

# **Կոմբինացված գործողության սկզբունքով տատանվող լարով սենսորներ արագացուցիչների փնջերի դիագնոստիկայի համար**

## ***1. Անոտացիա***

Նոր սերնդի արագացուցիչները պահանջում են փնջերի պրոֆիլավորման գործիքներ, որոնք շատ բարձր ճշգրտությամբ և միաժամանակ մեծ դինամիկ տիրույթում ունեն հնարաորություն չափելու շատ փոքր և մեծ թվով մասնիկներ և տարբեր չափերի փնջեր լավ տարածքային լուծումով: Այս նախագծում արագացուցչի փնջի պրոֆիլի չափումները նախատեսված են իրականացնել տատանվող լարի մոնիտորների միջոցով (SLU) ինչպես ջերմային, այդպես էլ ռեզոնանսային սկզբունքով գործելու համար: Առաջին սկզբունքով ցածր հոսանքով փնջի պրոֆիլավորումը հնարավոր է իրականացնել օգտագործելով տատանվող լարի հաճախության հսկայական կախումը լար ներթափանցող մասնիկների ջերմության ազդեցությունից: Առաջարկում է տատանվող լարի նոր տիպի մոնիտորների տեսակ, որտեղ տատանվող լարը օգտագործվելու է որպես ռեզոնանսային թիրախ: Տատանվող լարի հայտնի հաճախությունը թույլ է տալիս բացառել երկրորդային / անդրադարձված մասնիկների բարձր մակարդակի ֆոնը և առանձնացնել միայն պրոֆիլի վերականգնման համար անհրաժեշտ ազդանշանը: Երկու մեթոդներն էլ նախատեսվում է մշակել, տեստավորել լաբորատոր պայմաններում և ներդնել AREAL (Candle SRI) արագացուցչի վրա:

## ***2. Խնդրի դրվածքը, դրա արդի վիճակը***

Արագացուցչի փնջի պարամետրերի ճշգրիտ իմացությունը թույլ է տալիս, օգտագործելով տվյալ ինֆորմացիան, օպտիմիզացնել այդ պարամետրերը, և դարցնել նրանց համապատասխան տարբեր էքսպերիմենտների կատարման համար ընդլայնելով փնջերի կիրառելիության սահմանները: Արագացուցչի փնջի կարևոր պարամետրերից է նրա լայնական պրոֆիլը: Շատ դեպքերում կարևոր են ոչ միայն փնջի լայնական չափերը այլ նաև մասնիկների բաշխվածությունը լայնական կտրվածքում: Նոր սերնդի արագացուցիչները պահանջում են փնջերի պրոֆիլավորման գործիքներ, որոնք շատ բարձր ճշգրտությամբ և միևնույն ժամանակ մեծ դինամիկ տիրույթում թույլ է տալիս օրինակ, չափել չափազանց փոքր և մեծ քանակությամբ մասնիկների (հալո/կենտրոն) բարձր հոսանքներով արագացուցիչներում (օրինակ արագացուցիչ՝ IFMIF - International Fusion Materials Irradiation Facility) – տրամադրված է բարձր էներգիայի նեյտրոնների արտադրության համար - Դեյտրոններ 40 ՄԷՎ - 250 մԱ փնջերի հոսանքի դեպքում [1]), շատ բարակ փնջերով արագացուցիչներում (օրինակ, նոր սերնդի սինխրոտրոնային ճառագայթման աղբյուրներում [2]) եւ այլն:

Հայտնի գործող սկզբունքով լարային սկաներների լայնորեն օգտագործվում են տարբեր տիպի փնջերի պրոֆիլների չափումների համար: Այդ սկզբունքը կայանում է նրանում, որ չափվում է լարի վրա փնջի ցրման արդյունքում առաջացած երկրորդական մասնիկները/ճառագայթումը: Նման սկզբունքով աշխատող սկաներների հիմնական թերություններն են՝ լրացուցիչ չափման համակարգի անհրաժեշտությունը և ֆոնի զգալի ազդեցությունը վակուումային խցիկում

Մեր խմբի կողմից մշակված են լիցքավորված մասնիկների/ճառագայթման դիագնոստիկայի մի շարք մեթոդներ, հիմնված տատանվող լարի սկզբունքի վրա: Գործարկման սկզբունքը հիմնված է լարի ռեզոնանսային հաճախության և ջերմաստիճանի ուժգին կախվածության վրա (ջերմային սկզբունք): Այդ սկզբունքով

պատրաստված սարքերը բազմաթիվ փորձերում և թեստերում ցուցաբերեցին լավ ճշտություն, մեծ դինամիկ տիրույթ, բարձր հուսալիություն և բարդ պայմաններում աշխատելու ունակություն, ունեն հրաշալի տարածական լուծելիություն և նրանց կարելի է օգտագործել տարբեր տեսակի փնջերի դիագնոստիկայի համար (էլեկտրոնային, պրոտոնային, իոնային և ֆոտոնային): Նեյտրոնային փնջերի չափման համար մշակված է հատուկ (SLU). Մասնագիտացված բազմալար SLU, փնջի առանցքի շուրջ պտտվելու ունակությամբ, կարող են կիրառվել բարդ 2-չափանի մեծ լայնական կտրվածքով էլեկտրոնային, պրոտոնային և նույնիսկ նեյտրոնային փնջերի պրոֆիլների վերականգնման համար:

Այս նախագծում ներկայացված են նոր տիպի SLU, հիմնված տատնվող լարը որպես թիրախ օգտագործելու վրա: Տատանվող լարի հայտնի հաճախականությունը թույլ է տալիս արտաքսել երկրորդական / անդրադարձված մասնիկների բարձր ֆոնը և առանձնացնել միայն պրոֆիլի վերականգնման համար: անհրաժեշտ ազդանշանը: Առաջին նպատակն է մշակված SLU, և շահագործման ջերմային սկզբունքով և ռեզոնանսային թիրախի ռեժիմով, կիրառել AREAL - ի 5 ՄԷՎ էներգիա ունեցող և 20-50 ՄԷՎ իրացվող արդիականացված փուլերի (ALPHA - Amplified Light Pulse for High-end Applications and BETA – Booster for Emerging Technology [3-8]) էներգիայով արագացուցչի վրա:

#### *Թեմայի գիտական նպատակները*

Այս նախագծում արագացուցչային փնջի պրոֆիլի չափումը առաջարկվում է կատարել տատանվող լարի մոնիտորների և գործման ջերմային և ռեզոնանսային թիրախի ռեժիմով սկզբունքների միջոցով: Անհրաժեշտ է նշել, որ AREAL - ի դիագնոստիկ և վերահսկման այսօրվա համակարգում [4-5] փնջի լայնական պրոֆիլի չափման համար օգտագործվում են փնջի համար չափազանց դեստրուկտիվ YAG:Ce սցինտիլյացիոն բյուրեղներ, քանի որ ընդհանուր տիպի լարային սկաներները չեն առաջացնում բավարար ազդանշանային-աղմուկ հարաբերակցություն: SLU- ի օգտագործումը ջերմային ռեժիմում կհաղթահարի այս սահմանափակումն ու կտա հնարավորություն օգտագործել ոչ դեստրուկտիվ գործիք ինչպես 5 MeV ռեժիմով աշխատող, այնպես էլ ALFA and BETA 20-50 MeV.սարքի (շինարարության փուլում) համար:

Հաշվի առնելով AREAL արագացուցչի յուրահատուկ պարամետրերը (բանջերի պիկովարկյանային երկարությունները և համապատասխանորեն փնջի միջին հոսանքի պիկոամպերային մեծությունները) նախատեսվում է մշակել հատուկ լավ լուծելիությամբ SLU – եր: Բացի դրանից նախատեսվում է մշակել և փորձարկել SLU –ի նոր տարբերակ, որտեղ տատանվող լարը ծառայելու է որպես ռեզոնանսային թիրախ: Այս նոր տեսակի ռեզոնանսային թիրախ SLU - ն կտրուկ նվազեցնում է չափման ժամանակը:

#### *Հետազոտական ծրագիրը*

##### *Խնդրի դրվածքը և նոր մեթոդի նկարագումը*

SLU–ի աշխատանքային սկզբունքը հիմնված է տատնվող լարի հաճախության փոփոխության չափման վրա: Լարը ձգված է հիմքի վրա և նրա հաճախությունը կախված է լարի ֆիզիկական պարամետրերից և լարը շրջապատող միջավայրից:

Լարի ձգվածությունը կարող է փոխվել նաև լարի տաքացումից, որը բերում է նրա տատանման հաճախության փոփոխությանը: Այդ փոփոխությունը կարող է

պայմանավորվել լարի նյութի մեջ թափանցած մասնիկներով/ճառագայթության, որը և հանդիսանում է լարի հետ փոխազդող մասնիկների հոսքի չափման եղանակ:

Մոնիտորի հաճախությունը կախված է լարի սկզբնական ձգվածությունից, լարի նյութից և մոնիտորի չափերից և գտնվում է 1-10 կՀց միջակայքում: Մոնիտորի էլքային ազդանշանը – հաճախության շեղումը – ունի հետևյալ սահմաններ՝ մինիմալ հաճախությունը՝ մեծ քան 0.01 Հց (ստորին սահման) և փոքր քան 1000 Հց (վերին սահման), այսինքն մոնիտորի դինամիկ տիրույթը հասնում է մինչև մի քանի միավոր  $1e+5$ : Մոնիտորի լուծելիությունը կազմում է մի քանի մՀց և չափման ճշտությունը լավ է քան 0.01 Հց: Կախված լարի նյութից և երկրաչափական չափսերից այդպիսի ճշտությունը հաճախ համապատասխանում է լարի փոքր քան 1 մԿ տաքության փոփոխությանը [9,10]:

Փնջից լարին ջերմափոխանակությունը կախված է մասնիկների տիպից, էներգիայից և լարի նյութի բաղադրությունից, ինչպես նաև լարի ջերմահաղորդակցուցյան գործակցից և մոնիտորի գտնվելու միջավայրից: Մինչ այժմ SLU – ի միջոցով մենք կարողացել ենք չափել միջին 1-10 նԱ էլեկտրոնային հոսքեր: Այդ արժեքը գերազանցում է AREAL փնձի միջին հոսանքի արժեքը, որը գտնվում է պԱ-ին տիրույթում: Ուստի AREAL արագացուցչի փնջի չափման համար անհրաժեշտ է բարձրացնել SLU - ի լուծելիությունը և ճշտությունը: Տվյալ նախագծում այդ նախատեսվում է իրականացնել հետևյալ եղանակներով՝

- օգտագործել ցածր ջերմահաղորդականության գործակցով նյութեր,
- մշակել մոնիտորի մինիատյուր կոնստրուկցիա, որտեղ հնարավոր կլինի տեղադրել մի քանի տասնյակ մկմ տրամաչափով կարճ լարեր,
- տեղադրել մոնիտորը վակուումային խցիկում, ինչը թույլ կտա խուսափել կոնվեկցիոն ջերմահաղորդականությունից:

Բացի դրանից նախատեսվում է կատարել առաջին փորձարկումները մոնիտորի օգտագործման նոր եղանակով, որտեղ տատանվող լարը կօգտագործվի որպես ռեզոնանսային թիրախ: Որպես չափման միջոց անդրադարձված / ցրված մասնիկներ / ֆոտոններ այս մեթոդը թույլ է տալիս օգտագործել (հատուկ գերբարձր արագությամբ կոշտ ճառագայթման ֆոտոդիոդներ և զգայուն ֆոտոէլեկտրոնային ուժեղացուցիչներ): Լարի օգտագործման դերը կայանալու է նրանում, որ չափումները կատարվելու են սինխրոն լարի տատանումների հետ: Այս մեթոդը թույլ է տալիս՝ տարանջատել հիմնական լարից եկող ազդանշանը շրջապատող ֆոնից և զգալի բարելավել սկանների պարամետրերը ոչ տատանվող լարով գործիքների համեմատ:

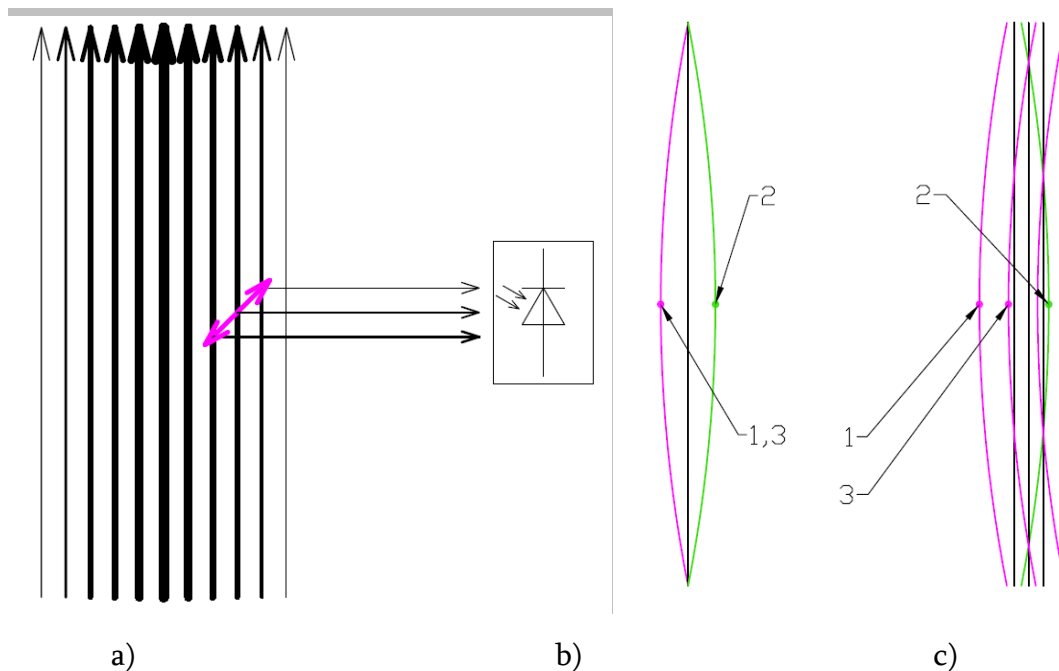
Փնջի սկանավորումը SLU միջոցով պահանջում է հաճախության մի շարք չափումների լարի տարբեր դիրքերում: SLU էլեկտրոնային ս;եման կազմված է երկու հիմնական մասերից՝ լարի տատանումները զրգող գեներատորից և հաճախությունը չափող համակարգից: ս;եմայի գլխավոր մաս է հանդիսանում է PIC18F25xx սերիայի միկրոկոնտրոլերը: Համակարգչին հաղորդակցվելու միջոց է ընտրվել RS232 կամ USB ինտերֆեյսը:

Ստորև նկարագրվում է տատանվող լարն որպես ռեզոնանսային թիրախ օգտագործվելու նոր մեթոդի հիմնական սկզբունքները:

Մեթոդի գաղափարը կայանում է հետևելյալում՝ փնջից լարի վրա ցրված ֆոտոնները չափել սինխրոն լարի տատանումների հետ: Լարի տատանումների բարձր հաճախության շնորհիվ (մի քանի կՀց) ամեն մի սկանի դիրքին պետք է ավելի քիչ, քան 1 մվ ժամանակ, այնպես, որ ամբողջ սկանը կարող է պահանջել ընդամենը մի քանի տասնյակ մվ: Տատանման ընթացքում լարի հակառակ դիրքորոշումներում երկու

հաջորդական չափումների տարբերությունից կազմված դիֆերենցիալ ազդանշանը թույլ է տալիս տարանջատել փնջի պրոֆիլի գրադիենտի ինֆորմացիան առկա բարձր ֆոնից, այդ թվում նաև էլեկտրոնային սխեմայի աղմուկներից: Առաջարկվող սկզբունքը թույլ է տալիս սկանավորել տարբեր տիպի փնջեր, օրինակ նեյտրոններ (տես [11]), պրոտոններ, էլեկտրոններ և իոններ: SLU -ն ջերմային ռեժիմի սկզբունքով օգտագործելու առավելությունը դա հնարավորությունն է լարի մեկ տատանման պարբերության ընթացքում է կատարել երկու չափում Այսպես մի քանի մմ տրամագծով փնջի սկանը կարող է կատարվել 20-50 մվ ընթացքում: Այս տիպի մոնիտորը ստորև մենք կոչելու ենք ՌԹ-SLU (RT-VWS) (Resonant Target - Vibrating Wire Monitor):

Նկ. 1 -ում ներկայացված է տարբեր լայնություն ունեցող անհամասեռ ուղղահայաց գծերով պատկերված չափվող փունջը, որի մեջ տեղադրված է առաջին հարմոնիկայով տատանվող լարը, ուղղված նկարի հարթությանը ուղղահայաց, ընդ որում լարի կենտրոնը շարժվում է պատկերված թեք հատվածի երկայնքով: Անդրադարձալով տատանվող լարից ֆոտոնները շարժվում են հորիզոնական գծերով, որոնց լայնությունը համեմատական է փնջի խտությանը: Ֆոտոնների դեպքում չափումները կատարվում են արագ ֆոտոդիոդով կամ զգայուն ֆոտոէլեկտրոնային ուժեղացուցիչներով: Չափումները անց են կացվում սինխրոն լարի տատանումներին այն պահերին, երբ լարը մաքսիմալ շեղված է միջին դիրքից: Անհրաժեշտ ստորոքակոպիկ ազդանշանը գեներացվում է ավտոգեներատորի սինուսիդից, որը կոմպարատորով փոխակերպվում է ուղղանկյուն ազդանշանի:



Նկ.1: Անհամասեռ փնջի պրոֆիլի չափման սխեմատիկ պատկեր (տարբեր լայնությունների ուղղահայաց գծեր): Փունջը ընկնում են լարի վրա (թեք սեգմենտ, մաջենտ): Լարն ուղղահայաց է նկարի հարթությանը, այդպիսով թեք սեգմենտը պատկերացնում է տատանվող լարի կենտրոնի շարժումը: Անդրադարձված ֆոտոնները (հորիզոնական տարբեր լայնության սլաքեր) չափվում են արագ ֆոտոդիոդով: (b) Սխեմատիկ պատկերում տատանվող լարը մաքսիմալ շեղված է հավասարակշռության դիրքից: (1 - 3 ձախակողմյա չափումներ, 2- աջակողմյան չափում): (c) Սխեմատիկ պատկերում տատանվող լարը շարժվում է դեպի աջ իր մեկ պարբերության ընթացքում, այնպես որ 1 - 3 ձախակողմյան տեղաշարժերը

համեմատական են սկանի արագությանը: Բոլոր պատկերները ոչ իրական սանդղակով են ներկայացված:

Առաջարկված ալգորիթը հիմնված է կիսապարբերական չափումների տարբերության վրա, որը թույլ է տալիս փնջի պրոֆիլը արտահայտող ազդանաշանը տարանջատել ֆոնից: Աղ. 2 ներկայացված են ՌԹ-SLU երկու մոդիֆիկացիաների պարամետրերի բնորոշ արժեքներ

Աղ. 1: Երկու ՌԹ-SLU մոդիֆիկացիաների պարամետրերի բնորոշ արժեքներ

$L$ , mm	$F$ , Hz	$a$ , mm	$2a/F$ , mm/s	$A$ , mm	$V_{MAX}$ , mm/s	$t_s$ , ms	N
40	250 0	0.15	750	3	150	20	100
80	125 0	0.30	750	3	75	40	100

Այստեղ  $L$ -ը տատնվող լարի երկարությունն է,  $F$ -ը լարի տատանման հաճախությունն է,  $a$ -ն տատանվող լարի լայնույթն է,  $2aF$ -լարի տատանման միջին արագությունն է (երկու դեպքում էլ լարի տրամագիծը 0.1 մմ է),  $A$  փնջի չափը,  $V_{MAX}$  սկանի մաքսիմալ արագությունն է,  $t_s$  սկանի մինիմալ ժամանակն է, N չափումների քանակն է մեկ սկանի ընթացքում: Կարճ լարի դեպքում սկանի արագությունն երկու անգամ աճում է:

Մեթոդը հաջողությամբ փորձարկվել է լազերային փնջի վրա [12, 13]:

*Իրականացման եղանակները*

Չափման համակարգի մշակում և պատրաստում

Համակարգի թեստավորում լաբորատոր պայմաններում օգտագործելով լազերային աղբյուրներ և փնջի համարժեք հաստատուն հոսանքի աղբյուրներ,

Վակումային թեստեր լաբորատորիայում

Համակարգի տեղադրում AREAL արագացուցչի վրա

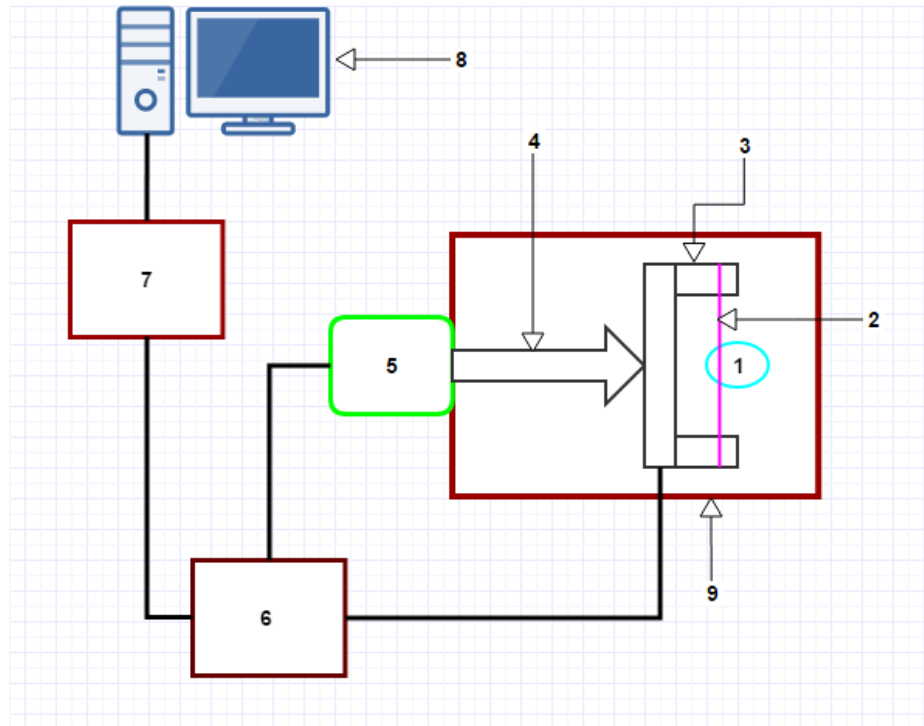
Համակարգի թեստավորում AREAL արագացուցչում, ներառյալ ինտերֆեյսերի ստուգում

Համակարգի փորձարկում AREAL արագացուցչի փնջի վրա

Համակարգի կալիբրում և փաստաթղթային հիմնավորում

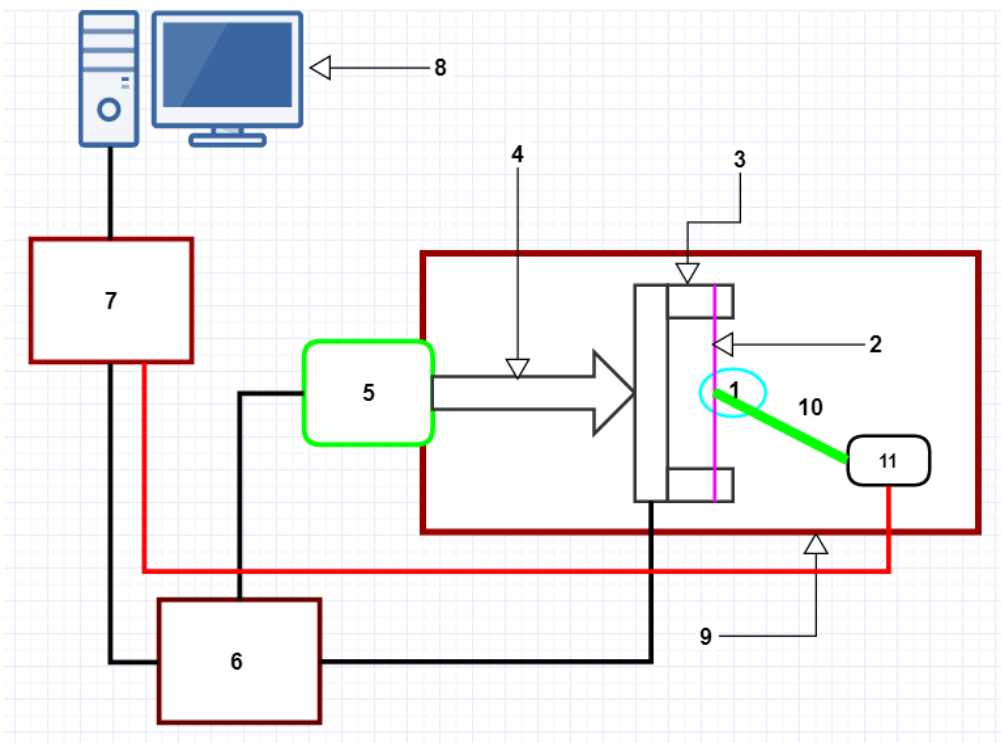
*Փորձերի սխեմա*

SLU-ի շահագործման ջերմային սկզբունքի միջոցով AREAL արագացուցչի փնջի սկաավորումն իրականացնելու նպատակով պլանավորվում է օգտագործել Աղ. 2 -ում պատկերված հետևյալ ընդհանուր սխեման:



Նկ. 3: Տատնվող լարի պրեցիզիոն մոնիտորի միջոցով AREAL արագացուցչի փնջի լայնակի պրոֆիլի չափման սխեմա: 1 - AREAL արագացուցչի փնջի կտրվածք, 2 – տատանվող լար, 3 - SLU, 4 - SLU շարժման մեխանիզմ, 5 - SLU շարժման մեխանիզմի քայլային շարժիչ, 6 - SLU լարի տատանումները գրգռող գեներատորը և քայլային շարժիչի սխեմա, 7 - SLU լարի տատանումների հաճախությունը չափող համակարգ RS232/USB ինտերֆեյսով, 8 - համակարգիչ 9 - հատուկ վակուումային խցիկ:

Ռեզոնանսային սկզբունքով գործող ՌԹ-SLU – ի միջոցով AREAL արագացուցչի փնջի պրոֆիլավորման համար սխեման ներկայացված է նկ.3-ում:



Նկ. 3: Տատնվող լարի պրեցիզիոն մոնիտորի միջոցով AREAL արագացուցչի փնջի լայնակի պրոֆիլի չափման սխեմա տատանվող լարը որպես ռեզոնանսային թիրախ օգտագործելու դեպքում (ՌԹ-SLU): 1 - AREAL արագացուցչի փնջի կտրվածք, 2 – տատանվող լար, 3 - ՌԹ-SLU, 4 - ՌԹ-SLU շարժման մեխանիզմ, 5 - ՌԹ-SLU շարժման մեխանիզմի քայլային շարժիչ, 6 - ՌԹ-SLU լարի տատանումները գրգռող գեներատոր և քայլային շարժիչի համակարգով սխեմա, 7 - ՌԹ-SLU լարի տատանումների հաճախությունը չափող և լարից ցրված ֆոտոնների/մասնիկների հոսքը չափող համակարգ RS232/USB ինտերֆեյսով, 8 - համակարգիչ 9 - հատուկ վակուումային խցիկ, 10 - լարից ցրված մասնիկների/ճառագայթման փունջը, 11 - լարի տատանումների հետ սինխրոն չափման համակարգ (հատուկ գերբարձր արագությամբ կոշտ ճառագայթման ֆոտոդիոդներ կամ զգայուն ֆոտոէլեկտրոնային ուժեղացուցիչներ):

#### *Եռամսյակային փուլերը*

1-2 Բարձր լուծելիության SLU մշակում և պատրաստում (լարի նյութի ընտրություն, հաշվարկներ կապված լարում էլեկտրոնների էներգիայի կորուստների հետ, SLU երկրաչափական չափերի ընտրություն, էլեկտրոնային սխեմայի պատրաստում և ճշգրտում):

2-4 վակուումային խցիկի նախագծում և պատրաստում, գերբարձր վակուումային թեստերի անցկացում

3-4 սկանավորման մեխանիզմի մշակում և պատրաստում, վակուումային խցիկի փորձարկում SLU հետ

5 ամբողջ համակարգի փորձարկում լազերային փնջի վրա, համակարգի կալիբրում օգտագործելով հաստատուն հոսանքի էկվիվալենտ աղբյուրներ

5-6 ամբողջ համակարգի տեղադրում AREAL արագացուցչի վրա, վակուումային թեստավորում

6 համարգի ընդգրկում AREAL արագացուցչի ղեկավարման սենյակի հետ, ինտերֆեյսի ստուգումներ

6-7 համարգի փորձարկում էլեկտրոնային փնջի վրա, արդյունքների մշակում, քննարկում և տպագրում

5 SLU որպես ռեզոնանսային թիրախ օգտագործելու սխեմայի մշակում (ՌԹ-SLU)

5-6 ֆոտոդիոդների փորձարկում էլեկտրոնային փնջի լարի վրա ցրման արդյունքում

7 էլեկտրոնային փնջի ցրման արդյունքում առաջացած մասնիկների/ճառագայթման չափման համար զգայուն ֆոտոէլեկտրոնային ուժեղացուցիչների համակարգի մշակում, պատրաստում և փորձարկում

7-8 լարը որպես ռեզոնանսային թիրախ օգտագործելու մեթոդի առաջին էքսպերիմենտների անցկացում, արդյունքների մշակում, քննարկում և տպագրում

#### *անհրաժեշտ նյութական ռեսուրսները*

- էլեկտրոնային կոմպոնենտներ, միկրոշղթաներ, միկրոկոնտրոլլերներ
- վակուումային խցիկի համար անհրաժեշտ նյութեր և սարքավորումներ
- մեխանիկական կոնստրուկցիաներ պատրաստելու համար անհրաժեշտ նյութեր

#### **3. Խմբի ունեցած ձեռքբերումները և ակնկալվող արդյունքները**

1. էլեկտրոնների փնջերի դիագնոստիկա

Երևանի Ֆիզիկայի ինստիտուտի սինխրոտրոնի ինժեկտորի էլեկտրոնային փնջի վրա անցկացվել էր լիցքավորված մասնիկների փնջերի սկանավորում, որտեղ

ինժեկցված փնջի էներգիան 50 ՄԷվ էր իսկ միջին հոսանքը այդ փորցերում կոլիմացիայից հետո մոտավորապես կազմել էր 10 նԱ [14]:

### 2. Պրոտոնային փնջերի դիագնոստիկա

Մի շարք փորձեր պրոտոնային փնջի հետ SLU-ի օգտագործմամբ կատարվեցին PETRA արագացուցչի վրա DESY գիտահետազոտական կենտրոնում: SLU-ի ունիկալ բնութագրերը թույլ են տալիս չափել պրոտոնային հալոյի տիրույթը: կազմված էր 10 բանջից: Փնջի էներգիան `15 ԳԷվ էր իսկ սկզբնական միջին հոսանքը `15 մԱ [15]: SLU փորձարկվել է Fermilab High Intensity Neutrino Source (HINS) 50 կԷՎ պրոտոնային փնջի վրա [16]. Համասեղ UNIST (Ulsan National Institute of Science and Technology) ) Laboratory of Intense Beam and Accelerator տատանվող լարի մոնտորը կիրառվել է 2016 թ. Korea multi-purpose accelerator complex (KOMAC) մեծ ապերտուրայով պրոտոնի փնջի չափման համար [17]:

### 3. Իոնային փնջեր

Տատանվող լարով մոնիտորը փորձարկվել է էներգո-մասսանալիզատոր EMAL 2 իոնային փնջի վրա: Գրանցվել էր հաճախության էր հաճախության իջեցում 0.15 Հց-ով (սարքի չափման ճշտությունը կազմում էր 0.01 Հց) [9]:

### 4. Կոշտ ռենտգենյան ճառագայթների մոնիտորինգ վակուումում

Կոշտ ռենտգենյան ճառագայթների փնջի չափումները երկու տատանվող լարով մոնիտորի օգնությամբ անցկացվել են APS Argonne National Lab (USA) ֆոտոնների աղբյուրում: Այդպիսի ճառագայթումը թողնում է լարի մեջ միայն իր էներգիայի միայն շատ փոքր քանակ, սակայն SLU բարձր զգայունությունը թույլ տվեց կատարել չափումները: Տեղադրված սարքն հաջողությամբ չափել է APS աղբյուրի ստանդարտ օնդոլյատորի 6.5-19.5 կԷՎ էներգիայով փնջի պրոֆիլը [18, 19]:

### 5. Կոշտ ռենգենյան ճառագայթների մոնիտորինգ օդում

Հինգ տատանվող լարով մոնիտորը մշակվել և փորձարկվել էր APS Argonne National Lab (USA) ֆոտոնների աղբյուրում [20]:

Էլեկտրոնային փնջի պարամետրերը չափվել էր APS ANL սինքրոտրոնի սինցհոտրոնյաին ճառագայթումի միջոցով:

Մոնիտորը տեղակայված էր դիպոլային մագնիսի ֆլանցի վրա, դրսի կողմից: Մոնիտորի հինգ լարերը իրարից տեղաշարժված էին 0.5 մմ -ով, սակայն պտտելով սարքը հորիզոնական առանցքի շուրջ հնարավոր էր լարերի պրոեկցիաների միջև հեռավորությունը չափվող փնջի ուղղությամբ ավելի կրճատել:

Մոնիտորի տեղադրումը օդում թույլ էր տվել մեկ չափման տևողությունը կրճատել մինչև մեկ վարկյան: Մոնիտորի ծայրահեղ զգայունության շնորհիվ, շատ կոշտ ռենտգենյան ճառագայթումը հնարավոր էր չափել նույնիսկ ֆլանցը անցնելուց հետո:

### 6. Նեյտրոնային փնջերի դիագնոստիկա

Նեյտրոնային փնջերի չափումների համար մենք առաջարկել ենք նոր մեթոդ, հիմնված լարի մեջ նեյտրոնների տաքություն արձակելու ունակության վրա [11]: Առաջարկված նոր մոնիտորները ունեն լավ տարածական լուծելիություն, որը պայնամորված է լարի փոքր տրամագծով 10 - 200 մկմ տիրույթում: Առաջարկված է օգտագործել երկու ունիկալ հատկություններ ` ծայերից ամրացված լարի բնական տատանումների հաճախության աննախադեպ զգայունությունը լարի ջերմաստիճանի նակտմամբ և գադոլինիում տարրի որոշ իզոտոպների նեյտրոններ զավթելու մեծ ունակությունը: Պարբերական աղյուսակի բոլոր տարրերի ստաբիլ իզոտոպների միջև



գադոլինիումի 157-րդ իզոտոպը ունի ջերմային նեյտրոնների զավթման ամենամեծ կտրվածքը (257000 բառն): Գադոլինիումի շերտի հաստությունը կազմելու է 1-2 միկրոմետր: Այսպիսի մոնիտորի բնորոշիչ պարամետրորը հետևյալն է՝ նեյտրոնների չափման տիրույթը վակուումային չափումների դեպքում  $8 \times 10^7 - 8 \times 10^{12} \text{ n / cm}^2 / \text{s}$  (արձագանքման ժամանակ 70 մվ) և  $3 \times 10^8 - 3 \times 10^{13} \text{ n / cm}^2 / \text{s}$  (արձագանքման ժամանակ 15 մվ) օդում չափումների համար: Ավելի փոքր ինտենսիվություն ունեցող նեյտրոնների փնջերի համար կարելի օգտագործել ՌԹ-SLՄ տիպի մոնիտորներ գադոլինիումի շերտով պատված լարով:

#### *Նախագծի կատարմուից ակնկալվող արդյունքները*

Առաջարկվող նախագծում պլանավորվում է մշակել տատանվող լարի մոնիտոր գերցածր լուծելիությամբ, որը թույլ կտա չափել պիկոամպերային էլեկտրոնային փնջի պրոֆիլը: Նախատեսվում է այն փորձարկել և կալիբրել լազերային փնջի վրա, և այնուհետև տեղադրել AREAL արագացուցչում հատուկ նախագծված և պատրաստված վակուումային խցիկում: Այդ խցիկում տեղադրվելու է նաև մոնիտորի սքանավորման մեխանիզմը: Խցիկը օժտվելու է երկու ֆլանեցներով, որոնցով ամրագրվելու է արագացուցչի տրակտին: Բացի դրանից խցիկը օժտվելու է հատուկ հատվածախցով, որը թույլ կտա հետազայում նույն խցիկում տեղադրել տատանվող լարի նոր մոդիֆիկացիա, որտեղ տատանվող լարը կոգտագործվի որպես ռեզոնանսային թիրախ: Այդ նոր մեթոդը թույլ կտա մեկ չափման ժամանակը կրճատել մինչև մվ տևողությունների:

Տատանվող լարը որպես ռեզոնանսային թիրախ օգտագործելու համակարգի մշակում և պատրաստում

Ֆոտոդիոդների և ֆոտոէլեկտրոնային ուժեղացուցիչների համակարգերի փորձարկում մասնիկների / ճառագայթման վրա, առաջացած փնջից լարի վրա ցրման արդյունքում:

Տատանվող լարը որպես ռեզոնանսային թիրախ օգտագործելու մեթոդի առաջին էքսպերիմենտների անցկացում, արդյունքների մշակում, քննարկում և տպագրում:

Երկու առաջարկվող մեթոդներն էլ (SLՄ ջերմային սկզբունքով և ՌՏ-SLՄ ) քննարկվել են Candle synchrotron հետազոտական ինստիտուտում: Արդյունքում, Candle SRI- ն իր աջակցությունն է հայտնել այս դիագնոստիկայի ներդրման մեջ AREAL արագացուցիչում, ներառյալ (ALPHA and BETA upgrade) (տես հավելված 1-ում CANDLE-ի աջակցության նամակը):

#### **4. Օգտագործված գրականության ցանկ**

1. IFMIF-EVEDA Beam Instrumentation, Preliminary Design Reviewn1 – IFMIF, Report IN-IF-ACXX-0, 2010.
2. E. Levitchev, Beam dynamics newsletter, 71, 16 (2017).
3. V.M. Tsakanov, G.A.Amatuni, Z.G.Amirkhanian, L.V.Aslyan, V.Sh.Avagyan, V.A.Danielyan, H.D.Davtyan, V.S.Dekhtiarov, K.L.Gevorgyan, N.G.Ghazaryan, B.A.Grigoryan, A.H.Grigoryan, L.S.Hakobyan, S.G.Haroutiunian, M.I.Ivanyan, V.G.Khachatryan, E.M.Laziev, P.S.Manukyan, I.N.Margaryan, T.M.Markosyan, N.V.Martirosyan, Sh.A.Mehrabyan, T.H.Mkrtychyan, L.Kh.Muradyan, G.H. Nikogosyan, V.H.Petrosyan, V.V.Sahakyan, A.A.Sargsyan, A.S.Simonyan, H.A.Toneyan, A.V.Tsakanian, T.L.Vardanyan, A.S.Vardanyan, A.S.Yeremyan, S.V. Zakaryan, G.S.Zanyan, AREAL test facility for advanced accelerator and radiation source concepts, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2016.03.062>.

4. A.A. Sargsyan, G.A. Amatuni, V.V. Sahakyan, G.S. Zanyan, N.W. Martirosyan, V.V. Vardanyan and B.A. Grigoryan, An overview of beam diagnostic and control systems for 50 MeV AREAL Linac, JINST, 2017 IOP Publishing, doi:10.1088/1748-0221/12/03/T03004.
5. V. V. Sahakyan, G. A. Amatuni, A. A. Azatyan, B. A. Grigoryan, N. W. Martirosyan, A. A.Sargsyan, V. M. Tsakanov, G. S. Zanyan, BEAM DIAGNOSTIC AND CONTROL SYSTEMS FOR AREAL 50 MeV LINAC, Proceedings of IPAC2017, Copenhagen, Denmark, pp. 114-116.
6. F. Lemery, P. Piot, G. Amatuni, P. Boonpornprasert, Y. Chen, J. Good, B. Grigoryan, M. Krasilnikov, O. Lishilin, G. Loisch, S. Philipp, H. Qian, Y. Renier, F. Stephan, EXPERIMENTAL DEMONSTRATION OF BALLISTIC BUNCHING WITH DIELECTRIC-LINED WAVEGUIDES AT PITZ, Proceedings of IPAC2017, Copenhagen, Denmark, pp.2857-2860.
7. V.M. Tsakanov, R.M. Aroutiounian, G.A. Amatuni, L.R. Aloyan, L.G. Aslanyan, V.Sh. Avagyan, N.S. Babayan, V.V. Buniatyan, Y.B. Dalyan, H.D. Davtyan, M.V. Derdzyan. B.A. Grigoryan, N.E. Grigoryan, L.S. Hakobyan, S.G. Haroutyunian, V.V. Harutiunyan, K.L. Hovhannesian, V.G. Khachatryan, N.W. Martirosyan, G.S. Melikyan, A.G. Petrosyan, V.H. Petrosyan, A.A. Sahakyan, V.V. Sahakyan, A.A. Sargsyan, A.S. Simonyan, S.Sh. Tatikyan, G.V. Tsakanova, E. Tsovyan, A.S. Vardanyan, V.V. Vardanyan, A.S. Yeremyan, H.N. Yeritsyan, G.S. Zanyan, AREAL Low Energy Electron Beam Applications in Life and Materials Sciences, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, v.829, pp. 248-253, 2016.
8. A.A. Sargsyan, G.A. Amatuni, V.V. Sahakyan, G.S. Zanyan, N.W. Martirosyan, V.V. Vardanyan, B.A. Grigoryan, An overview of beam diagnostic and control systems for 50 MeV AREAL Linac, Journal of Instrumentation, v. 12, 2017.
9. Arutunian S.G. Vibrating wire sensors for beam instrumentation, Beam Instrumentation Workshop, BIW08, (May 4-8, 2008, Lake Tahoe, USA), pp. 1-7.
10. S.G. Arutunian, M.R. Mailian, Kay Wittenburg, Vibrating wires for beam diagnostics, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 572 (2007) 1022–1032.
11. S.G. Arutunian, J. Bergoz, M. Chung, G.S. Harutyunyan, E.G.Lazareva, Thermal neutron flux monitors based on vibrating wire, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 797 (2015), pp. 37-43.
12. S. G. Arutunian, M. Chung, G. S. Harutyunyan, A. V. Margaryan, E. G. Lazareva, L. M. Lazarev, and L. A. Shahinyan, Fast resonant target vibrating wire scanner for photon beam, Review of Scientific Instruments 87, 023108 (2016).
13. M.A. Aginian, J. Alonso, S.G. Arutunian, M. Chung, A.V. Margaryan, E.G. Lazareva, L.M. Lazarev, L.A. Shahinyan, New method in medical tomography based on vibrating wire: bench-test experiment on laser beam, IOP Journal of Physics: Conf. Series 826 (2017) 012016, pp. 1-11
14. Arutunian S.G., Dobrovolski N.M., Mailian M.R., Vasiniuk I.E., Vibrating wire scanner: first experimental results on the injector beam of Yerevan synchrotron, Phys. Rev. Special Topics, Accelerators and Beams, 2003, v. 6, 042801.
15. Arutunian S.G., Bakshetyan K.G., Dobrovolski N.M., Mailian M.R., Soghoyan A.E., Vasiniuk I.E., First experimental results and improvements on profile measurements with the vibrating wire scanner, Proc. DIPAC'2003, (5-7 May, Mainz, Germany 2003), pp.141-143.

16. S.G. Arutunian, A.E. Avetisyan, M.M. Davtyan, G.S. Harutyunyan, and I.E. Vasiniuk, M.Chung, V.Scarpine, Large aperture vibrating wire monitor with two mechanically coupled wires for beam halo measurements, PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS, 17, 032802 (2014), pp. 032802-1...11.
17. М.А. Агинян, С.Г. Арутюнян, D. Choe, M. Chung, Г.С. Арутюнян, S.-Y. Kim, Э.Г. Лазарева, А.В. Маргарян, Прецизионная вневакуумная система мониторинга протонного пучка на базе вибрирующей струны, Armenian Journal of Physics, 2017, vol. 52, issue 2, pp. 151-165.
18. Decker G., Arutunian S., Mailian M., Rosenbaum G., First vibrating wire monitor measurements of a hard x-ray undulator beam at the Advanced Photon Source, DIPAC 2007, pp.36-38.
19. Arutunian S.G., Decker G., Mailian M.R., Rosenbaum G. Transition thermal processes in vibrating wire monitor, DIPAC 2007, pp. 292-294.
20. Decker G., Arutunian S., Mailian M., Vasiniuk I. Hard X-ray synchrotron measurements at the APS with vibrating wire monitor, Beam Instrumentation Workshop, BIW08, (May 4-8, 2008, Lake Tahoe, USA), pp. 36-40.

# Հավելված 1. Աջակցող նամակ CANDLE- ից

«ՔԵՆՂ»  
ՍԻՆՔՐՈՏՐՈՆԱՅԻՆ  
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ  
ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ



CANDLE  
SYNCHROTRON RESEARCH  
INSTITUTE

31 Աճառյան փ., 0040 Երևան,  
Հայաստանի Հանրապետություն  
Հեռ. / ֆաքս. (37410) 629806

31 Acharyan St., 0040 Yerevan,  
Republic of Armenia  
Tel./ fax. (37410) 629806

[www.candle.am](http://www.candle.am)

«ՔԵՆՂ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտի՝ 5 ՄԷՎ փնջի էներգիայով ԱՐԵԱԼ գծային արագացուցիչը հաջողությամբ աշխատում է արդեն մի քանի տարի: Այժմ նախատեսվում է արագացուցիչի մոդերնիզացիան, որի նպատակն է բարձրացնել փնջի էներգիան մինչև 50 ՄԷՎ, և արագացուցիչը համալրել նոր գիտահետազոտական կայաններով (Amplified Light Pulse for High-end Applications - ALPHA and Booster for Emerging Technology Accelerators – BETA): Նշված նախագծերում, որպես փնջի լայնակի պրոֆիլի չափման միջոց, պլանավորված է օգտագործել YAG:Ce սցինտիլյացիոն էկրանների համակարգեր:

Ս. Գ. Հարությունյանի խումբը (Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ) արդեն մի քանի տարի շարունակ մշակում է տատանվող լարով սքաներներ, որոնք ունեն շատ մեծ զգայունություն և կարող են չափել պիկոամպերային փնջերի լայնակի կտրվածքներ: Մեթոդի առավելություններից է նաև, որ այն չի քայքայում չափվող փունջը, և չափումները կարող են կատարվել առցանց ռեժիմով: Վերջին տարիներին խմբի կողմից մշակվել է մեթոդի նոր տարբերակ, որտեղ տատանվող լարը օգտագործվում է որպես թիրախ: Այդ ռեզոնանսային տարբերակը զգալիորեն կրճատում է չափման ժամանակը, սակայն մինչև հիմա փորձարկվել է միայն լազերային փնջերի վրա:

Սույն նամակով հաստատում ենք մեր մեծ հետաքրքրությունը ԱՐԵԱԼ գծային արագացուցիչում տատանվող լարով սքաներների փորձարկման և տեղադրման մեջ.

1. Մեծ զգայունությամբ ջերմային սկզբունքով գործող տատանվող լարով մոնիտոր,

2. Նոր ռեզոնանսային սկզբունքով աշխատող կարճատև չափումներ իրականացնող սքաներ:

Այս երկու տարբերակն էլ կարող են համադրվել գործող և նախագծվող YAG:Ce սցինտիլյացիոն համակարգերի հետ:

Հարգանքներով,  
«ՔԵՆՂ» ՍՀԻ տնօրեն՝

պրոֆ. Վ. Ցավանով