արդեն կարելի է դիտել բարդ իրադարձություն կազմող բազում մասնիկներ: 1963 թվականին Ա. Ի. Ալիխանյանը, Թ. Լ. Ասաթիանին և Է. Մ. Մաթևոսյանը իրենց աշխատակիցների հետ ցույց տվեցին, որ կայծը հետևում է մասնիկին անգամ այն դեպքում, եթե վերջինս ընթանում է կոր ճանապարհով: Դրա համար նրանք կայծային լայնաբացակ խցիկը տեղադրեցին ուժեղ մագնիսական դաշտում, որտեղ բացահայտեցին շրջանագծային աղեղի տեսք ունեցող կամ գալարածև կայծեր: Կայծային խցիկին դա տվեց միանգամայն նոր որակ՝ մասնիկների իմպուլսները չափելու հնարավորություն:

Կայծային խցիկների զարգացման գագաթնակետը հանդիսացավ կայծային խցիկի աշխատանքի ստրիմբրային ռեժիմի հայտ-

⁴ Алиханян А. И., Асатиани Т. Л., Матевосян Э. М., Двухэлектродная искровая камера с большим разрядным промежутком в магнитном поле. ЖЭТФ, 1963, т. 44, вып. 2, стр. 773.

նագործումը, որ 1964 թ. արեցին Բ. Ա. Դոլգոշինի խումբը Մոսկվայում և Գ. Ե. Զիբովանու խումբը Թբիլիսիում։ Սնուցման բարձրավելու իմպուլսի կրճատման հաշվին նրանք հասան սկզբնական փուլում լիցքի ընդհատմանը, որի հետևանքով տեսանելի հետք ստեղծվում է ոչ թե կայծով, այլ բազում ստրիմերներով։ Ստրիմերը՝ դա գազում էլեկտրոնային հեղեղն է կայծային աղեղի ձևավորմանը նախորդող փուլում։

Գ. Ե. Զիբովանին կանխատեսեց, որ ստրիմերային խցիկում հետքերի պայծառությամբ կարելի է որոշել մասնիկների իոնացման ունակությունները, իսկ Թ. Լ. Ասաթիանին իր աշխատակիցների հետ միասին փորձով հաստատեց այդ կանխատեսումը։ Լուսավորվող կենտրոնների թվով իոնացման ունակությունների գրոշումը մանրամասնորեն հետազոտել է Բ. Ա. Դոլգոշինի խումբը։

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում հիմնականում մշակվել և հետազոտվել են լիցքաթափման մեծ ընդմիջումներով կայծային խցիկների հատկությունները, և բացի այդ, ստեղծվել են ինֆորմացիայի ավտոմատ հանումով մեծ լարային կայծախցիկներ (Ա. Ն. Պրոխորով և ուրիշներ)։ Շատ կարևոր հարց էր կայծային խցիկների սնուցման սխեմաների մշակումը։ Պարզվեց, որ լիցքավորված մասնիկների հետագծի երկայնքով կայծի շարժման տարածքային ճշգրտությունը ուղղակի կապի մեջ է սնուցման բարձրավելու իմպուլսի պարամետրերի կայունության հետ։ Այս կապակցությամբ Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտը Տոմսկի պոլիտեխնիկական ինստիտուտի հետ համատեղ մշակեց հատուկ բարձրավելու գեներատորներ, որոնք արտադրում են առջևի և հետևի ճակատների անհրաժեշտ կորությամբ ու մեծ ամպլիտուդայով իմպուլսներ։ Կայծային խցիկի սնուցման պրոբլեմի հետագա հետազոտությունները ավարտվեցին Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում. ստեղծվեցին Արկադև-Մարքսի կոմպակտ, հուսալի ու շահագործման տեսակետից համեմատաբար պարզ իմպուլսային գեներատորներ, ինչպես նաև մի այլ ինքնատիպ գեներատոր, որի միջոցով հաջողվեց իրագործել բարձրավելու ռադիո-իմպուլսներով լայնաբացակ կայծային խցիկների սնուցումը։ Ինստիտուտում մի խումբ աշխատակիցներ Ա. Ի. Ալիխանյանը, Թ. Լ. Ասաթիանին, Կ. Մ. Ավագյանը, է. Մ. Մաթևոսյանը, Ա. Ա. Նազարյանը, Վ. Մ. Քրիշչյանը, Ա. Ս. Ալեքսանյանը, Ն. Խ. Բոստանջյանը, Գ. Ա. Մարիկյանը, Կ. Ա. Մաթևոսյանը, Ռ. Օ.

Շարխատունյանը⁵ և ուրիշներ մեծ աշխատանք են կատարել հետքային կալծախցիկների բնութագրերի հետազոտման և կատարելագործման ուղղությամբ: Մասնավորապես, Կ. Մ. Ավագյանը, է. Մ. Մաթևոսյանը հետազոտելով մինչև 20 տոկոս քսենոնի հալելուամով ստրիմերային խցիկի բնութագրերը, կարողացան իրականացնել աշխատանքի այնպիսի օպտիմալ ուժիմ, որի ժամանակ հնարավոր եղավ բարձր արդյունավետությամբ արձանագրել ունեղենյան դիսպաղոնի գամմա-բվանտները:

Կալծային խցիկներով էքսպերիմենտների հիմնական դժվարությունն այն է, որ դրանց օգնությամբ ստացվում է ֆիլմային մեծածավալ ինֆորմացիա, որի մշակումն այնքան էլ դյուրին չէ: Այս կապակցությամբ անհրաժեշտ է հիշատակել դժում կալծային խցիկներից ինֆորմացիայի էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայով անֆիլմ հանման մեթոդների մշակումը: Հետազոտվում ֆիզիկական էքսպերիմենտում կալծային խցիկների կիրառումը մեծապես կախված էր ինֆորմացիայի մշակման ավտոմատացումից, մեծ հաշվողական մեքենաների օգտագործումով:

Հետազոտային կալծախցիկը ներկայումս լայնորեն օգտագործվում է աշխարհի շատ լաբորատորիաներում և մոտ ապագայում նրա օգնությամբ, անկասկած, կարվեն նոր հայտնագործություններ:

Հետքային կալծախցիկներ ստեղծելու ուղղությամբ կատարած աշխատանքների համար սովետական ֆիզիկոսների, այդ թվում Ա. Ի. Ալիխանյանին և Թ. Լ. Ասաթիանին 1970 թվականին շնորհվել է Լենինյան մրցանակ:

Տարրական մասնիկների ֆիզիկայի բնագավառում կատարվող ժամանակակից էքսպերիմենտալ հետազոտություններում շատ կարևոր է ունենալ մասնիկների, մասնավորապես γ -բվանտների և էլեկտրոնների, մոնոբրոմատիկ բեռնացված փնջեր: Բեռնացված մասնիկներով կատարվող էքսպերիմենտները տեսական սխեմաների ստուգման լրացուցիչ հնարավորություն են տալիս, իսկ մոնոբրոմատիկ փնջերն ապահովում են էքսպերիմենտների անցկացման բարձր ճշգրտությունը: Այս տեսակետից մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում Հայաստանում կատարված տեսական հետազոտությունները, որոնք հանգեցրին նոր մեթոդական մշակումների:

⁵ Алиханян А. И., Асатиани Т. Л. и др., Трековые искровые камеры в магнитном поле. Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий. Дубна, 5—15 августа, 1964, т. 2, стр. 303.

1953 թ. Մ. Լ. Տեր-Միքայելյանը⁶ կատարեց մի շարք տեսական աշխատանքներ, որոնցում ցույց տվեց, որ մեծ էներգիաների էլեկտրոնների արգելակման ճառագայթման համար բյուրեղում էական է դառնում հենց իր՝ բյուրեղի կառուցվածքը: Կեղծ ֆոտոնների մեթոդով ցույց տրվեց, որ դա հանգեցնում է բյուրեղում լիցքի ներխուժման այնպիսի ուղղությունների գոյության, երբ արգելակման ճառագայթումը կարող է ուժեղանալ կամ թուլանալ:

Հետազայում Յուրերալը 1956—57 թթ. անցկացրեց նույնանման հաշվարկներ գրգռման տեսության միջոցով և երևույթի տեսությունը հասցրեց թվական արդյունքների՝ դրանք էքսպերիմենտի հետ համեմատելու համար: Նա էլ առաջին անգամ ցույց տվեց այդ ճառագայթման մոտ էական բեռնացման առկայությունը: Վերջապես, Դիամբրինին իր աշխատակիցների հետ միասին 1962 թ. ցույց տվեց, որ ինտերֆերենցիոն երևույթների հետևանքով արգելակման ճառագայթման սպեկտրը բյուրեղում վեր է ածվում հստակ արտահայտված գագաթներով սպեկտրի: Այդ գագաթների էներգիան կախված է էլեկտրոնի իմպուլսի և բյուրեղի առանցքի միջև կաղմված անկյունից:

Ճառագայթման այդ հատկությունները հանգեցրին նրան, որ ներկայումս ալմաստի բյուրեղում արգելակման ճառագայթման օգնությամբ գրեթե մոնոքրոմատիկ և բեռնացված գամմա-քվանտների ստացման մեթոդիկան ստացել է համընդհանուր ճանաչում և կիրառվում է մասնավորապես ԱՐՈՒՍ արագացուցիչում:

80 միկրոն հաստությամբ ալմաստի բյուրեղաթիթեղի վրա Ռ. Օ. Ավագյանն ու իր աշխատակիցները⁷ ստացել են γ -քվանտների 85 տոկոս բեռնացումով ֆոտոնների քվադրմոնոքրոմատիկ փնջեր: Սակայն այս մեթոդն ունի այն թերությունը, որ γ -քվանտների բեռնացմանը հանգեցնող կոհերենտ երևույթները տեղի են ունենում $\frac{3}{4}E_0$ չգերազանցող ֆոտոնների էներգիայի դեպքում, որտեղ E_0 -ն էլեկտրոնների սահմանային էներգիան է: Միաժա-

⁶ Тер-Микаелян М. Л., Интерференционные излучения сверхбыстрых электронов. ЖЭТФ, 1953, т. 25, вып. 3, стр. 296.

⁷ Авакян Р. О., Армагян А. А. и др., Квазимонохроматический поляризованный пучок фотонов Ереванского ускорителя. Труды международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. Дубна, 1971, т. 2, стр. 746.

մանակ մի շարք էքսպերիմենտներ պահանջում են արագացուցիչ սահմանային էներգիայի ֆոտոնների բարձր բեկեռացում: Ռ. Օ. Ավագյանն իր աշխատակիցների հետ միասին սահմանային էներգիայի բեկեռացված ֆոտոնների ստացման համար կիրառեց Կարիբոյի առաջարկած մեթոդը. վերջինիս էությունն այն է, որ երբ բարձր էներգիաների ֆոտոններն անցնում են բյուրեղի միջով, առաջանում է բյուրեղի կողմնորոշումից կախված առավելաչափ բեկեռացում: Յույց տրվեց, որ կորունդի մոնոբյուրեղը կարող է լավ բեկեռացուցիչ հանդիսանալ:

Էլեկտրոնային արագացուցիչներով բարձր էներգիայի մոնոքրոմատիկ և բեկեռացված ֆոտոնների ստացման մյուս մեթոդը առաջարկել են Ֆ. Ռ. Հարությունյանը, Ի. Ի. Գուլզմանը և Վ. Ա. Թումանյանը⁸ և նրանցից անկախ Միրյունը: Յույց տրվեց, որ լազերային ֆոտոնների կոմպտոնյան ցրման դեպքում էլեկտրոնների բարձր էներգետիկ փնջերի վրա առաջանում են բարձր էներգիաների զամմա-բվանտների մոնոքրոմատիկ և բեկեռացված փնջեր: Այս մեթոդը իրագործվեց Սթենֆորդի (ԱՄՆ) էլեկտրոնային արագացուցիչում:

Այժմ քննարկենք այն աշխատանքները, որոնք կապված են անցումային ճառագայթման երևույթի տեսական հետազոտության հետ:

1957 թվականին ՀՍՍՀ ԳԱ ֆիզիկայի ինստիտուտում սկսեցին տեսական հետազոտություններ անցկացնել անցումային ճառագայթման հատկությունների որոշման նպատակով: Այդ ուղղությամբ առաջին կանխատեսումները արել են Վ. Լ. Գինզբուրգը և Ի. Մ. Յրանկը 1946 թվականին: Իսկ 1959 թվականին Գ. Մ. Ղարիբյանը⁹ ապացուցեց, որ խիստ բելլատիվիտական մասնիկների դեպքում այդ ճառագայթման հիմնական բաժինն ուղղված է առաջ և գծայնորեն կախված է մասնիկի էներգիայից: Ապացուցվեց նաև, որ այդ ճառագայթման սպեկտրը գտնվում է հաճախականությունների ռենտգենյան տիրույթում: Այդ աշխատանքը խթան հանդիսացավ հետագա հետազոտությունների համար: Դրանցից

⁸ Арутюнян Ф. Р., Гольдман И. И. и др., Новый метод получения квазимонохроматических и поляризованных пучков γ -квантов высокой энергии. Труды Международной конференции по ускорителям. Дубна, 1963 М., 1964, стр. 400.

⁹ Гарибян Г. М., Померанчук К. Я., О пределах применимости теории переходного излучения. ЖЭТФ, 1959, т. 37, вып. 6, стр. 1828.

նշենք աղճատված սահմանի վրա անցումային ճառագայթման, բազմակի ցրման ազդեցության հաշվառման, լիցքավորված մասնիկների և դիպոլային մոմենտների խտացումներից առաջացած անցումային ճառագայթման, անցումային ճառագայթման վրա տարածական դիսպերսիայի ազդեցության հաշվառման ուղղությամբ արված աշխատանքները, որ կատարել են Ա. Յ. Ամատունին, Գ. Մ. Ղարիբյանը, Ի. Ի. Գուլումանը, Ն. Ա. Կորխմազյանը, Հ. Ս. Մերգելյանը և ուրիշներ¹⁰։ Այս հարցի նկատմամբ հետաքրքրությունը պայմանավորված է նրանով, որ մասնիկների էներգիայի էլեկտրամագնիսական կորուստների հայտնի մեխանիզմներից միայն անցումային ճառագայթումն է հանգեցնում կորուստների չհազեցած աճի, երբ մասնիկների էներգիան աճում է։ Սակայն ճառագայթման փոքր ինտենսիվությունը մի սահմանում անհրաժեշտ է դարձնում ստիպել մասնիկին անցնելու մեծ թվով սահմաններով, որպեսզի շոշափելի դառնա մեկ մասնիկի արձակած անցումային ճառագայթումը։ Շերտավոր միջավայրում ռենտգենյան անցումային ճառագայթման հետազոտության ուղղությամբ առաջին աշխատանքները կատարել են Մ. Լ. Տեր-Միքայելյանը, Ա. Յ. Ամատունին, Ն. Ա. Կորխմազյանը, Գ. Մ. Ղարիբյանը և Ի. Ի. Գուլումանը 1960—61 թթ.¹¹։ Գրեթե միաժամանակ ձեռնամուխ եղան նաև ռենտգենյան անցումային ճառագայթման էքսպերիմենտալ հետազոտություններին։ Ֆ. Ռ. Հարովյունյանի և նրա աշխատակիցների աշխատանքներում իրադրծվեց Ա. Ի. Ալիխանյանի և ուրիշների¹² առաջարկած անցումային քվանտների գրանցման գաղափարը բնութագրական ճառագայթման օգնությամբ։

Ա. Գ. Հովհաննիսյանը Կ. Ա. Իսպիրյանի հետ համատեղ տեսականորեն պարզեց, թե ինչ պայմաններում և հաճախականությունների օպտիկական որ տիրույթում է անցումային ճառագայթման ինտենսիվությունը խստորեն կախված մասնիկի էներ-

¹⁰ Аматыни А. Ц., Корхмазян Н. А., Переходное излучение в случае размытой границы двух сред. ЖЭТФ, 1960, т. 39, стр. 1011.

¹¹ Гарибян Г. М., Гольдман И. И., Излучение частицы в слоистой среде. ДАН Арм. ССР, 1960, т. 31, № 4, стр. 219.

¹² Алиханян А. И., Арутюнян Ф. Р., Испирян К. А., Тер-Микаелян М. Л., Об одной возможности дедетектирования заряженных частиц высокой энергии. ЖЭТФ, 1961, т. 41, стр. 2002.

դիալիզ¹³, Հեռագայում այդ արդյունքը հաստատվեց էքսպերիմենտալ ձևով:

Հայաստանում անցումային ճառագայթման ուսումնասիրման ուղղությամբ կատարված աշխատանքների որոշ ընդհանրացում է կատարված Մ. Լ. Տեր-Միքայելյանի «Միջավայրի ազդեցությունը էլեկտրամագնիսական պրոցեսների վրա բարձր էներգիայի դեպքում» մենագրությունում¹⁴:

1967 թ. ԱՐՈՒՍ արագացուցչի գործարկումից հետո, անցումային ճառագայթման դժուր էքսպերիմենտալ աշխատանքները ավելի մեծ թափ ստացան: Այդ աշխատանքներն իրենց հերթին ազդեցություն ունեցան տեսական հետազոտությունների վրա: Գ. Մ. Ղարիբյանն իր աշխատակիցների հետ միասին կատարեց աշխատանքների մեծ ցիկլ անցումային ճառագայթման տեսության ուղղությամբ¹⁵: Այն աշխատանքների հետ միաժամանակ, որոնք որոշ ճշտումներ մտցրին շերտավոր միջավայրում անցումային ճառագայթման դժուր ավելի վաղ ստացված բանաձևերում, սկսեց զարգանալ նաև միկրոսկոպիկ մոտեցումը: Բանն այն է, որ միջատոմային հեռավորության կամ նրանից ավելի պակաս երկարության ալիքների համար մակրոսկոպիկ մոտեցման դեպքում ստացվող արդյունքները անբավարար էին: Այդ պատճառով Գ. Մ. Ղարիբյանն ու իր աշխատակիցները սկսեցին որոնել միկրոսկոպիկ տեսության կառուցման ուղիներ: Սկզբում ստեղծվեց կոպիտ միկրոսկոպիկ տեսություն, որտեղ առումները ներկայացվում էին համասեռ դիէլեկտրիկ զնդերի ձևով: Ստացվեց մի բանաձև, որն ըստ մեծության կարգի համընկնում էր մակրոսկոպիկ տեսությունից բխող բանաձևին, բայց արդեն ավելի մեծ ինֆորմացիա էր պարունակում, քան վերջինը: Սակայն անցումային ճառագայթման հետեղական միկրոսկոպիկ տեսությունը մշակվեց միայն ռենտգենյան ճառագայթների դիֆրակցիայի դինամիկ տեսության մեթոդների կիրառումից հետո: Գ. Մ. Ղարիբյանը և Յան Շին ստեղծեցին քվանտային տեսություն այն էլեկտրամագնիսական ճառագայթման համար, որն առաջանում է նյութի միջով լիցքի համաչափ և ուղղադիժ անցման դեպքում: Ռենտգենյան ճառա-

¹³ Испирян К. А., Канкян С. А. и др., Рентгеновское переходное излучение в различных средах. ИАН Арм. ССР, Физика, 1972, т. 7, № 5, стр. 377.

¹⁴ Тер-Микаелян М. Л., Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях, Ереван, 1969, стр. 557.

¹⁵ Гарибян Г. М., Н. С. ЕФИ—27 (73).

գայթնների դիֆրակցիայի դինամիկ տեսությունից քաջ հայտնի երկալիքային մոտեցման ժամանակ խնդիրը լուծվեց ընդհանուր դեպքի համար, երբ բյուրեղի ատոմները վերջնական չափեր ունեն և ջերմային տատանումներ են կատարում հավասարակշռության դիրքի շուրջը: Պարզվեց, որ լիցքի դաշտը տալիս է դիֆրակցիոն մի ամբողջ պատկեր՝ լատենգրամ, սրա կենտրոնական բիծը պատկերվում է մի արտահայտությամբ, որը համընկնում է սովորական մակրոսկոպիկ տեսությունից հետևող բանաձևի հետ: Ապացուցվեց, որ բյուրեղի հաստության մեծացմանը զուգընթաց լատենգրամը ավելի վառ է արտահայտվում: Կողային բծերն ավելի ինտենսիվ են դառնում և կարող են մի կարգով գերազանցել սովորական անցումային ճառագայթումը: Իսկ կենտրոնական բծում, որտեղ ներկայացված են բոլոր հաճախականությունները, կողային բծերին համապատասխանող հաճախականությունների վրա նույնպես կան մաքսիմումներ: Այդ հաճախականությունները բավարարում են Բրեգի պայմաններին: Ապացուցվեց նաև, որ նույնանման էֆեկտներ են առաջանում նաև այն դեպքում, երբ լիցքն անցնում է անընդհատ պարբերական միջավայրով:

Անցումային ճառագայթման տեսության բնագավառում ձեռք բերված հաջողությունների կողքին մեծ նվաճումներ ունեն նաև փորձարարները, որոնք ջանում են անցումային ճառագայթման երևույթը օգտագործել բարձր էներգիաների մասնիկների դետեկտորներ ստեղծելու համար:

Նրևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի մի խումբ աշխատակիցներ՝ Ա. Ի. Ալիխանյանը, Մ. Պ. Լորիկյանը և ուրիշներ¹⁶ առաջարկեցին ստորիմերային խցիկի միջոցով (որը լցված է նեոնով և լրացված քսենոնով) անցումային ճառագայթումը զրանցելու շատ արդյունավետ եղանակ: Սրա հիմնական առավելությունն այն է, որ միևնույն սարքում տեղի է ունենում ինչպես բուն մասնիկի, այնպես էլ անցումային ճառագայթման անշատ զրանցում: Իբրև անցումային ճառագայթման ռադիատոր, մասնավորապես, կիրառվեց պենոպլաստ, որը բավականաչափ արդյունավետությամբ կատարում է շերտավոր միջավայրի դերը: Դա խթանեց Գ. Մ. Ղարիբյանի և Յան Շիի ու նրանց աշխատակիցների աշխատանքները, որոնք մոդելիցին պենոպլաստը անկանոն շերտավոր միջավայրով նյութերի առաջադրված շերտերի ու նրանց միջև

¹⁶ Алиханян А. И., Авакян К. М., Гарибян Г. М. и др., Регистрация рентгеновского переходного излучения с помощью стримерной камеры. ИАН Арм. ССР, Физика, 1970, т. 5, вып. 4, стр. 267.

օգտյին ինտերվալների բաշխումով: Տեսական հաշվարկների արդյունքները բավականաչափ լավ համապատասխանեցին էքսպերիմենտալ տվյալներին: Հարկ է նշել հիշատակված էքսպերիմենտալ աշխատանքի առանձնահատուկ դերը, որը համոզիչ կերպով ցուցադրեց անցումային ճառագայթման երևույթի օգտագործման հնարավորությունը գերբարձր էներգիայի մասնիկների դետեկտացման համար և հսկայական հետաքրքրություն առաջացրեց դիտական աշխարհում: Այդ մասին է, մասնավորապես, վկայում ժամանակակից ֆիզիկայում առավել կարևոր հայտնագործությունների լուսաբանող «Adventures in Experimental Physics» (1972 թ. էջ 101) ամսագրում անցումային ճառագայթմանը նվիրված նյութերի տպագրությունը երևանցի ֆիզիկոսների աշխատանքների վրա լակոնիկում:

Գերբարձր էներգիայի մասնիկների անցումային ճառագայթման գրանցման մյուս հնարավորությունը անցումային γ -բվանտների ցրման օգտագործումն է ի հաշիվ կոմպտոն էֆեկտի: Մ. Պ. Լորիկյանն իր աշխատակիցների հետ միասին այդ ցրված բվանտները գրանցում էր համեմատական հաշվիչներով, որոնց շնորհիվ այդպիսի դետեկտորը աչքի է ընկնում արագագործությամբ:

Վերջապես, նշենք բարձր էներգիաների մասնիկների իդենտիֆիկացիայի ևս մեկ մեթոդ, երբ դետեկտորի մեջ ընկնում են ինչպես առաջնային մասնիկներ, այնպես էլ նրանցով ստեղծված անցումային բվանտներ: Որպես այդպիսի դետեկտոր, որը տեղադրվում է ճառագայթման ռադիատորից անմիջապես հետո, Ա. Ի. Ալիխանյանը, Ա. Գ. Հովհաննիսյանը¹⁷ և ուրիշներ կիրառեցին բավականաչափ արագագործ բենեռնային սցինիլյացիոն հաշվիչ:

Կասկած չկա, որ անցումային ճառագայթման մեթոդը, որի միջոցով կարելի է իդենտիֆիկացնել և չափել գերբարձր էներգիաների մասնիկների լորենց-ֆակտորները, մեծ ապագա ունեն: Եվ զարմանալի չէ, որ աշխարհի շատ լաբորատորիաներում սկսել են անցումային ճառագայթման երևույթի սիստեմատիկ հետազոտություններ: Այդ մասին են, մասնավորապես, վկայում բարձր էներգիաների ֆիզիկայում սարքավորման գծով վերջին Միջազգային կոնֆերանսի (Իտալիա, 1973 թ.) նյութերը: Անցումային

¹⁷ Алиханян А. И., Испирян К. А., Оганесян А. Г. и др., Экспериментальное исследование детектора частиц сверхвысоких энергий с использованием рентгеновского переходного излучения. Письма в ЖЭТФ, 1970, т. 11, стр. 347.

ճառագայթմանն էին նվիրված Ա. Ի. Ալիխանյանի, Գ. Մ. Ղարիբյանի և ամերիկյան ֆիզիկոս Լ. Յուանի ամփոփիչ զեկուցումները:

Այժմ քննարկենք արագ մասնիկների իոնացման կորուստներին վերաբերվող աշխատանքները: Մտաբերենք, որ քսանական թվականների վերջերին տեսականորեն հաստատված էր, որ մասնիկների էներգիայի աճին զուգընթաց իոնացման կորուստները պետք է աճեն լոգարիթմորեն: Սակայն 1941 թ. է. Ֆերմին ցույց տվեց, որ եթե նկատի ունենանք բևեռացումը, որը նյութի մեջ կատարում է լիցքավորված մասնիկի դաշտը, ապա դա հանգեցնում է կորուստների հազեցմանը: 1959 թ. Գ. Մ. Ղարիբյանը ՀՍՍՀ ԳԱ ֆիզիկայի ինստիտուտում տեսականորեն ապացուցեց, որ իոնացման կորուստները նյութի նուրբ թաղանթներում, որոնց հաստությունը ալիքի օպտիկական երկարությունից էլ պակաս է, մասնիկների էներգիայի հետ միասին լոգարիթմորեն աճում են: 1961—62 թթ. այդ էֆեկտը էքսպերիմենտալ ձևով հայտնաբերվեց Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի (Մ. Պ. Լորիկյան) և ուկրաինական ֆիզիկատեխնիկական ինստիտուտի համատեղ ջանքերով, խարկովի գծային արագացուցիչով: Նուրբ թաղանթներում իոնացման կորուստների ուղղությամբ հետազոտությունները մինչև օրս էլ շարունակվում են, բայց արդեն արտաքին էլեկտրական դաշտով ուժեղացված երկրորդային էլեկտրոնային էմիսիայի հետազոտությունների առումով:

Պարզվեց, որ որոշ դեպքերում առաջնային էլեկտրոնների հոսանքի աճին զուգընթաց, երկրորդային էմիսիայի հոսանքը նույնպես աճում է լոգարիթմորեն: Այդ երևույթի տեսական հետազոտությունները (Գ. Մ. Ղարիբյան և Գ. Գ. Բախշյան¹⁸) ցույց տվեցին, որ շափազանց էական է ուժեղ հաստատուն էլեկտրական դաշտի առկայությունը կամ բացակայությունը, որ սովորաբար առաջանում է նուրբ դիէլեկտրիկ շերտի ներսում երկրորդային էլեկտրոնային էմիսիայի կատոդին: Այդպիսի դաշտի առկայությունը հանգեցնում է նրան, որ երկրորդային հոսանքը լոգարիթմորեն կախման մեջ է ընկնում առաջնային մասնիկների էներգիայից:

էքսպերիմենտալ ձևով երկրորդային էլեկտրոնային էմիսիան ուսումնասիրել են Մ. Պ. Լորիկյանը, Ռ. Ի. Կավալովը և Ն. Ն. Տրոֆիմովը¹⁹: Նրանց նպատակն էր ստեղծել կառավարվող ներ-

¹⁸ Гарибян Г. М., Бахшян Г. Г., К теории мониторов вторичной эмиссии. ИАН Арм. ССР, Физика, 1967, т. 2, № 6, стр. 415.

¹⁹ Лориакян М. П., Кавалов Р. Л. и др., Вторичная эмиссия на прострел из пленок без проводящего слоя. Радиотехника и электроника, 1968, т. XIV, № 5, стр. 936.

բին էլեկտրական դաշտով փխրուն կադոտներ և այդ դաշտի օգնությամբ երկրորդային էլեկտրոնները հեռացնել կադոտից։ Նրանք դառն, որ էլեկտրոնային էմիսիան առաջնային էլեկտրոնների էներգիայի ղեպքում, որը չի անցնում 50 ՄէՎ-ից, կախված է էլեկտրոդների միջև պոտենցիալների տարբերությունից և կառավարվող բնույթ է կրում։ Ձեռք բերվեցին երկրորդային էլեկտրոնային էմիսիաների բարձր դորժակիցները։ Երկրորդային էլեկտրոնային էմիսիաների մոնիտորների հատկությունների հետազոտությունը ցույց տվեց, որ դրանց հիման վրա կարող են ստեղծվել մասնիկների բարձր լուծունակության ղեռնավորներ։

Հարկ է նշել, որ Գ. Մ. Ղարիբյանի և Գ. Գ. Բախշյանի հիշյալ աշխատանքում ընդգծվում է, որ էլեկտրական ուժեղ դաշտը կարող է ազդեցություն ունենալ նաև միջուկային ֆոտոէմուսիայում դադանի պատկերի առաջացման պրոցեսի վրա։

Ինչպես հայտնի է, էքսպերիմենտալ միջուկային ֆիզիկայում լիցքավորված մասնիկների դրանցման համար լայնորեն օգտագործվում են միջուկային էմուսիաները։ Էմուսիոն շերտերի լուսանկարչական մշակումը տեղում է օրեր և անգամ շաբաթներ, մի բան, որը շատ է բարդացնում մշակման մեթոդիկան և սխալների տեղիք տալիս հետքերի վերլուծության ժամանակ։

1961—68 թթ. Ա. Բ. Հակոպովան, Ի. Պաշաշյանը իրենց աշխատակիցների հետ միասին մշակեցին շերտերի մշակման նոր, ալյսպես կոչված, ակուստիկ մեթոդ՝ գերձայնային և ձայնային տատանումների կիրառումով, որը չորս անգամ արագացնում է մշակման լրիվ ցիկլը և բարելավում շերտի լուսանկարչական, մեխանիկական և ֆիզիկական պարամետրերը²⁰։ Ակուստիկ մեթոդի կարևոր առավելությունը էմուսիայի ազավաղումների նվազեցումն է, որը հնարավորություն է տալիս ավելի ճշգրտորեն չափել լիցքավորված մասնիկների էներգիան։ Էմուսիաների երեակման սարքը, որ մշակվել է լաբորատորիայում, կարող է հաջողությամբ կիրառվել ֆիզիկական խոշոր էքսպերիմենտների ժամանակ։ Էմուսիաների էական առանձնահատկությունն այն է, որ դրանք օժտված են ցանկացած իոնացնող ճառագայթումը դրանցելու հաստատուն հատկությամբ։ Ուստի շատ կարևոր է մշակել մի

²⁰ Աкопова А. Б. Мелкумова Л. В. и др., Фотографическая обработка ядерных эмульсий ультразвуковыми колебаниями. ПТЭ, 1964, № 2, стр. 66. Акопова А. Б. и др., Некоторые вопросы по обработке ядерных эмульсий в акустическом поле. ЖН и ПФИК, 1970, т. 15, вып. 4.

մեթոդ, որով հնարավոր լինի կառավարել և նախապես առաջադրված ծրագրով կարգավորել էմուլսիայի զգայունությունը: Դա թույլ կտա կողմնակի իրադարձությունների մեծ ֆոնի վրա առանձնացնել հետաքրքրող իրադարձությունները: Ա. Բ. Հակոպովայի լաբորատորիայում օգտագործվեց Գ. Մ. Ղարիբջանի և Գ. Գ. Բախշյանի արտահայտած գաղափարը, և մշակվեց իմպուլսային էլեկտրական դաշտերի կիրառումով մեթոդիկա, որը թույլ է տալիս վերացնել տիեզերական ճառագայթման զգալի մասը կազմող թեթև մասնիկների ֆոնը: Նաև հնարավոր եղավ տիեզերական ծանր և գերծանր մասնիկների հետազոտության նպատակով օգտագործել միջուկային էմուլսիան տիեզերքի պայմաններում երկարատև լուսակայման համար:

Ծրանի արագացուցիչում անցկացրած էքսպերիմենտները ֆոտոոձնման ուղղությամբ պահանջեցին ստեղծել ճշգրիտ մագնիսական սպեկտրաչափ և գամմա-սպեկտրաչափ 0,8-ից մինչև 4 ԳէՎ/ս իմպուլսներ ունեցող լիցքավորված II -մեզոնները և պրոտոնները գրանցելու համար աշխատակիցների մի մեծ խումբ Հ. Հ. Վարդապետյանի ղեկավարությամբ մշակեց սարքավորում, որը բաղկացած է շեղող մագնիսից, մագնիսական ոսպնյակներից, գոդոսկոպներից, շերենկովյան և սցինցիլացիոն հաշվիչներից և հնարավորություն է տալիս մեծ ճշգրտությամբ որոշել գրանցվող մասնիկների իմպուլսները²¹, ի տարբերություն մասնիկները ուղղաձիգ հարթությամբ շեղող կամ «թեք պատուհան» ունեցող նույնանման բարձրաճշգրիտ սպեկտրաչափերի, այստեղ իրագործվեց մասնիկները հորիզոնական հարթությամբ շեղող սխեմա: Սպեկտրաչափը հաշվարկվել է էՆՄ-ով ըստ շեղող մագնիսի և մագնիսական ոսպնյակների տեղագրության: Բացի դա, սպեկտրաչափի մագնիսական սխեմայի օպտիկական հատկությունները հետազոտվել են մոնոքրոմատիկ էլեկտրոնային փնջի վրա: Աշխատողների մի մեծ խմբի ջանքերով ստեղծվեց համաշխարհային ստանդարտների մակարդակով մագնիսական ունիվերսալ սպեկտրաչափ ըստ $\frac{\Delta P}{P} \sim \text{իմպուլսի } 1-2 \text{ տոկոս լուծունակությամբ:}$

Այդ նույն լաբորատորիայում II⁰, Դ⁰ տիպի շեղող մեզոնների՝ երկու գամմա-քվանտների տրոհումը գրանցելու համար ստեղծվեց

²¹ Абрамян Л. О., Аганьянц А. О., Адамян Ф. В. и др., Магнитный спектрометр для регистрации частиц в области до 4 ГЭВ/С. Препринт ЕФИ—МЭ—10 (72), то же ПТЭ, 1973, № 2, стр. 60.

երկճյուղ դամբա-սպեկտրաչափ բաղկացած լրիվ կլանման երկու շերտերովյալ հաշվիչներից: Ստեղծվեց դրանցման սխեմա, որը հնարավորություն տվեց սպեկտրաչափի լուծունակությունը հասցրնել 5 ն վայրկի:

1956 թվականին մի մեծ խումբ Ն. Մ. Քոչարյանի²² ղեկավարությամբ սկսեց աշխատել տարրական մասնիկների գրանցման խոստումնալից մեթոդի՝ պղպջակային խցիկների ստեղծման վրա: Պատրաստվեց 0,5 լիտր ծավալով պղպջակային խցիկ, ուր ուսումնասիրվում էին տարրեր աշխատանքային խառնուրդների բնութագրերը: 60-ական թվականների սկզբներին ինստիտուտի աշխատակիցները ՍՍՀՄ ԳԱ Ֆիզիկայի ինստիտուտի և Միջուկային հետազոտությունների միացյալ ինստիտուտի հետ համատեղ ստեղծեցին ժամանակի ամենամեծ (570 լիտր ծավալով) պղպջակային խցիկը: Եվ, վերջապես, ԱՐՈՒՍ-ով էքսպերիմենտներ կատարելու համար Ա. Ի. Ալիխանյանը, Ա. Ս. Ալեքսանյանը և մյուս աշխատակիցները²³ Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում կառուցեցին հատուկ կոնստրուկցիայի պղպջակային խցիկ 300 լիտր ծավալով, որով արդեն ստացվել են որոշ ֆիզիկական արդյունքներ, իսկ հետագայում, կառուցվածքային փոփոխություններից հետո, խցիկը օգտագործվելու է արագացուցչի դամբա-փնջերից մեկի վրա:

Բարձր էներգիաների մասնիկների գետեկտման ևս մեկ մեթոդի՝ սցինցիլացիոն տեխնիկայի մասին: Ս. Ա. Վարդանյանի ղեկավարած բիմիական լաբորատորիայում ստեղծվեցին աշխարհի լավագույն նմուշներին ոչնչով չդիմացող պլաստիկ սցինցիլատորներ²⁴: Սցինցիլացիոն հաշվիչների բնույթները հետազոտելու ուղղությամբ կատարած աշխատանքների մեծ ցիկլի շնորհիվ, որ կատարեց Լ. Ս. Բաղդասարյանը իր աշխատակիցների հետ միասին, ստեղծվեց մասնիկների թռիչքի ժամանակը չափող բարձր լուծողունակության սխեմա:

Առաջին անգամ Միջուկային հետազոտությունների ինստիտուտի (Լ. Ի. Լապիդուս և ուրիշներ) և Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի (Գ. Վ. Բաղալյան և ուրիշներ) գիտնականների միացյալ

²² Кочарян Н. М., Алексанян А. С. и др., Исследование работы пузырьковой камеры с бинарными смесями. Смесь пропана и фреона—12. ДАН Арм. ССР, 1958, т. 27, № 5, стр. 217.

²³ Алиханян А. И., Алексанян А. С. и др., 300-литровая пузырьковая камера ПК—300, ПТЭ, 1969, № 2, стр. 45.

²⁴ Вартанян С. А., Барсегян С. П. и др., Синтез некоторых бисстильбенон. Арм. химический журнал. 1973, № 4, стр. 334.

խմբի ջանքերով Երևանի էլեկտրոնային արագացուցիչի համար կիրառվեց սիլիցիումի կիսահաղորդիչային դետեկտորի և պոլիէթիլային նուրբ թաղանթների մեթոդիկա: Այդ մեթոդի օգնությամբ հետազոտվեցին e^- և e^+ առաձգական ցրումը հաղորդվող փոքր իմպուլսների դեպքում ($q^2 \ll F^{-2}$):

Վերջապես նշենք, որ Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի մի խումբ աշխատակիցներ՝ Ա. Ի. Ալիխանյանը, Գ. Լ. Բայաթյանը և ուրիշներ²⁵, ակտիվորեն մասնակցեցին Սերպուխովի պրոտոնային արագացուցիչում մինչև 46 ԳէՎ էներգիայով մաքուր էլեկտրոնային փնջեր ստանալու գործին:

Ֆիզիկոսների այդ նույն խումբը ստեղծեց և Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի արագացուցիչում գործարկեց նշագիր ֆոտոնների սիստեմը, ադրոնային և հեղեղային դետեկտորները, որոնց օգնությամբ մինչև 46 ԳէՎ էներգիայի սահմաններում ֆոտոծնման ուղղությամբ մի շարք հետազոտություններ անցկացվեցին Սերպուխովում:

С. М. АХВЕРДЯН, Р. А. САРДАРЯН

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В АРМЕНИИ

Резюме

В работе дается обзор методов исследований в области физики высоких энергий в Армении.

Первые методические исследования были связаны с масс-спектрометром Алиханова-Алиханяна и исследованиями космических лучей с методом ионизационного колориметра и вариации площадей. Затем большое развитие получили трековые искровые камеры, которые использовались в экспериментах на ускорителе. За работы по созданию трековых искровых камер армянские физики А. И. Алиханян и Т. Л. Асатиани совместно с другими физиками Союза были удостоены Ленинской премии 1970 г.

В Армении были разработаны два метода получения монохроматических и поляризованных фотонов высокой

²⁵ Алиханян А. И. и др., НС ЕФИ—26 (73), Ереван, 1973.

энергии, которые были реализованы на современных ускорителях и, в частности, на Ереванском.

Большое развитие получила методика регистрации частиц высоких энергий с помощью переходного излучения. Было проведено большое число теоретических и экспериментальных работ, получивших широкую известность. Для создания детекторов частиц высоких энергий исследовалась вторичная электронная эмиссия. Были созданы современные установки для экспериментов на ускорителях. Это универсальный магнитный спектрометр, гамма-спектрометр, пузырьковые камеры и другие.