



Center for the Advancement of Natural Discoveries
using Light Emission



TIME-LENS INDUCTION, SIMILARITON- AND SOLITON- SHAPING TYPE PROCESSES FOR FEMTOSECOND LASER PULSE MANIPULATION AND CHARACTERIZATION

Hrach Toneyan

Thesis to take a candidate degree in physics and mathematics

Scientific advisor:
Prof. L. Mouradian

Goals of the thesis

- Study of *SC* and *STI* with use of high-tech materials *aimed at development of commercial prototype*
- Study of *soliton*-type processes for signal manipulation, *particularly, experimental implementation of spectral analogue of pulse self-compression*
- Study of *spectrons* and *similaritons* for fs pulse characterization, *to develop techniques of fs pulse duration and phase measurements*

Overview of the topic

Problems of ultrafast optics

- Ultrashort signal generation
- Signal manipulation
- Signal delivery
- Signal characterization

Պաշտպանության դրույթները

Սպեկտրալ սեղմում և սպեկտրաժամանակային արտապատկերում

Անոմալ դիսպերսիայով սնամեջ լուսատարի կիրառմամբ, որին որպես ոչ գծային միջավայր հաջորդում է ստանդարտ նորմալ դիսպերսիայով միամոդ լուսատարը, իրագործվում է ամբողջովին լուսատարային ժամանակային ուսանյակի ՓԻՄ սարքավորումը, ֆեմտովայրկյանային իմպուլսների սպեկտրալ սեղմման համար: Ֆեմտովայրկյանային իմպուլսների սպեկտրաժամանակային արտապատկերման համար նախատեսված սիմիլարիտոնային ժամանակային ուսանյակի ԳՀԳ սխեմայում, պրիզմային կամ ցանցային դիսպերսիոն հապաղման գծի նույնպիսի փոխարինումը սնամեջ լուսատարով ևս ապահովում է նրա հաջող գործունեությունը:

Ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների սպեկտրալ ինքնասեղմում

800նմ կենտրոնական ալիքի երկարությամբ ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների ինքնազդեցությունը սնամեջ լուսատարում, ուժեղ անոմալ դիսպերսիայի և թույլ Կեռի ոչգծայնության համակցված ազդեցության պայմաններում, բերում է սպեկտրալ ինքնասեղմմանը, սովորականային ինքնասեղմման սպեկտրալ անալոգի տեսական կանխատեսման համապատասխան:

Իմպուլսի տևողության չափման սիմիլարիտոնային մեթոդ

Ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների տևողությունը կարելի է որոշել անցկացնելով ճառագայթումը միամոդ լուսատարով, գեներացնելով նրանում ոչ գծային-դիսպերսիոն սիմիլարիտոն և չափելով նրա սպեկտրալ լայնությունն ու էներգիան:

Սպեկտրոնի փուլային առանձնահատկությունները

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 փուլը՝ սկզբնական սպեկտրալ փուլը (ի հավելումն դիսպերսիայով մակաձված պաբոլիկ փուլի):

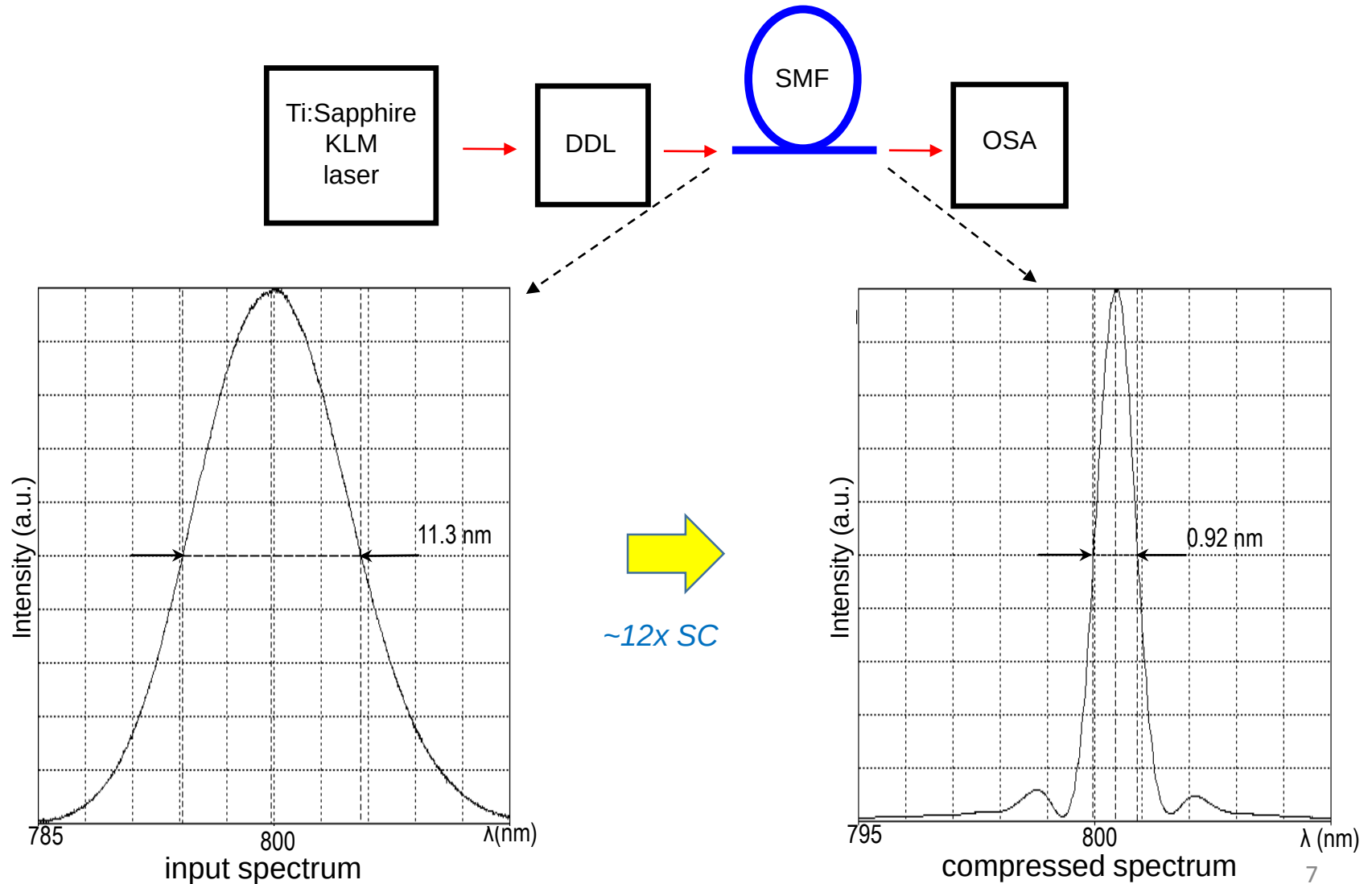
Chapter I

LITERATURE REVIEW AND OVERVIEW OF THESIS

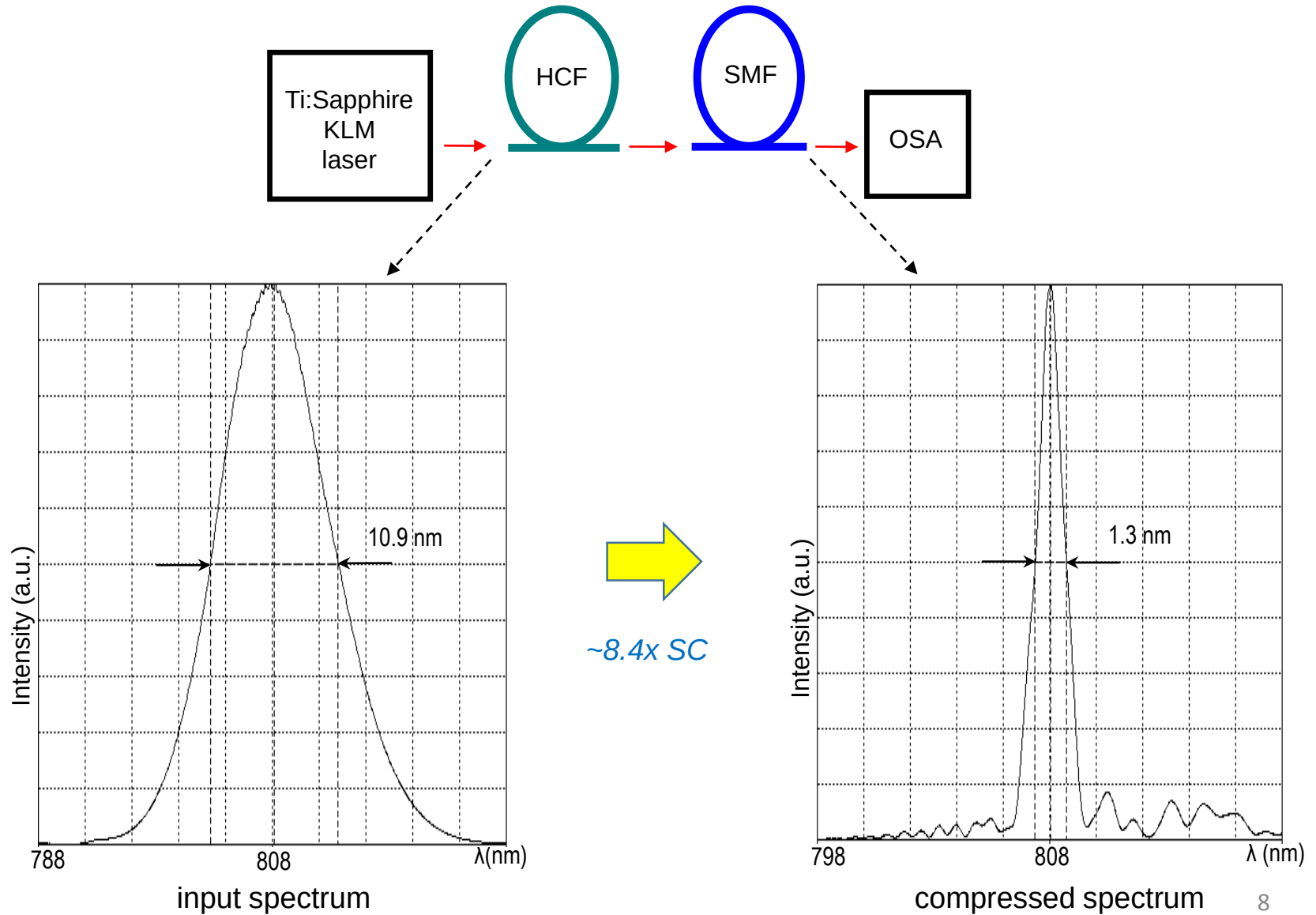
Chapter II

SPECTRAL COMPRESSION OF FEMTOSECOND LASER RADIATION

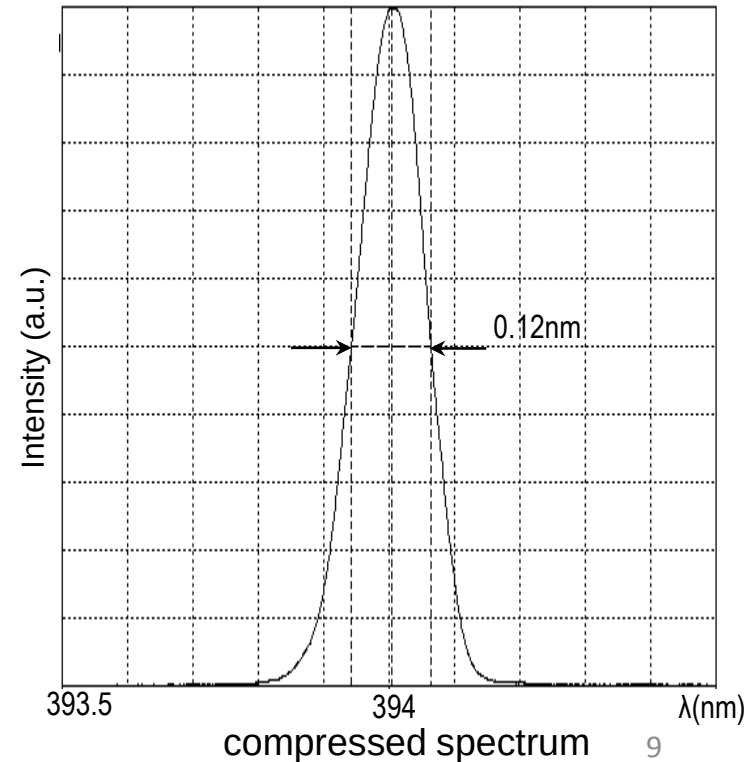
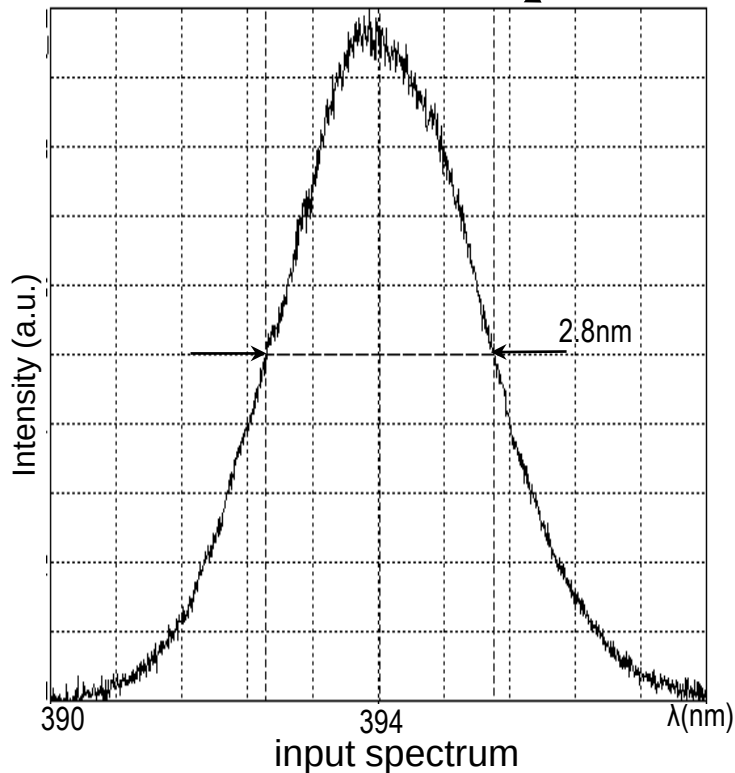
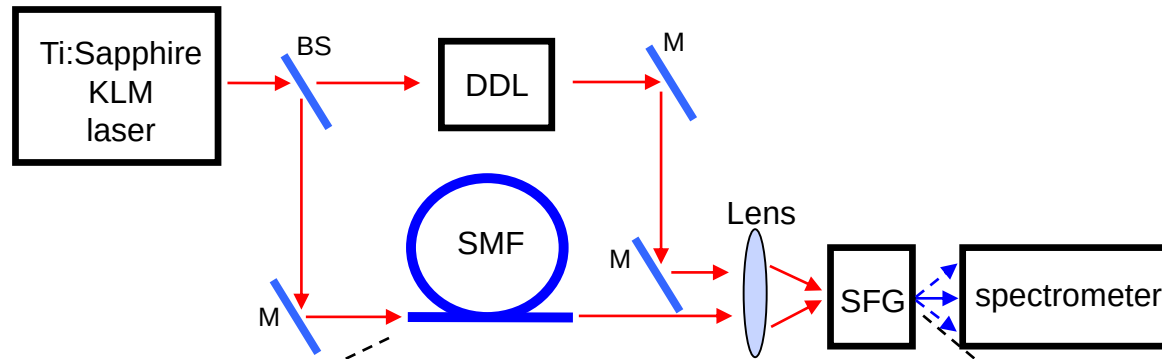
Classic technique of SC



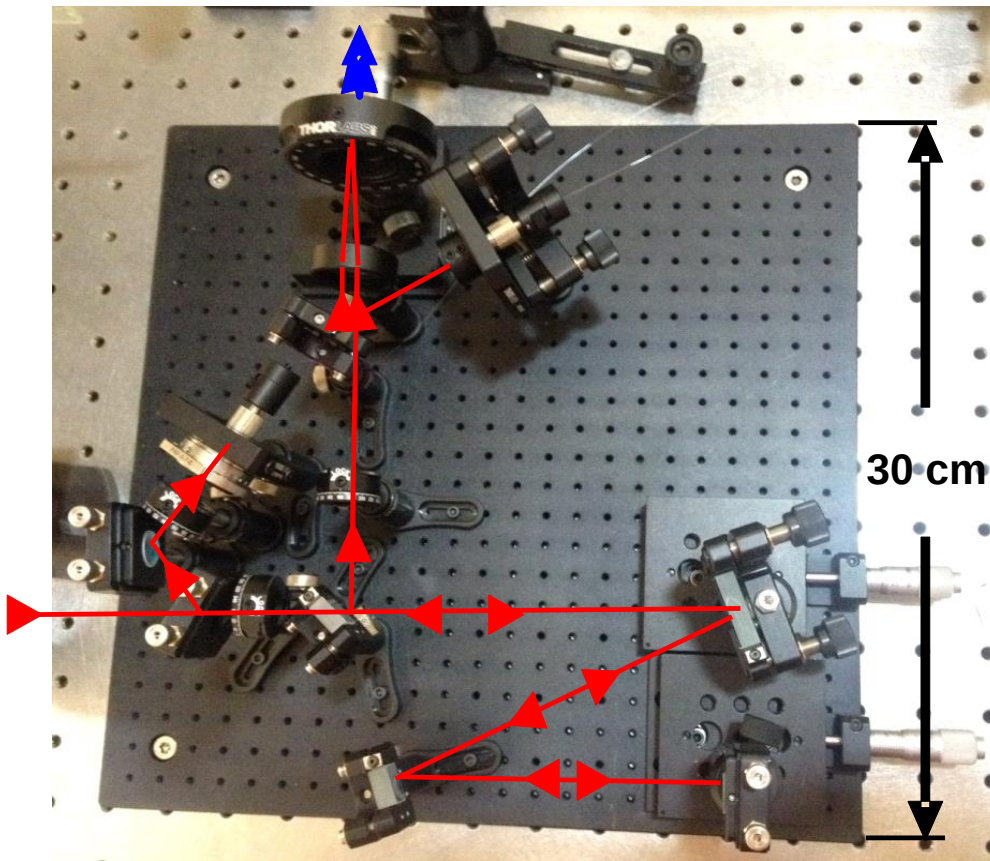
All-fiber technique of SC



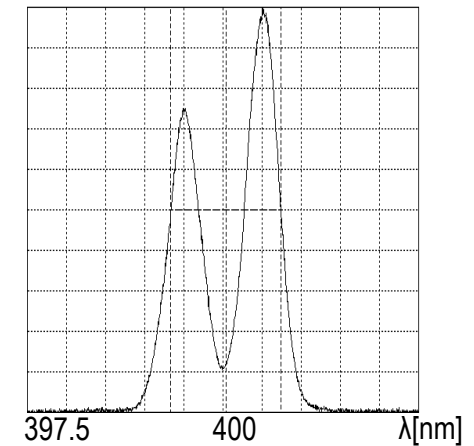
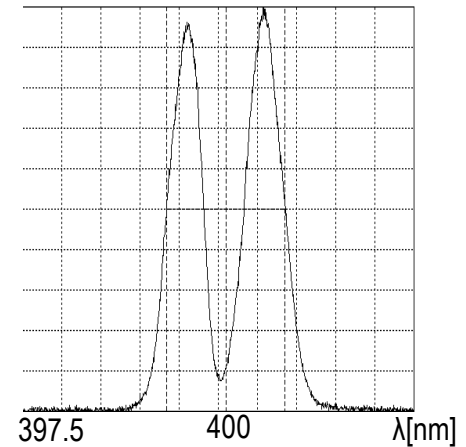
Similaritonic technique of SC



Prototype of STI device

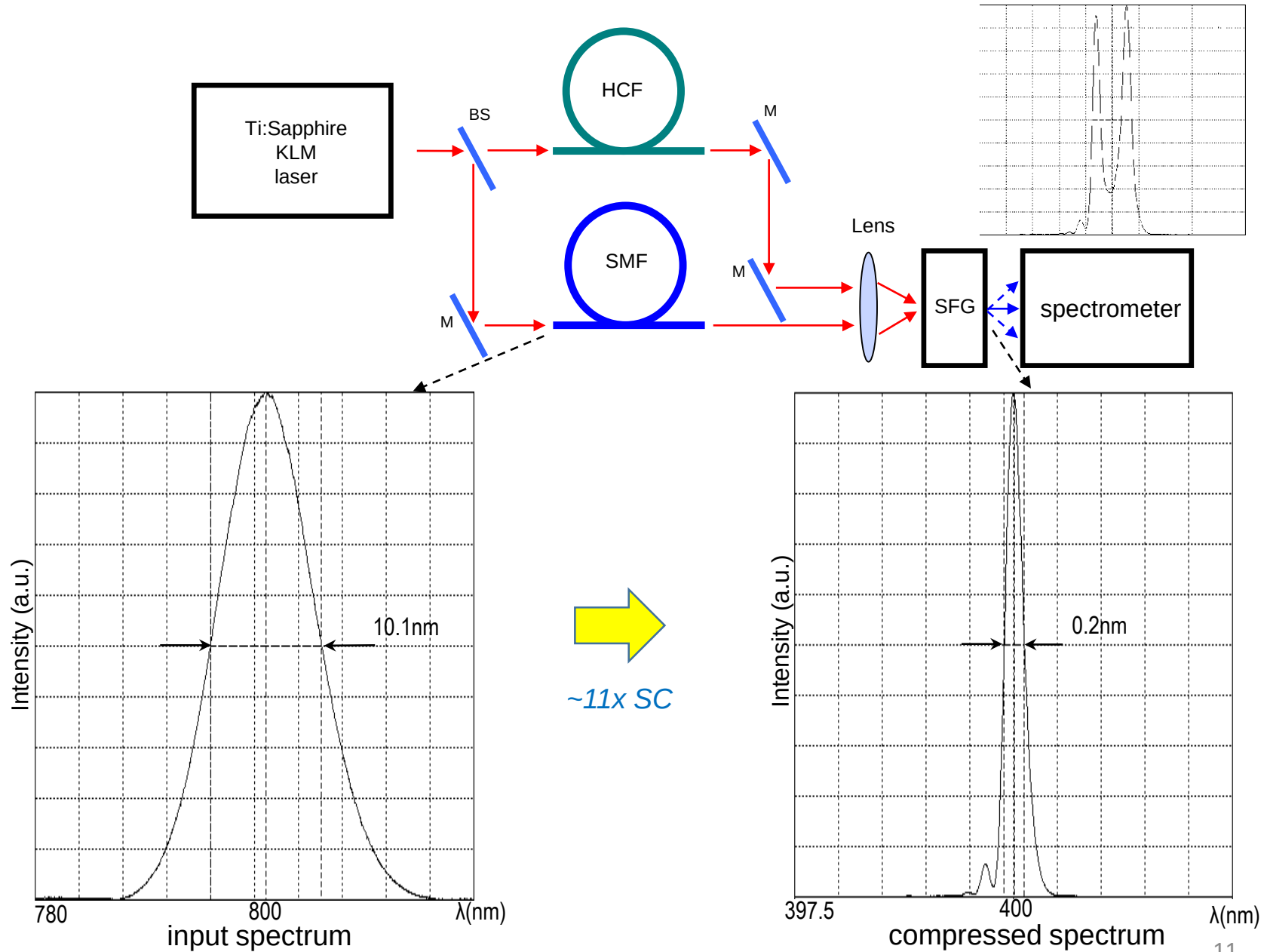


commercial prototype of STI device



two-peak pulse STI

All-fiber similaritonic technique of SC



Summary of chapter II

- 12x, 8.4x and 23.3x SC is obtained by classic, all-fiber and similaritonic techniques respectively
- Studies of STI resulted in the commercial prototype demonstration
- STI and similaritonic technique of SC is demonstrated in all-fiber setup

Chapter III

SPECTRAL SELF-COMPRESSION OF FEMTOSECOND RADIATION

Analytical discussion of Self-SC

GVD: $\tilde{A}(\omega, z) = \tilde{A}(\omega, 0) \exp[-i\omega^2(z/L_D)/2]$

$$L_D \equiv (\beta_2 \Delta \omega_0^2)^{-1}$$

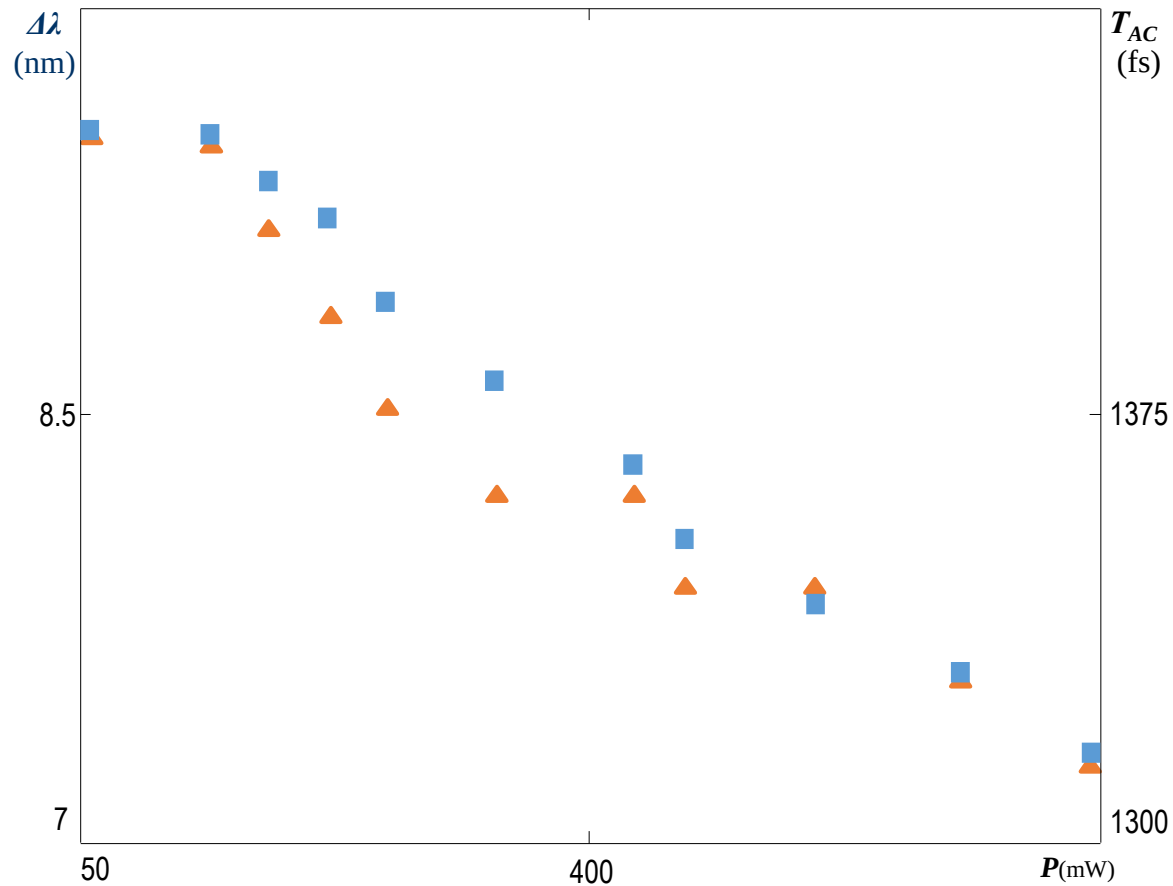
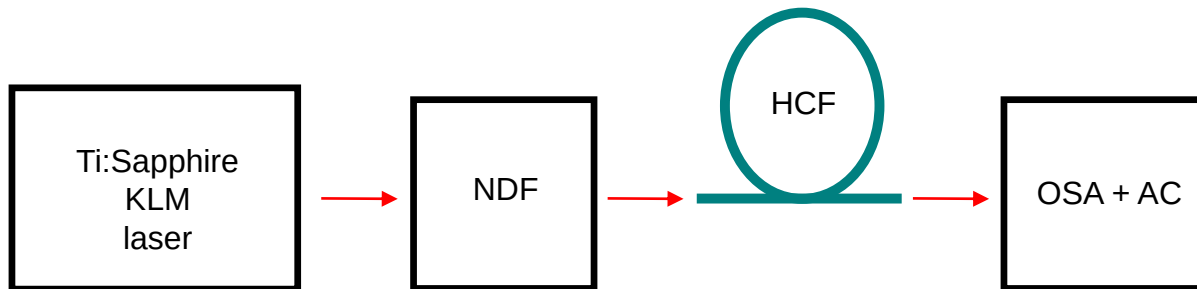
SPM: $A(t, z) = A(t, 0) \exp[in_2 \beta_0 |A(t, 0)|^2 z] \approx$
 $\approx A_0(t) \exp(iz/L_{NL}) \exp[-it^2(z/L_{NL})]$

$$L_{NL} \equiv [\beta_0 n_2 |A(0, 0)|^2]^{-1}$$

$$L_{NL} < L_D \quad \text{soliton effect compression}$$

$$L_{NL} > L_D \quad \text{self-spectral compression}$$

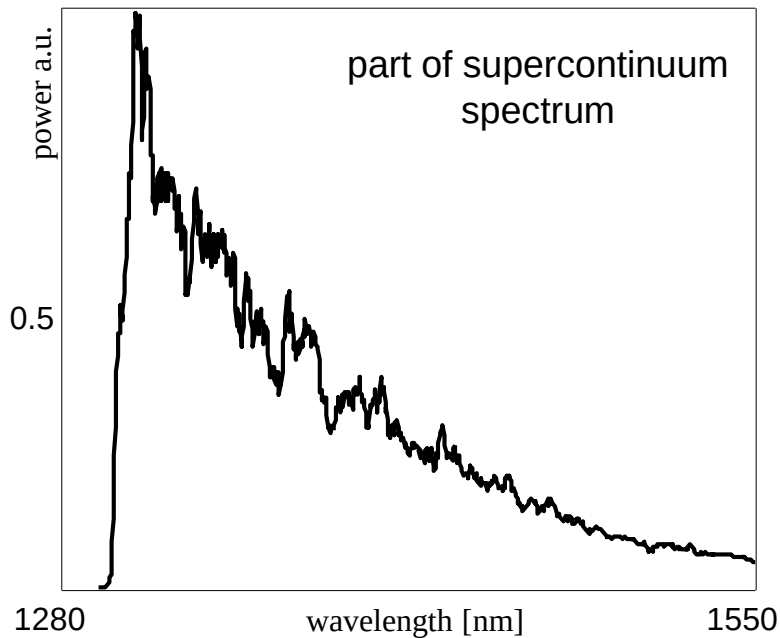
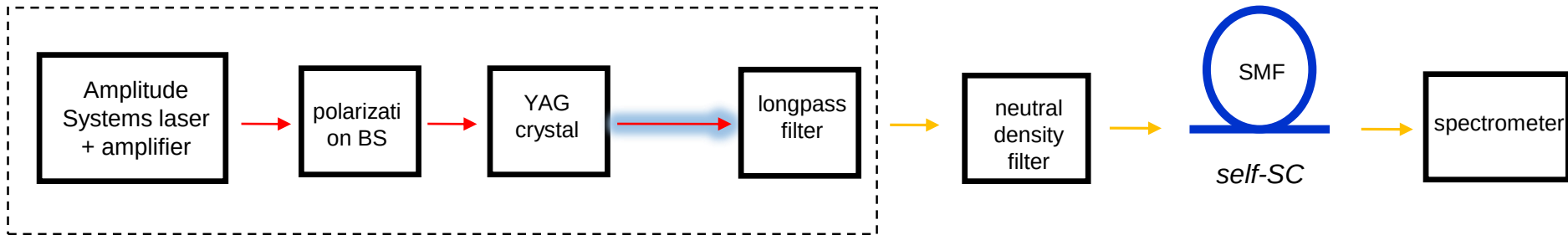
Self-SC in HCF



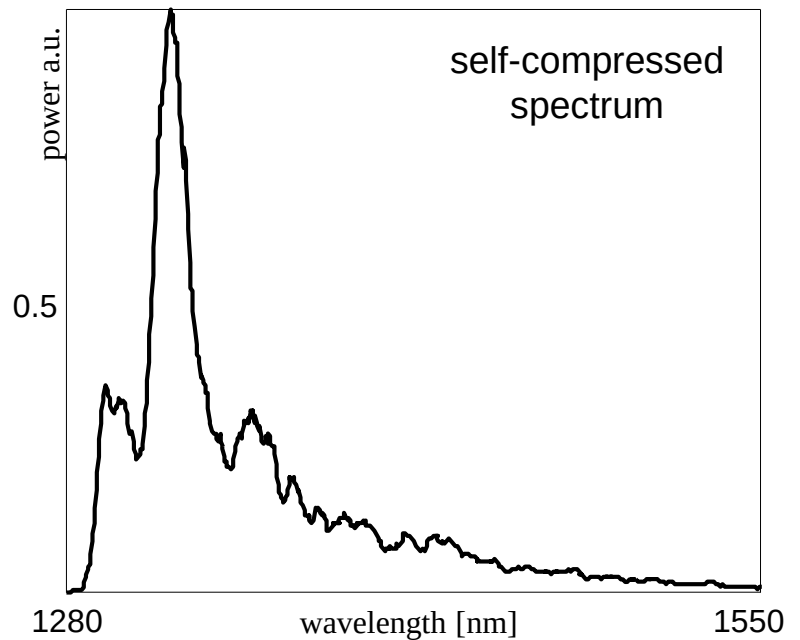
dependence of spectral width and AC duration from coupled power

Self-SC of a supercontinuum in an SMF

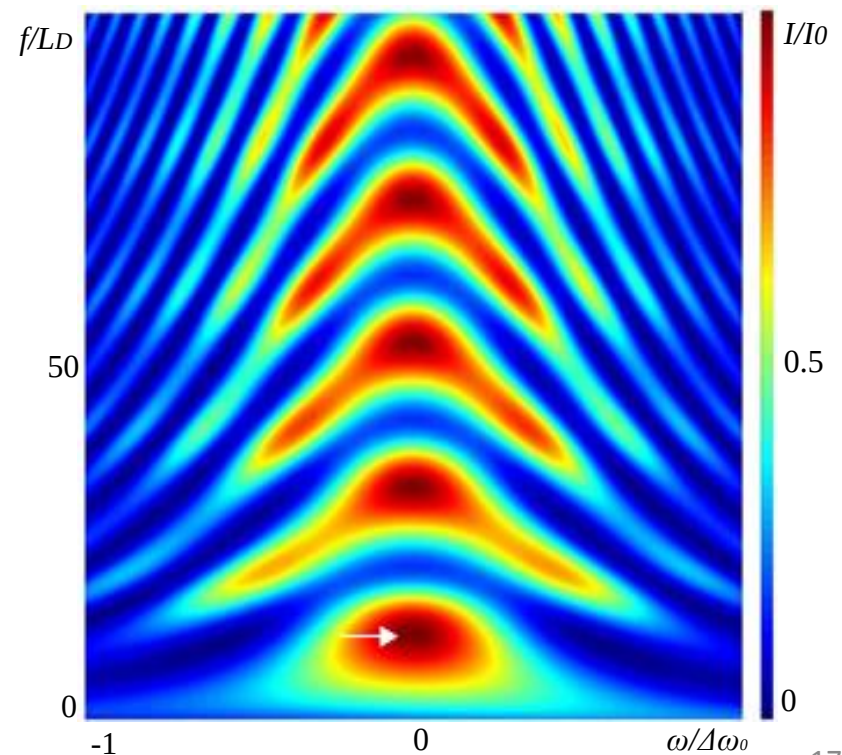
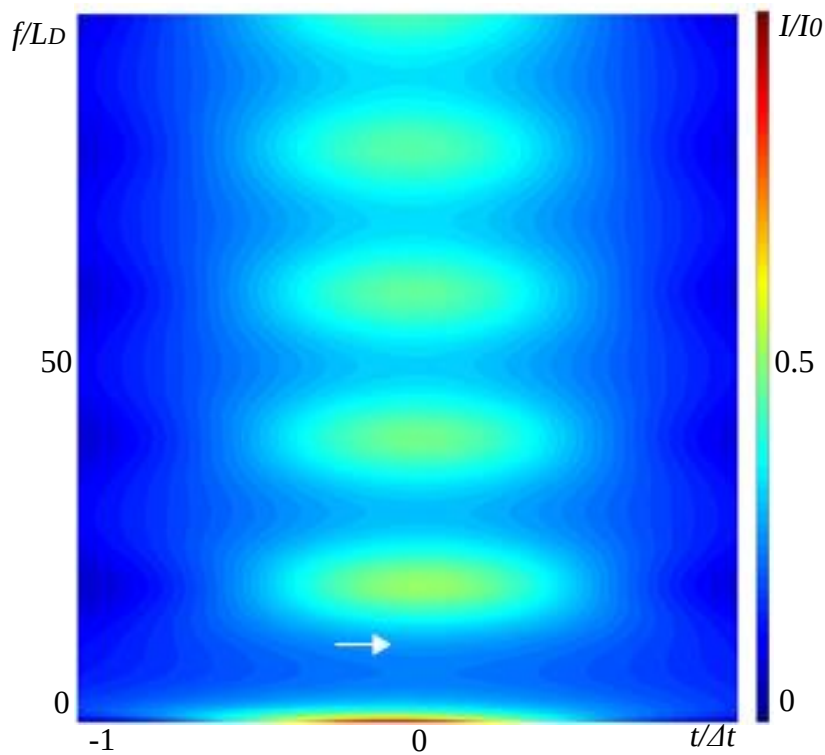
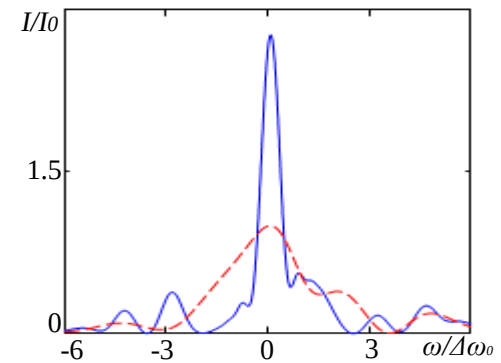
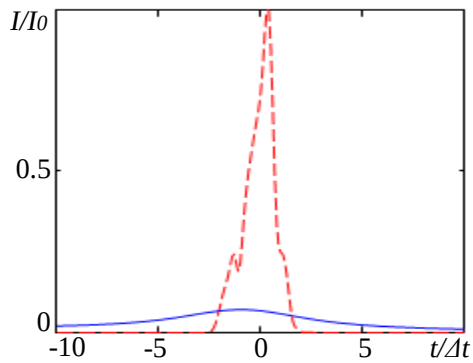
pulse generation



~4.1x
self-SC



Self-SC of a randomly modulated pulse



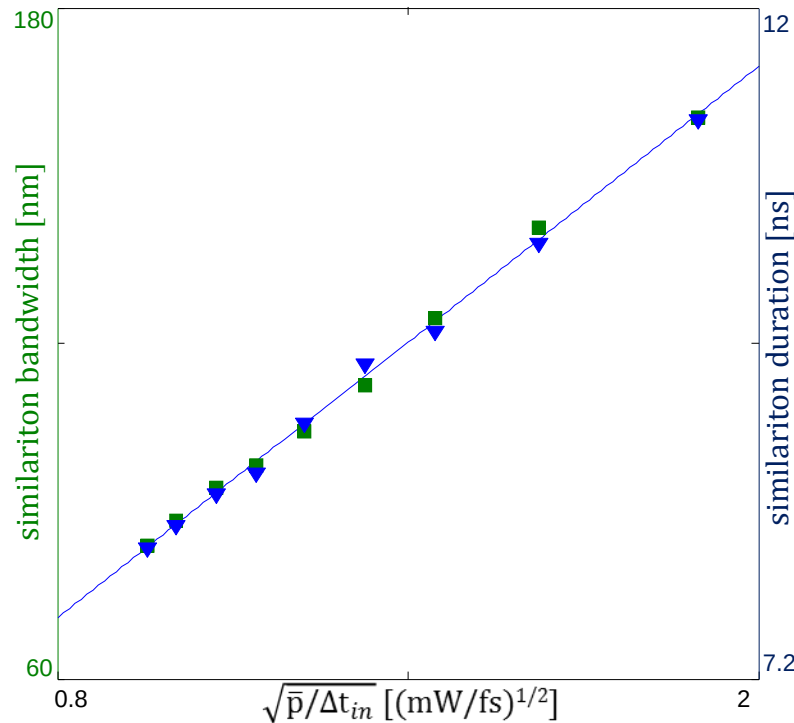
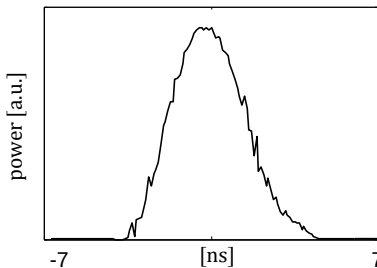
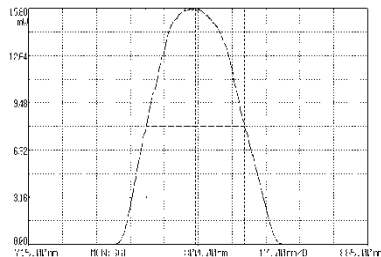
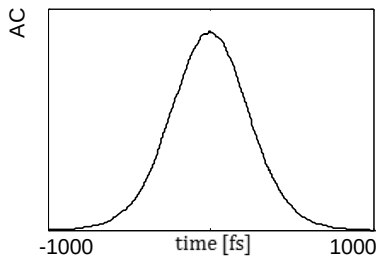
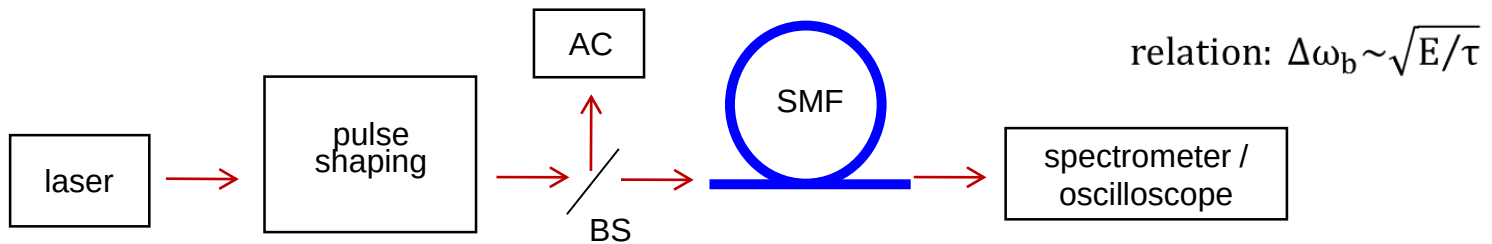
Summary of chapter III

- Demonstration of the self-SC in an HCF with 30% spectral narrowing
- 4.1x self-SC of part of supercontinuum radiation in an SMF
- Demonstration of self-SC of randomly modulated pulses done by numerical modelling

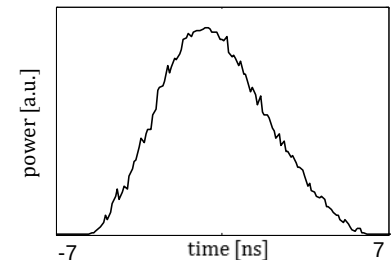
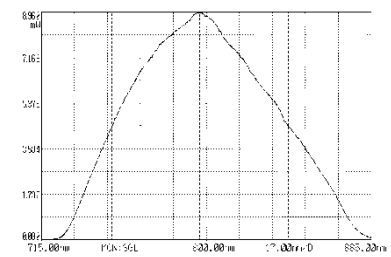
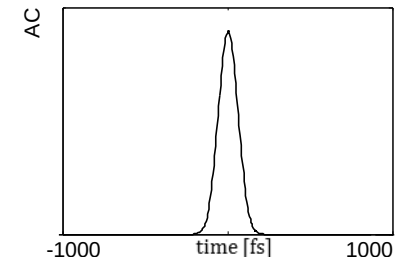
Chapter IV

MEASUREMENT OF FEMTOSECOND PULSE DURATION AND PHASE USING SIMILARITONS AND SPECTRONS

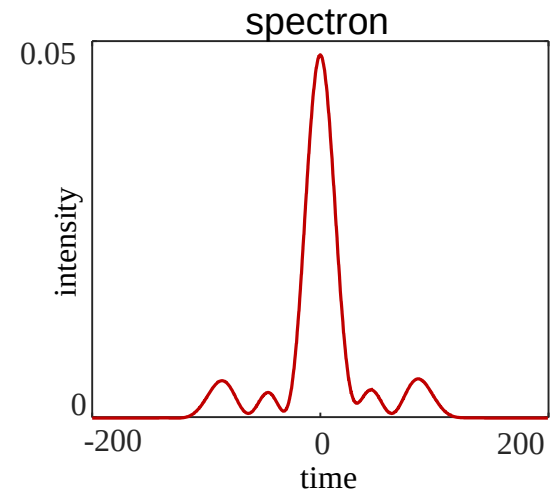
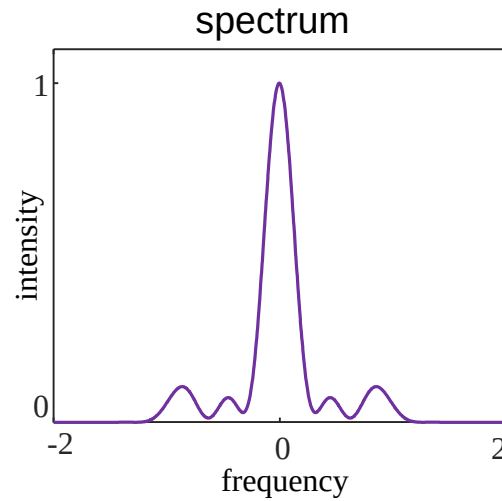
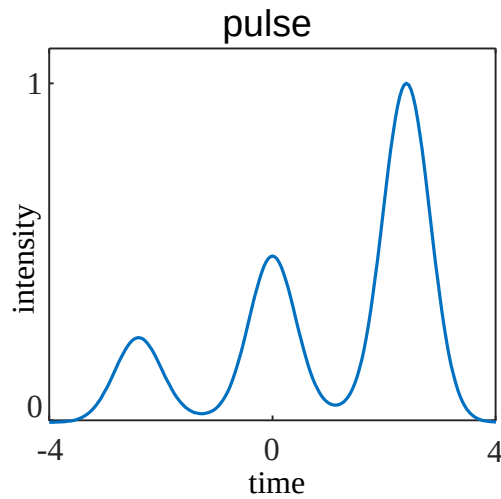
Duration measurement similaritonic technique for Gaussian pulses



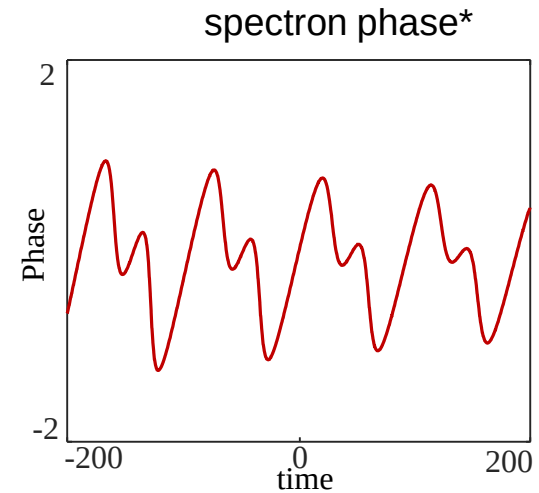
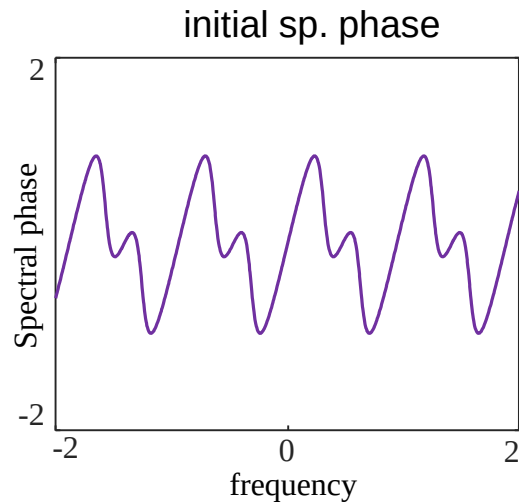
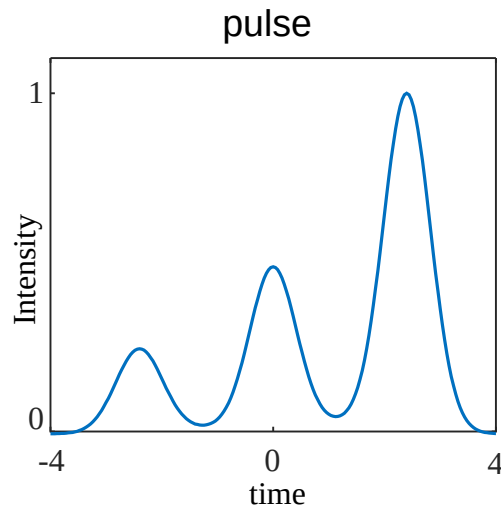
dependence of spectral width of similariton from input pulse AC duration



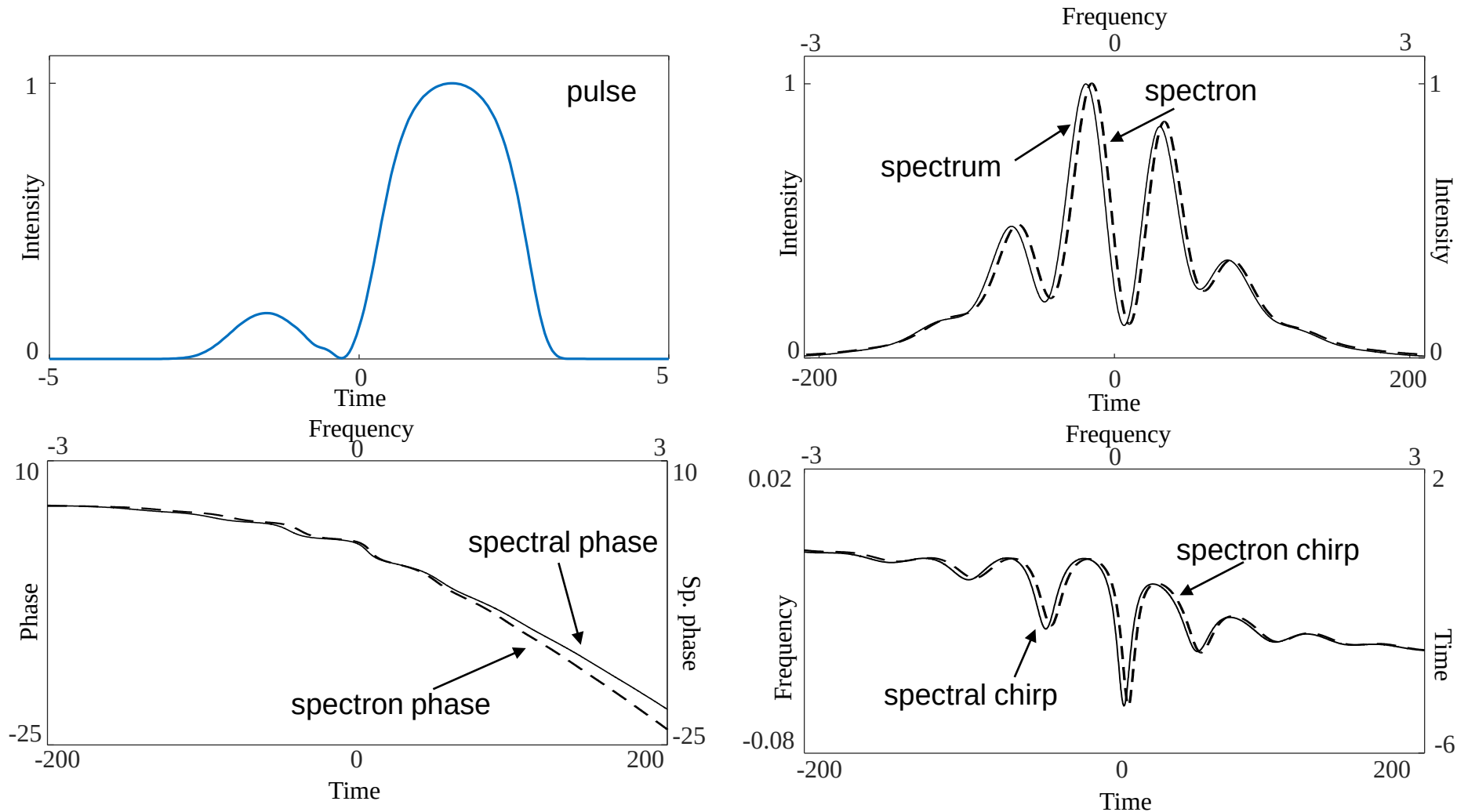
Shaping of spectron from three-peak pulses



$\zeta=100$



Phase of spectron shaped from two-peak pulse with initial SPM



$\zeta=70$

Summary of chapter IV

- Femtosecond laser pulse duration measurement technique is demonstrated for Gaussian, two-peak and compressed pulses numerically and experimentally
- The transfer of phase information from spectral to temporal domain in the process of spectron pulse shaping is demonstrated numerically

Conclusion

- 12x, 8.4x and 23.3x SC is obtained by classic, all-fiber and similaritonic techniques respectively
- Studies of STI resulted in the commercial prototype demonstration
- STI and similaritonic technique of SC is demonstrated in all-fiber setup
- Self-SC in an HCF with 30% spectral narrowing is demonstrated
- 4.1x self-SC of part of supercontinuum radiation in an SMF is demonstrated
- Self-SC of randomly modulated pulses is demonstrated numerically
- Femtosecond laser pulse duration measurement technique is demonstrated for Gaussian, two-peak and compressed pulses numerically and experimentally
- The transfer of phase information from spectral to temporal domain in the process of spectron pulse shaping is demonstrated numerically

Publications related to the thesis

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. Карапетян, Г. Тонейан, 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 H.Toneyan, M.Sukiasyan, V.Avetisyan, A.Kutuzyan, A.Yeremyan, and 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. *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.Manukyan, 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).*

THANK YOU