

ՔԵՆԴԼ Սինքրոտրոնային Հետազոտությունների Ինստիտուտ

Տոնեյան Հրաչ Ալբերտի

ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՈՍՊՆՅԱԿԻ ԼՈՒՍԱՄԱԿԱԾՄԱՆ, ՄԻՄԻԼԱՐԻՏՈՆԱՅԻՆ
ԵՎ ՍՈԼԻՏՈՆԱՅԻՆ ՏԻՊԻ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԸ ՖԵՄՏՈՎԱՅՐԿՅԱՆԱՅԻՆ
ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԻՄՊՈՒԼՍՆԵՐԻ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ԵՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ

Ա.04.20 - «Լիցքավորված մասնիկների փնջերի ֆիզիկա և արագացուցչային տեխնիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2018

КЕНДЛ Институт Синхротронных Исследований

Тонеян Грач Альбертович

ПРОЦЕССЫ НАВЕДЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ ЛИНЗЫ, СИМИЛАРИТОН- И
СОЛИТОНОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ РЕГИСТРАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ
ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.20 – “Физика пучков
заряженных частиц и ускорительная техника”.

ЕРЕВАН-2018

Ատենախոսության թեման հաստատված է ՔԵՆԴԼ ՍՀԻ-ում

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Լ. Խ. Սուրադյան (ԵՊՀ, ՔԵՆԴԼ ՍՀԻ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր
Մ. Բ. Իվանյան (ՔԵՆԴԼ ՍՀԻ)
Ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Ռ. Բ. Ալլահվերդյան (ԵՊՀ)

Առաջատար կազմակերպություն՝

Երևանի Պետական Համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2018թ. մայիսի 29-ին ժամը 14.00-ին ՔԵՆԴԼ Մինքրոտրոնային Հետազոտությունների Ինստիտուտում գործող «Լիցքավորված մասնիկների փնջերի ֆիզիկա և արագացուցչային տեխնիկա» ԲՈՀ-ի 021 մասնագիտական խորհրդի նիստում (0040, Երևան, Աճառյան 31):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՔԵՆԴԼ ՍՀԻ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2018թ. ապրիլի 28-ին:

021 մասնագիտական խորհրդի գիտական
քարտուղար, ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու

Գ. Ա. Ամատունի

Тема диссертации утверждена в КЕНДЛ ИСИ

Научный руководитель:

доктор физ.-мат. наук, профессор
Л. Х. Мурадян (ЕГУ, КЕНДЛ ИСИ)

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук
М. И. Иванян (КЕНДЛ ИСИ)
доктор физ.-мат. наук, профессор
Р. Б. Аллахвердян (ЕГУ)

Ведущая организация:

Ереванский Государственный Университет

Защита диссертации состоится 29 мая 2018г. в 14.00 часов на заседании специализированного совета ВАК 021 действующей при КЕНДЛ ИСИ (0040, Ереван, ул. Ачаряна 31).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КЕНДЛ ИСИ.

Автореферат разослан 28 апреля 2018г.

Ученый секретарь спец. совета 021, к.ф.м.н.

Г. А. Аматауни

Աշխատանքի արդիականությունը

Գերկարձ, բարձր պայծառության էլեկտրոնային փնջերի գեներացումը և արագացումը կարևոր խնդիր է արագացուցչային հիմքով հիմնարար և կիրառական հետազոտություններում: Այս խնդիրների լուծման համար առավել խոստումնալից լուծումներն առաջարկում են լազերային տեխնոլոգիաները: Բարձր էներգիաների ֆիզիկայում այդ լուծումները ներառում են կիլվատերային պլազմային արագացուցիչների և ապագայում գծային կոլայդերների համար դիէլեկտրիկ լազերային կոնցեպտների մշակումը: [1-4]: Կիրառական հետազոտություններում լազերային տեխնոլոգիաներով իրագործվում է գերկարձ էլեկտրոնային փնջերի գեներացումը՝ ազատ էլեկտրոնային լազերների համար [5-7]: Կառավարվող պարամետրերով գերարագ լազերները նաև հզոր գործիք են ժամանակակից արագացուցիչներում փնջի պարամետրերի չափման և էլեկտրոնային փնջերի ձևավորման համար [8; 9]:

Բոլոր նշված արագացուցչային տեխնոլոգիաներում սուբպիկովայրկյանային և ֆեմտովայրկյանային ինֆրակարմիր և ուլտրամանուշակագույն լազերային իմպուլսների գեներացումը, կառավարումը և գրանցումը կարևոր խնդիրներ են:

Ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների գրանցման խնդիրը նպաստել է այնպիսի ոլորտների զարգացմանը, ինչպիսիք են՝ ադապտիվ օպտիկան, Ֆուրյե օպտիկան, սպեկտրալ ինտերֆերաչափությունը և այլն: Լազերային ճառագայթման սպեկտրի նեղացումը, կամ սպեկտրալ սեղմումը, որը իրականանում է լուսատարում ոչգծայնության ազդեցության տակ, հետաքրքիր է ազդանշանի գրանցման և կառավարման խնդիրների տեսանկյունից [10; 11]: Գերարագ լազերային ադբյուրները կիրառվում են այնպիսի ոլորտներում, ինչպիսիք են՝ ֆեմտոքիմիան, ֆեմտոքիոլոգիան, գերարագ սպեկտրոսկոպիան, օպտիկական հեռահաղորդակցությունը, ոչ գծային օպտիկան, բիոֆիզիկան, ֆոտոքիմիան և այլն: Այս կիրառություններում անհրաժեշտ են լազերային իմպուլսների գրանցումը և կառավարումը, ամենօրյա աշխատանքի համար: Սպեկտրոնային, սուլտոնային և սիմիլարիտոնային իմպուլսների գեներացումը և ձևավորումը, ինչպես նաև ժամանակակից ոսպնյակի կիրառությունները [12] ապահովում են այս խնդրի որոշ հեռանկարային լուծումներ: Սիմիլարիտոնային իմպուլսները, շնորհիվ իրենց հատկությունների՝ գծային չիրպ, լայն սպեկտր, կիրառվում են գերկարձ իմպուլսների սեղմման, գրանցման և կառավարման խնդիրներում: Սպեկտրոնային իմպուլսները, իրականացնելով ինֆորմացիայի փոխանցումը սպեկտրալ տիրույթից ժամանակակից տիրույթի, օգտագործվում են իրական ժամանակում սպեկտրի գրանցման, և այլ խնդիրներում: Սուլտոնային և սուլտոնանման իմպուլսները լայն կիրառություն ունեն հեռահաղորդակցության, իմպուլսների կառավարման խնդիրներում:

Աշխատանքի նպատակը

Գերկարձ լազերային իմպուլսների գրանցման և կառավարման խնդիրների արդիականությունը, մասնավորապես, իմպուլսի տևողության, տեսքի և փուլի որոշումը, հիմնավորում են ատենախոսական աշխատանքում ներառված փորձարարական և թվային հետազոտությունների կարևորությունը: Աշխատանքի նպատակը ներառել է հետևյալ խնդիրների լուծումը.

- Սպեկտրաժամանակային արտապատկերման երևույթի ուսումնասիրություն՝ ուղղված սարքավորման կոմպակտ, արդյունաբերական նախատիպի մշակմանը:
- Նոր բարձր տեխնոլոգիական սարքերի կիրառմամբ սպեկտրալ սեղմման երևույթի ուսումնասիրություններ:
- Սոլիտոնաձևավորման տիպի երևույթների հետազոտություններ, հատկապես, փորձարարական հետազոտություններ՝ ուղղված սպեկտրալ ինքնասեղմման երևույթի իրագործմանը:
- Միմիլարիտոնային իմպուլսի սպեկտրալ առանձնահատկությունների ուսումնասիրություն՝ նախնական ֆեմտովայրկյանային իմպուլսի դիագնոստիկայի հեռանկարով:
- Սպեկտրոնային (դիսպերսիվ Ֆուրյե փոխակերպման) տիպի երևույթների, հատկապես՝ սպեկտրոնի փուլային առանձնահատկությունների ուսումնասիրություն:

Գիտական նորույթը

Ատենախոսական աշխատանքի գիտական նորույթը արտահայտված է հետազոտություններում ստացված գերարագ օպտիկայի, ֆոտոնիկայի և լազերային ֆիզիկայի հիմնախնդիրների, մասնավորապես՝ գերկարձ իմպուլսների գրանցման և կառավարման տեսանկյունից կարևոր հետևյալ արդյունքներում.

- Ժամանակային ոսպնյակի սխեմայում, որպես դիսպերսիոն հապաղման գիծ օգտագործվել է սնամեջ լուսատար (HCF-800B), պրիզմաների / ցանցերի գույզի փոխարեն: Փորձարարական եղանակով, հաջորդական սխեմայում սնամեջ լուսատարի օգտագործմամբ ստացվել է 8.4 անգամ սպեկտրալ սեղմում: Զուգահեռ սխեմայում գրանցվել է 11 անգամ սպեկտրալ սեղմում և երկգազաթ իմպուլսների սպեկտրաժամանակային արտապատկերում, գումար հաճախության վրա:
- Առաջին անգամ փորձարարական եղանակով ցույց է տրվել սպեկտրալ ինքնասեղմման երևույթը, որը հանդիսանում է իմպուլսի սոլիտոնային ինքնասեղմման անալոգը: Գրանցվել է սպեկտրի 30% նեղացում՝ 150Ֆվ ավտոկորելացիոն տևողությամբ, 800նմ ալիքի երկարությամբ իմպուլսների ինքնագդեցության արդյունքում, սնամեջ լուսատարում (2մ երկարությամբ HCF-800B),

ավտոկորելացիոն տևողության մինչև 1.3պվ աճի հետ մեկտեղ: Ավելի բարձր արդյունավետության սպեկտրալ ինքնասեղմում (~4x) գրանցվել է աղմուկային ճառագայթման համար իրականացված մեր նախնական փորձերում, երկար (600մ) միամող լուսատարում սուպերկոնտինուումի սպեկտրի մի մասի համար:

- Տարբեր տեսքեր և տևողություններ ունեցող իմպուլսների համար, փորձարարական և թվային հետազոտությունների հիման վրա ցույց է տրվել կապը ֆեմտովայրկյանային իմպուլսի տևողության և նրանից ձևավորված ոչ գծային դիսպերսիոն սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայնության միջև: Թվային մոդելավորման միջոցով հետազոտվել են տարբեր տեսքի իմպուլսներ (գաուսյան, սեկանս-հիպերբոլական, ասիմետրիկ, բազմագագաթ և սեղմված իմպուլսներ) տարբեր չիբայերով, և բացահայտվել է ընդհանուր առնչություն կամայական տեսքի իմպուլսի տևողության և նրանից ձևավորված սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայնության միջև: Փորձարարական եղանակով այդ առնչությունը հաստատվել է գաուսյան, երկգագաթ և սեղմված իմպուլսների համար, որոնք տարբեր երկարության դիսպերսիոն հապաղման գծերում ստացել են տարբեր տեսքեր և տևողություններ:
- Թվային մոդելավորման մեթոդներով հետազոտվել է սպեկտրոնի ձևավորման պրոցեսում փուլային ինֆորմացիայի փոխանցումը հաճախայինից ժամանակային տիրույթ, տարբեր սկզբնական իմպուլսների համար: Պրոցեսի իրականացման համար անհրաժեշտ պայմանների բացահայտումն իրագործվել է ասիմետրիկ, երկգագաթ և եռագագաթ իմպուլսների, ինչպես նաև սպեկտրի ամպլիտուդային և փուլային սինուսոիդալ մոդուլացմամբ իմպուլսների և նախնական փուլային ինքնամոդուլացմամբ երկգագաթ իմպուլսների համար:

Կիրառական նշանակությունը

Ատենախոսությունում ներկայացված փորձարարական և թվային հետազոտությունների արդյունքները հետաքրքրություն են ներկայացնում ֆեմտոպիկովայրկյանային լազերային իմպուլսների գրանցման և կառավարման խնդիրներում, ինչը կարող է օգտագործվել հեռահաղորդակցության, գերկարճ իմպուլսների ամբողջական նկարագրման, CARS սպեկտրոսկոպիայում և այլ արդիական խնդիրներում: Ստացված արդյունքները կարևորվում են հատկապես իրենց հեռանկարային կիրառություններով լազերային իմպուլսների դիագնոստիկայի նոր մեթոդների մշակմանը և կատարելագործմանն ուղղված խնդիրներում: Մասնավորապես.

- Մպեկտրալ սեղմման ամբողջովին լուսատարային սարքավորման իրագործումը, շնորհիվ սնամեջ լուսատարի օգտագործման, էապես կրճատում է նրա չափերը: Այս ուղղությամբ հետագա առաջընթացը ակնկալվում է սնամեջ և

միամոդ լուսատարերի զոդմամբ (splicing), մեկ լուսատարում սարքի իրագործման նպատակով: Սպեկտրալ սեղմման այսպիսի ինտեգրալ սարքը հետաքրքրություն է ներկայացնում ժամանակակից տեխնոլոգիական ոլորտներում, ինչպիսիք են՝ սիմիլարիտոնային լազերները, CARS սպեկտրաչափությունը և այլն:

- Միմիլարիտոնային սպեկտրաժամանակային արտապատկերման մեթոդի փորձարարական հետազոտությունները հանգեցրել են լազերային համակարգերի համար դիագնոստիկ սարքի նախատիպի մշակմանը: Ներկա փուլում այն ունի 30x30սմ չափեր և հարմար է օգտագործման մեջ: Ավելին, փորձարարական եղանակով ցույց է տրվել սնամեջ լուսատարով դիֆրակցիոն ցանցերի զույգի փոխարինման հնարավորությունը, ինչն էապես նվազեցնում է սարքավորման ներկա չափերը՝ ավելի հարմար դարձնելով լազերային լաբորատորիայում նրա օգտագործումը: Այն, համեմատած այլընտրանքների, ունի կարգով ավելի ցածր ինքնարժեք, մինչդեռ ապահովում է ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների ուղղակի, բարձր լուծողունակությամբ չափումների հնարավորություն:
- Կապը, իմպուլսի տևողության և նրանից պասիվ միամոդ լուսատարում ձևավորված ոչ գծային-դիսպերսիոն սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայնության միջև, թույլ է տալիս ֆեմտովայրկյանային տիրույթում իմպուլսի տևողության տեխնիկապես բարդ չափումը փոխարինել սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայնության պարզագույն չափմամբ: Քանի որ մեթոդը օգտագործում է միայն միամոդ լուսատար և օպտիկական լաբորատորիայի ստանդարտ սարքավորում, նրա կիրառումը լազերային իմպուլսների դիագնոստիկայի համար էապես պարզ է, մատչելի և հարմար՝ համեմատած այլ մեթոդների:
- Սպեկտրոնի ձևավորման հետևանքով փուլային ինֆորմացիայի փոխանցումը հաճախայինից ժամանակային տիրույթ կարող է կիրառվել ֆեմտովայրկյանային իմպուլսների ամբողջական բնութագրման համար, սպեկտրոնի փուլի չափմամբ՝ գումար հաճախության գեներացման միջոցով: Սպեկտրալ փուլը, գրանցված սպեկտրի հետ մեկտեղ, ամբողջովին բնութագրում է ազդանշանի կոմպլեքս դաշտը: Այսպիսի մոտեցումը այլընտրանքային է սպեկտրալ ինտերֆերաչափային մեթոդներին և սարքավորումներին, որոնք օգտագործվում են ֆեմտովայրկյանային տիրույթում ազդանշանի ամբողջական բնութագրման համար:

Պաշտպանության ներկայացվող դրույթները

1. Անոմալ դիսպերսիայով սնամեջ լուսատարի կիրառմամբ (2մ HCF-800B), որին հաջորդում է ստանդարտ նորմալ դիսպերսիայով միամոդ լուսատարը (1մ 780HP) որպես ոչ գծային միջավայր, իրագործվում է ամբողջովին լուսատարային ժամանակային ոսպնյակի ՓԻՄ սարքավորումը (հաջորդական

սխեմա), ֆեմտովայրկյանային իմպուլսների սպեկտրալ սեղմման համար (8.4 անգամ, 800նմ ալիքի երկարության վրա): Ֆեմտովայրկյանային իմպուլսների սպեկտրաժամանակային արտապատկերման համար նախատեսված սիմիլարիտոնային ժամանակային ոսպնյակի ԳՀԳ սխեմայում (գուգահեռ սխեմա), պրիզմային կամ ցանցային դիսպերսիոն հապաղման գծի նույնպիսի փոխարինումը սնամեջ լուսատարով ևս ապահովում է մեթոդի հաջող գործարկումը:

2. 800նմ կենտրոնական ալիքի երկարությամբ ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների ինքնազդեցությունը սնամեջ լուսատարում (2մ երկարության HCF-800B), ուժեղ անոմալ դիսպերսիայի և թույլ Կեռի ոչզծայնության համակցված ազդեցության պայմաններում, բերում է սպեկտրալ ինքնասեղմմանը (սպեկտրի 30% նեղացում, իմպուլսների ավտոկորելացիոն տևողության 150ֆվ-ից մինչև 1.3պվ աճման դեպքում), սոլիտոնային ինքնասեղմման սպեկտրալ անալոզի տեսական կանխատեսման համապատասխան:
3. Ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների տևողությունը կարելի է որոշել անցկացնելով ճառագայթումը միամող լուսատարով, զեներացնելով նրանում ոչ զծային-դիսպերսիոն սիմիլարիտոն և չափելով նրա սպեկտրալ լայնությունն ու էներգիան:
4. Սպեկտրոնային իմպուլսի ձևավորման պրոցեսում, դիսպերսիայի հեռու դաշտում, ինֆորմացիան (ազդանշանի մոդուլացումը) փոխանցվում է սպեկտրալ տիրույթից դեպի ժամանակային, ոչ միայն ճառագայթման դաշտի ամպլիտուդի, այլև փուլի համար: Արդյունքում, ձևավորվում է իմպուլս, որը վերարտադրում է ինտենսիվության սպեկտրալ բաշխումը, իսկ նրա փուլը՝ սկզբնական սպեկտրալ փուլը (ի հավելումն դիսպերսիայով մակածված պարոլիկ փուլի):

Աշխատանքի ներկայացումը

Աշխատանքի արդյունքները ներկայացվել են OSA Frontiers in Optics (FiO; September 17-21, 2017, Washington D.C, USA; October 17-21, 2016, Rochester, New York, USA; October 18-22, 2015, San Jose, CA, USA; October 19-23, 2014, Tucson, Arizona, USA), 25th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'16; July 11-15, 2016, Yerevan, Armenia), International OSA Network of Students (IONS; July 25-28, 2017, Balvanyos, Romania), International Symposium on Optics and its Applications (OPTICS; July 11-15, 2016, Yerevan-Ashtarak, Armenia; October 1-5, 2015, Yerevan, Armenia) միջազգային գիտաժողովներում, ՔԵՆԴԼ ՍՀԻ և ԵՊՀ ֆիզիկայի ֆակուլտետի օպտիկայի ամբիոնի սեմինարներում:

Հրապարակումները

Աշխատանքի արդյունքները հրապարակված են 15 աշխատանքներում՝ 7 գիտական հոդվածներում և 8 միջազգային գիտաժողովների նյութերում, որոնց ցուցակը բերված է սեղմագրի վերջում:

Աշխատանքի կառուցվածքը և ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլխից և 112 անուն պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 102 էջ, առկա է 45 նկար:

Աշխատանքի համառոտ բովանդակությունը

Ներածությունում ատենախոսության առաջաբանի հետ մեկտեղ ներկայացված են, աշխատանքի հակիրճ նկարագրությունը, հիմնական դրույթները և ատենախոսության թեմայով տպագրությունները:

Առաջին գլուխը նվիրված է ատենախոսության թեմային վերաբերող գրականության լուսաբանմանը: Այդ հիմքով բերված են չլուծված խնդիրները, աշխատանքի նպատակները, գիտական նորույթը և կիրառական նշանակությունը:

Երկրորդ գլխում ներկայացված են ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների սպեկտրալ սեղմման (ՍՍ) և սպեկտրաժամանակային արտապատկերման (ՄԺԱ) փորձարարական հետազոտությունները, որոնցում օգտագործվել է Mira 900F լազերային համակարգը՝ ճառագայթման հետևյալ պարամետրերով. 800նմ ալիքի երկարություն, 100Ֆվ իմպուլսի տևողություն և ~11նմ սպեկտրալ լայնություն:

Գլխի 1-ին պարագրաֆում ներկայացված է ՍՍ դասական մեթոդի փորձարարական հետազոտությունը, որտեղ որպես դիսպերսիոն հապաղման գիծ օգտագործվել է պրիզմաների զույգ: Դիսպերսիոն հապաղման գիծն անցնելուց հետո իմպուլսները անց են կացվել ~90սմ երկարությամբ ստանդարտ միամող լուսատարով: Դիսպերսիոն հապաղման գծի բացասական դիսպերսիայով մակածված փուլը մարվել է փուլային ինքնամոդուլացման ոչ գծային պրոցեսում, որի արդյունքում ստացվել է 12,3 գործակցով սպեկտրալ սեղմում: Այս դեպքում սեղմված սպեկտրն ունի աբերացիաներ:

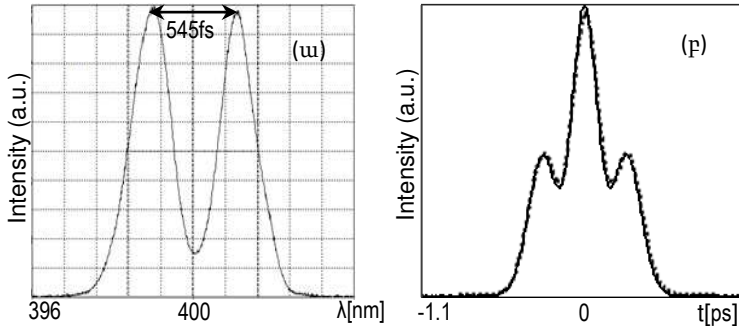
Գլխի 2-րդ պարագրաֆում ներկայացված է ՍՍ ամբողջովին լուսատարային մեթոդը: Այս դեպքում դիսպերսիոն հապաղման գծի պրիզմաների զույգը փոխարինվել է սնամեջ լուսատարով (2մ երկարությամբ HC-800B), որը լազերի ճառագայթման ալիքի երկարության վրա ունի բացասական դիսպերսիա: Սնամեջ լուսատարի միջով անցնելուց հետո իմպուլսները անցել են ~90սմ երկարությամբ ստանդարտ միամող լուսատարի միջով, 8.4 անգամ ՍՍ արդյունքով: Սնամեջ լու-

սատարի բարձր կարգի դիսպերսիան բերել է սեղմված սպեկտրի մեջ ավելի ընդ-
գծված աբերացիաների, քանի որ փուլը լրիվ չի մարվել փուլային ինքնամոդու-
լացման պրոցեսում: Այս սխեման կարող է բարելավվել սնամեջ և միամոդ լուսա-
տարերի գոդման միջոցով:

Գլխի 3-րդ պարագրաֆը նվիրված է ՄՍ սիմիլարիտոնային մեթոդի ուսումնա-
սիրություններին: Այս մեթոդում ճառագայթումը նախ բաժանվում է երկու մասի՝
20% և 80% հզորությունների հարաբերակցությամբ: Փոքր հզորությամբ փունջն
անցնում է դիսպերսիոն հապաղման գծով, բաղկացած՝ իրարից 3.5 մ հեռավորու-
թյան վրա տեղադրված պրիզմաների գույզից և հետադարձ հայելուց: Մեծ հզորու-
թյամբ փունջն անցել է ~1.65 մ երկարությամբ միամոդ լուսատարով, որտեղ զենե-
րացվել է ոչ գծային-դիսպերսիոն սիմիլարիտոն՝ լայն սպեկտրով և գծային դրա-
կան չիրպով: Այնուհետև երկու փնջերը BBO բյուրեղում զենեբացնում են գումար
հաճախության ճառագայթում: Այս պրոցեսում երկու կոմպլեքս դաշտերը բազ-
մապատկվում են և արդյունաբար իմպուլսի ժամանակային տեսքը կրկնում է
դիսպերսված իմպուլսի սպեկտրալ տեսքը: Քանի որ դիսպերսված իմպուլսը և սի-
միլարիտոնը ունեն բացասական և դրական գծային չիրպեր, երկու իմպուլսների
չիրպերը մարում են միմյանց, և իրականանում է ՄՍ: Մեր փորձում ստացվել է
23.3 անգամ ՄՍ երկրորդ հարմոնիկի ալիքի երկարության վրա: ՄՍ այս մեթոդը
զերծ է աբերացիաներից, քանի որ սիմիլարիտոնի գծային չիրպը մեծ ճշտությամբ
մարում է դիսպերսված իմպուլսի չիրպը: Մեթոդը թույլ է տալիս կատարել նաև
հաճախային վերալարում՝ փոխազդող իմպուլսների միջև ժամանակային հա-
պաղման կառավարմամբ:

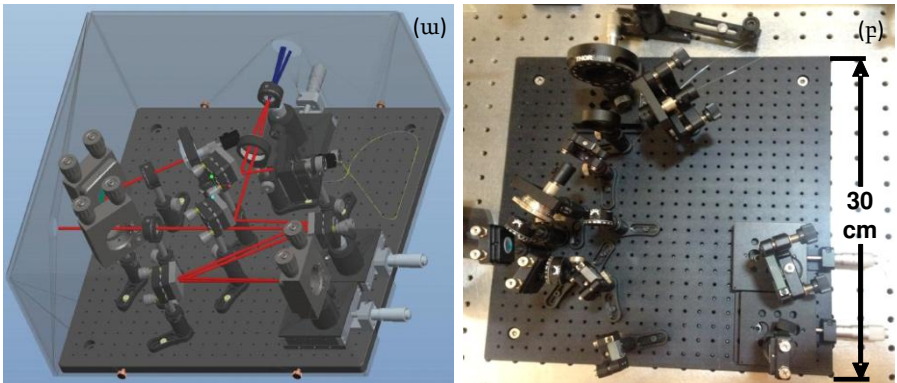
Գլխի 4-րդ պարագրաֆում ներկայացված են ՄԺԱ հետազոտություններ՝ ուղ-
ղված ՄՍ սարքի կոմպակտ նախատիպի ստեղծմանը: ՄՍ սիմիլարիտոնային մե-
թոդը կատարում է Ֆուրյե արտապատկերում և աբերացիաներից զերծ ՄԺԱ.
Ֆեմտովայրկյանային իմպուլսի տեսքը ժամանակային տիրույթից փոխանցվում է
սպեկտրալ տիրույթ, հնարավոր դարձնելով նրա գրանցումը սպեկտրումետրով:
Մեթոդը փորձարկվել է երկգազաթ և բազմագազաթ իմպուլսների համար: Նկ. 1-
ում բերված է երկգազաթ իմպուլսի ՄԺԱ պատկերը (ա) և իմպուլսի չափված ավ-
տոկորելացիոն ֆունկցիան՝ ՄԺԱ պատկերի ավտոկորելացիայի հետ (բ): Վերջին
երկուսի համեմատությունը ցույց է տալիս նրանց քանակական համապատաս-
խանությունը: Այնուհետև ներկայացվել են սարքավորման չափերի նվազեցման
ուղղված հետազոտություններ, սարքավորման կոմբեցիալ նախատիպի ստեղծ-
ման նպատակով: Դրա համար սխեմայի դիսպերսիոն համաղման գծի պրիզմա-
ների գույզը փոխարինվել է դիֆրակցիոն ցանցերով և օգտագործվել է իմպուլսնե-
րի լուսատար մուտքի կոմպակտ համակարգ: Արդյունքում հաջողվել է սարքի չա-
փերը նվազեցնել մինչև 30սմx30սմ: Նկ. 2-ում ցուցադրված են սարքավորման
եռաչափ գծագիրը (ա) և սարքավորման փորձարարական սխեման (բ): Սարքա-
վորման չափերի հետագա նվազեցման համար կատարվել են փորձարարական
հետազոտություններ, որոնց նպատակն է դիսպերսիոն հապաղման գիծը կազմող

դիֆրակցիոն ցանցերի զույգի փոխարինումը սնամեջ լուսատարով: Այդ նպատակով փորձարկվել է ՄՄ ամբողջովին լուսատարային սիմիլարիտունային մեթոդը,



Նկ. 1. Երկգագաթ իմպուլսի սպեկտրալ ժամանակային արտապատկերման փորձարարական արդյունքները (ա) և ավտոկորելացիոն տեսքերի համեմատությունը (բ):

որում սնամեջ լուսատարը օգտագործվում է որպես բացասական դիսպերսիայով միջավայր և միամող լուսատարը՝ որպես սիմիլարիտունի գեներացման միջավայր: Գրանցվել է 11 անգամ ՄՄ որոշ աբերացիաներով՝ պայմանավորված սնամեջ լուսատարի դիսպերսիայի բարձր կարգերով: Այնուհետև իրագործվել է երկգագաթ իմպուլսների ՄՄ: Այս սխեմայում երկու լուսատարերի գոդումը կարող է հանգեցնել ՄՄ սարքավորման չափերի զգալի նվազեցման:

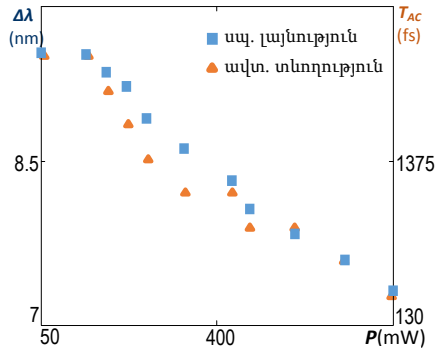


Նկ. 2. Սպեկտրալ ժամանակային արտապատկերման սարքի եռաչափ գծագիրը (ա) և սարքավորման փորձարարական սխեման (բ):

Երրորդ գլուխը նվիրված է սպեկտրալ ինքնասեղմման (ՄԻՄ) փորձարարական հետազոտություններին և երևույթի առաջին իրագործմանը: Թվային հետազոտությունները ցույց են տալիս ՄԻՄ պրոցեսի առնչությունը բարձր կարգի սուլիտունային երևույթներին:

Գլխի 1-ին պարագրաֆում բերված է բացասական կորությամբ սնամեջ լուսատարի երկրորդ կարգի դիսպերսիայի գործակցի չափումը:

Գլխի 2-րդ պարագրաֆը նվիրված է ՄԻՄ երևույթի փորձարարական հետազոտություններին և նրա առաջին իրագործմանը: ՄԻՄ իրականացման համար որպես ճառագայթման աղբյուր օգտագործվել է Verdi V10-Mira 900F լազերային համակարգը: ՄԻՄ երևույթը պահանջում է ուժեղ անոմալ դիսպերսիա և թույլ ոչգծայնություն: Փորձում օգտագործվել է սնամեջ լուսատար, որն ունի բացասական դիսպերսիա 800նմ ալիքի երկարության տիրույթում: Լազերային իմպուլսները անցել են 2մ երկարությամբ սնամեջ լուսատարով, և ելքում դիտվել է 30% սպեկտրի լայնության նվազում, առավելագույն հզորության դեպքում: Հզորությունը կառավարվել է նեյտրալ ֆիլտրով՝ սնամեջ լուսատարի մուտքում: Նկ. 3-ում բերված են չափված սպեկտրալ լայնության և ավտոկորելացիոն տևողության կախվածությունները ճառագայթման հզորությունից: Այն ցույց է տալիս ՄԻՄ ոչ գծային բնույթը, քանի որ սպեկտրալ լայնության արժեքը կախված է հզորությունից: ՄԻՄ փոքր արժեքն այստեղ պայմանավորված է լուսատարի անբավարար երկարությամբ: Կատարվել է նաև ՄԻՄ փորձարարական ուսումնասիրություն սովորական լուսատարում: Amplitude Systems լազերային համակարգի հզոր ճառագայթմամբ (1030նմ ալիքի երկարություն, 400Ֆվ իմպուլսի տևողություն) YAG բյուրեղում գեներացվել է սուպերկոնտինուում, որից զտվել է 1300նմ-ից բարձր սպեկտրալ տիրույթը: Այս աղմուկային սպեկտրը 600մ երկարությամբ միամող լուսատարում ինքնասեղմվել է ~4 անգամ:

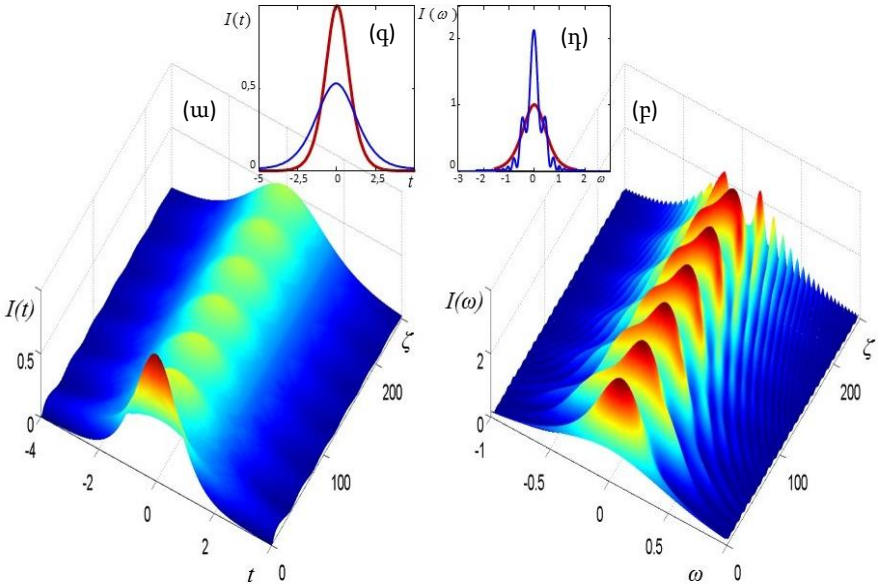


Նկ. 3. Սնամեջ լուսատարում ՄԻՄ փորձարարական արդյունքները՝ սպեկտրալ լայնությանը (քառակուսիներ) և ավտոկորելացիոն տևողությանը (եռանկյուններ) կախված հզորությունից:

Սնամեջ լուսատարի մուտքում: Նկ. 3-ում բերված են չափված սպեկտրալ լայնության և ավտոկորելացիոն տևողության կախվածությունները ճառագայթման հզորությունից: Այն ցույց է տալիս ՄԻՄ ոչ գծային բնույթը, քանի որ սպեկտրալ լայնության արժեքը կախված է հզորությունից: ՄԻՄ փոքր արժեքն այստեղ պայմանավորված է լուսատարի անբավարար երկարությամբ: Կատարվել է նաև ՄԻՄ փորձարարական ուսումնասիրություն սովորական լուսատարում: Amplitude Systems լազերային համակարգի հզոր ճառագայթմամբ (1030նմ ալիքի երկարություն, 400Ֆվ իմպուլսի տևողություն) YAG բյուրեղում գեներացվել է սուպերկոնտինուում, որից զտվել է 1300նմ-ից բարձր սպեկտրալ տիրույթը: Այս աղմուկային սպեկտրը 600մ երկարությամբ միամող լուսատարում ինքնասեղմվել է ~4 անգամ:

Գլխի 3-րդ պարագրաֆում բերված են երևույթի թվային հետազոտությունները արդյունքները, հիմնված՝ Շրեդինգերի ոչ գծային հավասարման լուծման վրա: Նկ. 4-ի եռաչափ պատկերները ցույց են տալիս երևույթի պարբերական բնույթը, ինչն ասոցացվում է բարձր կարգի սոլիտոնների ձևավորման հետ: Նկ. 4(ա, բ)-ում պատկերված են իմպուլսի և սպեկտրի դինամիկան լուսատարում տարածման ընթացքում: Իմպուլսը և սպեկտրը ունենում են պարբերական սեղմման և լայնացման փուլեր, որոնք իրար նկատմամբ հակափուլ են: Նկ. 4(գ, դ)-ում պատկերված են իմպուլսն ու սպեկտրը՝ պրոցեսի առաջին պարբերության հաստատվածում: Այստեղ առկա է 3 անգամ սպեկտրալ ինքնասեղմում: Ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ սպեկտրալ ինքնասեղմման մաքսիմալ չափը ավելի մեծ է ոչգծայնության R պարամետրի ավելի փոքր արժեքների դեպքում: Նաև կատարվել է

Է աղմուկային ազդանշանի սպեկտրալ ինքնաստեղմման երևույթի թվային մոդելավորում: Հետազոտությունների նախնական արդյունքները հուսադրող են ՄԻՍ պրոցեսում աղմուկային իմպուլսի ինքնամաքրման տեսանկյունից:



Նկ. 4. Սպեկտրալ ինքնաստեղմման երևույթի եռաչափ քարտեզը. (ա)-ում պատկերված է իմպուլսի տարածումը, (բ)-ում՝ սպեկտրը իմպուլսի տարածման ընթացքում, (գ, դ)-ում՝ իմպուլսն ու սպեկտրը համապատասխանաբար, սպեկտրալ ինքնաստեղմման առաջին պարբերության հատվածում:

Չորրորդ գլխում ներկայացված են սիմիլարիտոնի սպեկտրի և սպեկտրոնի փուլի հետազոտությունները: Սիմիլարիտոնի սպեկտրի հետազոտություններն ուղղված են ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների տևողության որոշման նոր մեթոդի մշակմանը, որպես այլընտրանք ավտոկորելացիոն մեթոդի: Սպեկտրոնի փուլի հետազոտությունների նպատակն է սպեկտրոնի ձևավորման պրոցեսի առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունը, մասնավորապես՝ փուլային ինֆորմացիայի տեղափոխումը ժամանակայինից սպեկտրալ տիրույթ:

Գլխի 1-ին պարագրաֆում բերված է ոչ գծային դիսպերսիոն սիմիլարիտոնի սպեկտրալ առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունը, մասնավորապես՝ նրա սպեկտրի լայնության կախվածությունը սկզբնական իմպուլսի տևողությունից: Թվային հետազոտությունները ցույց են տվել, որ սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայնության և սկզբնական իմպուլսի տևողության միջև առնչությունն ունի հետևյալ պարզ տեսքը՝ $\Delta\omega \sim \sqrt{P/\Delta t_0}$, որտեղ $\Delta\omega$ -ն սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայ-

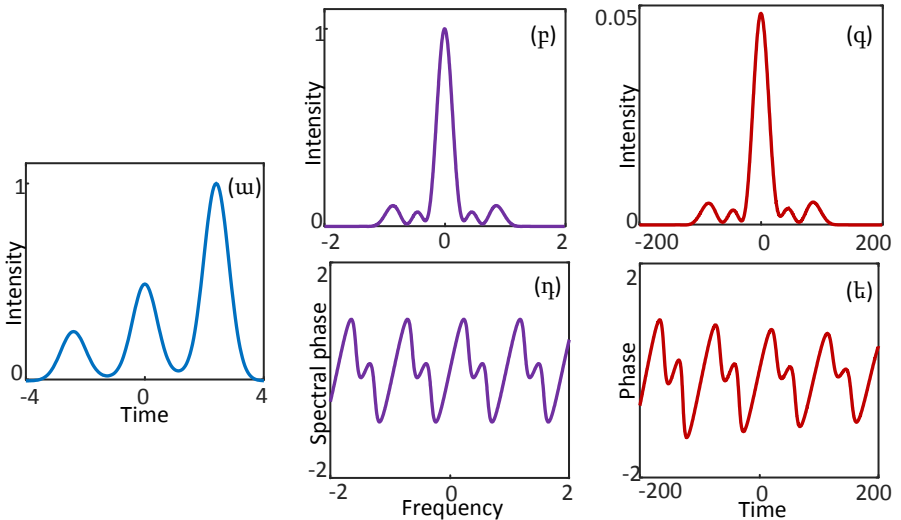
նությունն է՝ հիմքում, \bar{P} -ն՝ ճառագայթման միջին հզորությունը, իսկ Δt_0 -ն՝ իմպուլսի սկզբնական տևողությունը՝ կիսաբարձրության վրա: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ այս առնչությունը ճիշտ է գանգակաձև իմպուլսների համար: Փորձերն իրականացվել են 150Ֆվ-ից 550Ֆվ ավտոկորելացիոն տևողությամբ գաուսյան իմպուլսների համար: Տարբեր տևողության իմպուլսներ ստանալու համար լազերային իմպուլսները երկարացվել են պրիզմաների գույզից բաղկացած դիսպերսիոն հապաղման գծում: Ավտոկորելացիոն տևողության գրանցումից հետո, ճառագայթումն անց է կացվել միամող լուսատարով, որտեղ գեներացվել է ոչ գծային-դիսպերսիոն սիմիլարիտոնը: Լուսատարի ելքում գրանցվել է սպեկտրը և ճառագայթման միջին հզորությունը: Նաև կատարվել է սիմիլարիտոնի գրանցում օսցիլոգրաֆով, գեներացնելով այն 600մ երկարությամբ միամող լուսատարում: Այս դեպքում սիմիլարիտոնի տևողությունը նանովայրկյանային տիրույթում է և այն ուղիղ համեմատական է սպեկտրալ լայնությանը: Սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայնության և տևողության չափումները համապատասխանության մեջ են տեսական կանխատեսման հետ: Թվային մոդելավորմամբ ցույց է տրված նաև սիմիլարիտոնի սպեկտրի և սկզբնական իմպուլսի միջև ընդհանուր առնչություն՝ կամայական տեսքի իմպուլսների համար: Այս առնչությունը ունի հետևյալ տեսքը՝ $\sigma_\omega \sim \sqrt{\bar{P}/\sigma_t}$, որտեղ σ_ω -ն և σ_t -ն համապատասխանաբար սիմիլարիտոնի սպեկտրի և նախնական իմպուլսի միջին քառակուսային շեղումներն են: Փորձարարական եղանակով այս առնչությունը ցույց է տրվել երկզագաթ և սեղմման ենթարկված իմպուլսների համար, որոնք ունեցել են տարբեր տևողություններ, տեսքեր և չիրպեր: Երկզագաթ իմպուլսների ձևավորման համար լազերային փնջի մի մասն անց է կացվել միկրոսկոպի բարակ ապակու միջով, բերելով ժամանակային հապաղմանը: Երկզագաթ իմպուլսները այնուհետև անցել են պրիզմաների գույզից կազմված տարբեր երկարությունների դիսպերսիոն հապաղման գծով, որի արդյունքում ստացվել են տարբեր տևողության և տեսքերի իմպուլսներ: Բնտենսիվության ավտոկորելացիոն ֆունկցիայի գրանցումից հետո իմպուլսները անցել են միամող լուսատարով, որում ձևավորվել է ոչ գծային-դիսպերսիոն սիմիլարիտոն: Լուսատարի ելքում գրանցվել են ճառագայթման սպեկտրը և միջին հզորությունը: Սիմիլարիտոնի գրանցված սպեկտրի միջին քառակուսային շեղման կախվածությունը գրանցված ավտոկորելացիոն ֆունկցիայի միջին քառակուսային շեղման արմատի հակադարձ մեծությունից գծային է: Այս արդյունքը լավ համապատասխանության մեջ է լազերային իմպուլսների համար իրականացված նմանատիպ փորձի արդյունքների հետ: Սեղմման ենթարկված իմպուլսների համար մեթոդի փորձարկման համար նախ հավաքվել է իմպուլսների սեղմիչ՝ բաղկացած ~40սմ երկարությամբ միամող լուսատարից և հաջորդող դիֆրակցիոն ցանցերի գույզից կազմված դիսպերսիոն հապաղման գծից, որում իմպուլսները սեղմվել են մինչև ~64Ֆվ ավտոկորելացիոն տևողությունը (~3 անգամ): Այնուհետև սեղմված իմպուլսները անց

են կացվել երկրորդ լուսատարով, որում գեներացվել է ոչ գծային-դիսպերսիոն սիմիլարիտոն: Դիֆրակցիոն ցանցերի հեռավորությունը փոփոխվել է տարբեր տևողության և տեսքի իմպուլսներ ստանալու համար: Իմպուլսների սեղմիչից հետո ճառագայթման հզորությունը խիստ նվազել է և սիմիլարիտոնի գեներացման համար օգտագործվել է ֆոտոնային բյուրեղական լուսատար (LMA-5), որում ոչ գծայնությունն ավելի ուժեղ է արտահայտվում, քան սովորական միամող լուսատարերում: Փորձի արդյունքում ստացված սիմիլարիտոնի սպեկտրի միջին քառակուսային շեղման կախվածությունը սեղմված իմպուլսի ավտոկորելացիայի միջին քառակուսային շեղման արմատի հակադարձ մեծությունից գծային է, թվային հաշվարկներին համապատասխան:

Գլխի 2-րդ պարագրաֆում ներկայացված է գերկարճ լազերային իմպուլսների տևողության չափման սիմիլարիտոնային մեթոդը՝ հիմնված նախորդ պարագրաֆում բերված ուսումնասիրությունների վրա: Մեթոդը ներառում է սիմիլարիտոնի գեներացումը պասիվ միամող լուսատարում և նրա միջին հզորության և սպեկտրի գրանցումը, կամ, երկար լուսատարի դեպքում, սիմիլարիտոնի տևողության չափումը օսցիլոգրաֆով: Իմպուլսի տևողությունը հաշվվում է օգտվելով հետևյալ բանաձևից՝ $\Delta t_0 \sim \bar{P} / \Delta \omega_{sm}^2$, որտեղ Δt -ն սկզբնական իմպուլսի տևողությունն է, \bar{P} -ն՝ ճառագայթման միջին հզորությունը, և $\Delta \omega_{sm}$ -ն՝ սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայնությունն է (հիմքում): Բարդ տեսքի իմպուլսների տևողության չափման համար Δt_0 -ի և $\Delta \omega_{sm}$ -ի փոխարեն օգտագործվում են համապատասխանաբար սկզբնական իմպուլսի և սիմիլարիտոնի սպեկտրի միջին քառակուսային շեղումները: Փորձի արդյունքները քանակական համապատասխանության մեջ են թվային հաշվարկների հետ:

Գլխի 3-րդ պարագրաֆում ներկայացված են սպեկտրոնային իմպուլսների փուլային առանձնահատկությունների թվային հետազոտությունները: Ցույց է տրված, որ սպեկտրոնի ձևավորմամբ ինֆորմացիան տեղափոխվում է սպեկտրալից ժամանակային տիրույթ ոչ միայն ճառագայթման դաշտի ամպլիտուդի, այլև փուլի համար: Թվային հետազոտություններն իրականացվել են տարբեր իմպուլսների համար: Սպեկտրոնի ձևավորման համար անհրաժեշտ դիսպերսիոն միջավայրի նվազագույն երկարությունը հետազոտվել է զանազան սկզբնական իմպուլսների համար, ինչպիսիք են 4-րդ կարգի սուպերգաուսյան, ասիմետրիկ, երկգագաթ և եռագագաթ իմպուլսները: Նկ. 5-ում ցույց է տրված եռագագաթ իմպուլսից (ա) սպեկտրոնի ձևավորումը ինտենսիվությունների (բ, գ) և փուլերի (դ, ե) տեսանկյունից, երբ միջավայրի անչափ երկարությունը $\zeta = 100$ է (ζ -ն նորմավորված L_D դիսպերսիոն երկարության վրա): Ուսումնասիրվել է նաև սպեկտրոնային իմպուլսների ձևավորումը՝ սպեկտրի սինուսոիդալ ամպլիտուդային և փուլային մոդուլացմամբ իմպուլսներից: Ցույց է տրվել, որ երկու դեպքում էլ սպեկտրոնի ձևավորման համար պահանջվող դիսպերսիոն միջավայրի մինիմալ երկարության կախվածությունը մոդուլացման ամպլիտուդից պարաբոլական է: Հետա-

գրտվել է նաև սկզբնական փուլային ինքնամոդուլացմամբ երկգագաթ իմպուլսներից սպեկտրոնի ձևավորումը: Թվային հաշվարկներում դիտարկված իմ պուլսի



Սլ. 5. Եռագագաթ իմպուլսից (ա) սպեկտրոնի ձևավորումը: Այստեղ (p)-ն և (q)-ն սպեկտրը և սպեկտրոնային իմպուլսն են, իսկ (r)-ն և (t)-ն սկզբնական սպեկտրալ փուլը և սպեկտրոնի փուլը:

գագաթները ունեցել են 1:10 հարաբերություն, իսկ նրանց միջև հեռավորությունը 2.5 անգամ գերազանցել է առանձին իմպուլսի տևողությունը: Այս դեպքում սպեկտրոնային իմպուլսի փուլը կրկնել է նախնական իմպուլսի սպեկտրալ փուլը դիսպերսիոն միջավայրի $\zeta=70$ անչափ երկարության վրա:

References

1. W.P. Leemans et al., Phys. Rev. Lett. 113 (24) (2014)
2. D. Powers et al., Nat. Photonics 8, (2014) 28–31
3. E.A. Nanni, et al, Nature Communications 6, 8486 (2015).
4. R. Joel England et al., “Dielectric laser accelerators”, Rev. Mod. Phys. 86, 1337 (2014).
5. V. M. Tsakanov et al, “AREAL test facility for advanced accelerator and radiation source concepts”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 829, 284–290 (2016).
6. T.Shintake et al., “A compact free-electron laser for generating coherent radiation in the extreme ultraviolet region”, Nature Photonics 2, 555-559 (2008).
7. Z. Huang et al., Physical Review Special Topics: Accelerators and Beams. 10: 034801 (2007).
8. I. Agapov et al., Phys. Rev. ST 10 (2007) 112801.
9. S. Antipov et al., Phys. Rev. Lett. 111, 134802 (2013).
10. L.Kh. Mouradian et al., IEEE J. Quantum Electron. 36, 795-801 (2000).
11. L.Kh.Mouradian, et al., Proc. SPIE 3418, 78-85 (1998).
12. L.Mouradian and A.Barthelemy. “Nonlinear-Dispersive Similaritons of Passive Fibers: Applications in Ultrafast Optics” Chapter 6 in “Shaping Light in Nonlinear Optical Fibers” Ed. S. Boscolo and Ch. Finot ©2017 John Wiley & Sons Ltd.

List of publications

1. H.Toneyan, A.Zeytunyan, R.Zadoyan, and L.Mouradian “Classic, all-fiber, and similaritonic techniques of spectral compression”, *Journal of Physics: Conference Series* 672 012016 (2016).
2. H.Toneyan, “Experimental Techniques of Spectral Compression of Femtosecond Radiation”, *Armenian Journal of Physics*, 10 (3), pp. 108-111 (2017).
3. H.Toneyan, M.Sukiasyan, A.Zeytunyan, V.Tsakanov and L.Mouradian, “Designing the femtosecond optical oscilloscope”, *Journal of Physics: Conference Series* 673 012016 (2016).
4. V.M.Tsakanov, et al. "AREAL Test Facility for Advanced Accelerator and Radiation Source Concepts", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 829, pp. 284-290 (2016).
5. A.N.Kolyadin, G.K.Alagashev, A.D.Pryamikov, L.Mouradian, A.Zeytunyan, H.Toneyan, A.F.Kosolapov, I.A.Bufetov, “Negative curvature hollow-core fibers: dispersion properties and femtosecond pulse delivery”, *Physics Procedia*, vol.73, pp.59 – 66 (2015).
6. H.Toneyan, K.Manoukyan, M.Sukiasyan, A.Kutuzyan, L.Mouradian, “Spectral Characteristics of Nonlinear-Dispersive Similariton Generated in Single-Mode Fiber without Gain”, *Armenian Journal of Physics*, 10 (4). pp. 192-198 (2017).
7. Н.Карапетын, Г.Тонеян, А.Кутузян, М.Сукиасян, В.Аветисян, Д.Гулкян, К.Апресян, Л.Мурадян, “Численное Исследование Процесса Формирования Спектрона: Фазовые Особенности”, *Известия НАН Армении, Физика*, т.53, No2, с.173–180 (2018).
8. H.Toneyan, A.Zeytunyan, L.Mouradian, V.Tsakanov, F.Louradour, A.Barthelemy, R.Zadoyan, “8x, 12x, and 23x Spectral Compression by All-Fiber, Classic, and Similaritonic Techniques” *Frontiers in Optics (FiO) 2014, FW4D.5* (October 19-23, 2014, Tucson, Arizona, USA).
9. H.Toneyan, M.Sukiasyan, A.Zeytunyan, V.Tsakanov and L.Mouradian, “Designing the Femtosecond Optical Oscilloscope”, *3rd International Symposium on Optics and its Applications*, p.108 (oral presentation, 1-5 October, 2015, Yerevan, Armenia).
10. L.Mouradian, A.Grigoryan, A.Kutuzyan, G.Yesayan, M.Sukiasyan, H.Toneyan, A.Zeytunyan, A.Barthelemy, “Spectral Analogue of the Soliton Effect Compression: Spectral Self-Compression” *Frontiers in Optics (FiO) 2015, FW3F.3* (October 18-22, 2015, San Jose, CA, USA).
11. H.Toneyan, M.Sukiasyan, V.Avetisyan, A.Kutuzyan, A.Yeremyan, and L.Mouradian, "Solitonic Self-Spectral Compression of Noisy Supercontinuum Radiation"- *Frontiers in Optics 2016, OSA Technical Digest, Rochester, New York, United States, 17–21 October, JW4A.44* (2016).
12. K.Manoukyan, H.Toneyan, A.Zeytunyan, and L.Mouradian, "Simple Similaritonic Alternative to the Autocorrelation Technique for Determination of Femtosecond Laser Pulse Duration"- *25th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'16)*, Yerevan, Armenia, July 11-15, P.S8.4 (2016).
13. N.Karapetyan, H.Toneyan, A.Kutuzyan, and L.Mouradian- "Spectron's phase peculiarities: numerical study"- *5th International Simp. Optics & its applications, 25-28 July, 2016 Yerevan-Ashtarak, Armenia July 11-15, p. 113* (2016).
14. K.Manoukyan, M.Sukiasyan, H.Toneyan, A.Zeytunyan, and L.Mouradian, "Simple Diagnostics of Femtosecond Pulses by the Use of Nanosecond Oscilloscope"- *Frontiers in Optics 2017, OSA Technical Digest, Washington D.C, United States, 17–21 September, JTU3A.62* (2017).
15. N. Karapetyan, H. Toneyan, A. Kutuzyan, L. Mouradian, “Numerical analysis of spectron phase peculiarities”, *IONS Balvanyos 2017*, pp. 116-117, Balvanyos, Romania (2017).

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Փորձարարական եղանակով հետազոտվել են ֆեմտովայրկյանային իմպուլսների սպեկտրալ սեղմման դասական, ամբողջովին լուսատարային և սիմիլարիտոնային մեթոդները: Դասական մեթոդով, պրիզմաների զույգը որպես դիսպերսիոն հապաղման գծի օգտագործելով, իրականացվել է 12 անգամ սեղմում: Ամբողջովին լուսատարային մեթոդով՝ փոխարինելով պրիզմաների զույգը բացասական դիսպերսիայով սնամեջ լուսատարով, իրականացվել է 8.4 անգամ սեղմում: Սիմիլարիտոնային մեթոդով, գումար հաճախության գեներացման պրոցեսում մարելով դիսպերսված իմպուլսի չիրպը սիմիլարիտոնային իմպուլսի չիրպով, փոխարինելով պրիզմաների զույգը սնամեջ լուսատարով իրականացվել է 11 անգամ սեղմում:

Սպեկտրալ սեղմման սիմիլարիտոնային սխեմայի փորձարարական հետազոտությունների հիման վրա մշակվել է սպեկտրալ արտապատկերման սարքի կոմպակտ, կոմբեյնյալ նախատիպը (30x30սմ): Հաջողությամբ գործարկվել է նաև սիմիլարիտոնային սպեկտրաժամանակային արտապատկերման սխեման, որում դիֆրակցիոն ցանցերի կամ պրիզմաների զույգի հիմքով դիսպերսիոն հապաղման գծի փոխարեն օգտագործվել է անոմալ դիսպերսիայով սնամեջ լուսատարը:

Առաջին անգամ փորձարարական եղանակներով իրականացվել է սպեկտրալ ինքնասեղմման երևույթը՝ իմպուլսի սոլիտոնային ինքնասեղմման սպեկտրալ անալոգը: Գրանցվել է սպեկտրի 30% նեղացում՝ 2մ երկարությամբ HCF-800B սնամեջ լուսատարում 800նմ ալիքի երկարության իմպուլսների ինքնազդեցության արդյունքում, իմպուլսների ավտոկորելացիոն տևողության 150ֆվ-ից 1.3ֆվ աճի դեպքում: Ավելի բարձր գործակցով (~4 անգամ) ինքնասեղմում գրանցվել է աղմուկային սուպերկոնտինուումի մեր նախնական հետազոտություններում:

Ոչ գծային-դիսպերսիոն սիմիլարիտոնի սպեկտրալ առանձնահատկությունների մանրակրկիտ թվային հետազոտությունները բացահայտել են սիմիլարիտոնի սպեկտրալ լայնության և նախնական իմպուլսի տևողության ու էներգիայի միջև ընդհանրական կապը, ինչը ֆեմտովայրկյանային իմպուլսների տևողության որոշման պարզ սիմիլարիտոնային մեթոդի մշակման հնարավորություն է ընձեռում: Այս մեթոդի փորձարկման արդյունքները գաուսյան, երկգագաթ և սեղմված իմպուլսների համար քանակական համապատասխանության մեջ են թվային մոդելավորման արդյունքների հետ:

Թվային մեթոդներով ուսումնասիրվել են սպեկտրոնային իմպուլսի փուլային առանձնահատկությունները: Հետազոտվել է սպեկտրոնի ձևավորումը տարբեր իմպուլսների համար, ինչպիսիք են գաուսյան, սեկանս-հիպերբոլական, ասիմետրիկ, բազմագագաթ և այլ: Հետազոտության արդյունքները ցույց են տալիս, որ սպեկտրոնային իմպուլսը փոխանցում է ինֆորմացիան (մոդուլացումը) սպեկտրալից ժամանակային տիրույթ՝ ոչ միայն ճառագայթման դաշտի ամպլիտուդի, այլև փուլի համար (տեղի է ունի կոմպլեքս դաշտի լիարժեք դիսպերսիվ Ֆուրյե փոխակերպում):

SUMMARY

Classic, all-fiber and similaritonic techniques of spectral compression (SC) of femto-second laser pulses are studied experimentally. The classic technique, using prism pair as a dispersive delay line, provided 12x SC. The all-fiber technique is implemented by replacing the prism pair with a hollow-core fiber with negative dispersion, providing 8.4x SC. The similaritonic technique, by compensating the chirp of dispersively stretched pulse with the chirp of the similariton pulse in the process of sum-frequency generation, is performed in an all-fiber configuration, with hollow-core fiber used instead of the prism pair, resulting in 11x SC.

Based on the detailed experimental studies of similaritonic technique of SC, a compact (30x30cm) commercial prototype of the spectrotemporal imaging device is developed. Moreover, the configuration of spectrotemporal imaging device with the hollow core fiber (instead of prism or grating dispersive delay line) is also performed successfully.

The effect of spectral self-compression, a spectral analogue of the pulse solitonic self-compression, is demonstrated experimentally for the first time. The self-interaction of pulses at 800nm wavelength in a 2-m long HCF-800B hollow-core fiber resulted in a 30% narrowing of the spectrum with the increasing of pulse autocorrelation duration from 150fs to 1.3ps. A higher ratio spectral self-compression (~4x) is also registered in the initial experiment with the noisy super-continuum radiation.

The detailed numerical studies of spectral peculiarities of the nonlinear-dispersive similariton showed the general dependence of the similariton spectral bandwidth from the seed pulse duration and its energy, allowing to develop a simple similaritonic technique of femtosecond pulse duration determination. This technique is tested for Gaussian, two-peak and compressed pulses, with results being in a quantitative agreement with the theoretical predictions.

The phase peculiarities of the spectron pulse are studied numerically. In particular, the transfer of spectral information to temporal domain for phases is studied, for a variety of test pulses, such as Gaussian, sech, asymmetric, multi-peak, etc. The results of the study showed, that in the process of spectron shaping, the transfer of information (modulation) from spectral to temporal domain takes place not only for the amplitude, but also for the phase of the radiation field (i.e. the complete dispersive Fourier conversion occurs for complex field).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Экспериментально исследованы классический, полностью волоконный и симиляритонный методы спектральной компрессии (СК) фемтосекундных лазерных импульсов. Реализован классический метод, с использованием дисперсионной линии задержки на основе пары призм, с результатом 12х СК. Демонстрирован полностью волоконный метод, с применением полого световода с негативной дисперсией вместо пары призм, с результатом 8.4х СК. Симиляритонный метод, с компенсацией chirpa дисперсионно-удлиненного импульса chirпом симиляритона в процессе генерации суммарной частоты, осуществлена в полностью волоконной конфигурации, с использованием полого световода вместо пары призм, с результатом 11х СК.

На основе детальных экспериментальных исследований симиляритонного метода СК, создан компактный (30х30см) коммерческий прототип устройства спектрально-временного отображения. Более того, удачно апробирована также конфигурация устройства спектрально-временного отображения с использованием полого световода в качестве дисперсионной линии задержки.

Впервые экспериментально продемонстрирован эффект спектральной самокомпрессии – спектральный аналог солитонной самокомпрессии импульсов. Самовоздействие импульсов на длине волны 800нм в полом световоде HCF-800В длиной 2м, привело к 30% сужению спектра излучения с ростом автокорреляционной длительности импульсов от 150фс до 1.3 фс. Спектральная самокомпрессия с большим коэффициентом (~4х) зарегистрирована в наших начальных экспериментах с шумовым суперконтинуумом.

Детальные численные исследования спектральных особенностей нелинейно-дисперсионного симиляритона показали общую закономерность зависимости ширины спектра симиляритона от длительности начального импульса и его энергии, послужив основой для разработки простого симиляритонного метода определения длительности фемтосекундных импульсов. Новый метод экспериментально протестирован для гауссовских, двухпиковых и скомпрессированных импульсов; результаты показали количественное соответствие с результатами численного моделирования.

Численно исследованы фазовые особенности спектра, в частности, перевод спектральной информации во временную область для фазы спектра, сформированного из гауссовских, секанс-гиперболических, асимметричных и многопиковых импульсов. Результаты исследования показывают, что в процессе формирования спектра перевод информации (модуляции) из спектральной области во временную осуществляется не только для амплитуды, но и для фазы поля излучения (“полное” дисперсионное Фурье-преобразование для комплексного поля).