**Список вопросов к зачету в весеннем семестре**

1. ***Лазерное ускорение электронов***

**Литература:**

T. Tajima, J. M. Dawson, Laser Electron Accelerator, Phys. Rev. Lett. 43, 267 (1979)

A. Pukhov, J. Meyer-ter-Vehn, Laser wake field acceleration: the highly non-linear broken-wave regime, Appl. Phys. B 74, 355 (2002)

O. Jansen, T. Tuckmantel, and A. Pukhov, Scaling electron acceleration in the bubble regime for upcoming lasers, Eur. Phys. J. Special Topics 223, 1017 (2014)

V. Yu. Bychenkov, M. G. Lobok, V. F. Kovalev, and A.V. Brantov, Generation of high-charge electron beam in a subcritical-density plasma through laser pulse self-trapping. Plasma Phys. Contr. Fus. 61, 124004 (2019)

В. Ю. Быченков, В. Ф. Ковалев, Самозахват экстремального света, Изв. ВУЗов. Радиофизика, 63, 742 (2020)

1. ***Источники гамма-излучения на основе мощных короткоимпульсных лазеров***

**Литература:**

F. Albert and A. G. R. Thomas, Applications of laser wakefield accelerator-based light sources, Plasma Phys. Control. Fusion 58, 103001 (2016)

S. Corde, K. Ta Phuoc, G. Lambert, R. Fitour, V. Malka, A. Rousse, A. Beck, and E. Lefebvre, Femtosecond X-rays from laser-plasma accelerators, Rev. Mod. Phys. 85, 1 (2013)

M. G. Lobok, A. V. Brantov, and V. Yu. Bychenkov, Effective production of gammas, positrons, and photonuclear particles from optimized electron acceleration by short laser pulses in low-density targets, Phys. Plasmas 26, 123107 (2019)

M. G. Lobok, A. V. Brantov, and V. Yu. Bychenkov, Shielded radiography with gamma rays from laser-accelerated electrons in a self-trapping regime, Phys. Plasmas 27, 123103 (2020)

M. G. Lobok, I. A. Andriyash, O. E. Vais, V. Malka and V. Yu. Bychenkov, Bright synchrotron radiation from relativistic self-trapping of a short laser pulse in near-critical density plasma, Phys. Rev. E 104, L053201 (2021)

1. ***Примеры миниатюрных устройств квантовой оптики и их применение***

**Литература:**

I.E.Protsenko, A.V.Uskov Oscillator laser model Annalen der Physik 535, (1) p.2200298 (2022) arXiv:2206.05452

I.E.Protsenko, A.V.Uskov Perturbation approach in Heisenberg equations for lasers Phys. Rev. A 105, 053713 (2022) arXiv:2201.02872v2

I. E. Protsenko, A. V. Uskov, E. C. Andr ́e, J. Mørk, and M. Wubs, Quantum langevin approach for superradiant nanolasers, New Journal of Physics 23, 063010 (2021). arXiv: 2012.02533

E. C. Andre, I. E. Protsenko, A. V. Uskov, J. Mørk, and M. Wubs, On collective Rabi splitting in nanolasers and nano-LEDs, Opt. Lett. 44, 1415 (2019)

I. Protsenko, P. Domokos, V. Lefevre-Seguin, J. Hare, J. M. Raimond, and L. Davidovich, Quantum theory of a thresholdless laser, Phys. Rev. A 59, 1667 (1999)

1. ***Вывод и решение уравнений квантовой модели лазера***

**Литература:**

I.E.Protsenko, A.V.Uskov Oscillator laser model Annalen der Physik 535, (1) p.2200298 (2022) arXiv:2206.05452

I.E.Protsenko, A.V.Uskov Perturbation approach in Heisenberg equations for lasers Phys. Rev. A 105, 053713 (2022) arXiv:2201.02872v2

I. E. Protsenko, A. V. Uskov, E. C. Andr ́e, J. Mørk, and M. Wubs, Quantum langevin approach for superradiant nanolasers, New Journal of Physics 23, 063010 (2021). arXiv: 2012.02533

E. C. Andre, I. E. Protsenko, A. V. Uskov, J. Mørk, and M. Wubs, On collective Rabi splitting in nanolasers and nano-LEDs, Opt. Lett. 44, 1415 (2019)

I. Protsenko, P. Domokos, V. Lefevre-Seguin, J. Hare, J. M. Raimond, and L. Davidovich, Quantum theory of a thresholdless laser, Phys. Rev. A 59, 1667 (1999)

1. ***Коллективные осцилляции Раби в лазере***

**Литература:**

I.E.Protsenko, A.V.Uskov Oscillator laser model Annalen der Physik 535, (1) p.2200298 (2022) arXiv:2206.05452

I.E.Protsenko, A.V.Uskov Perturbation approach in Heisenberg equations for lasers Phys. Rev. A 105, 053713 (2022) arXiv:2201.02872v2

I. E. Protsenko, A. V. Uskov, E. C. Andr ́e, J. Mørk, and M. Wubs, Quantum langevin approach for superradiant nanolasers, New Journal of Physics 23, 063010 (2021). arXiv: 2012.02533

E. C. Andre, I. E. Protsenko, A. V. Uskov, J. Mørk, and M. Wubs, On collective Rabi splitting in nanolasers and nano-LEDs, Opt. Lett. 44, 1415 (2019)

I. Protsenko, P. Domokos, V. Lefevre-Seguin, J. Hare, J. M. Raimond, and L. Davidovich, Quantum theory of a thresholdless laser, Phys. Rev. A 59, 1667 (1999)

1. ***Дисперсионная и абсорбционная оптическая бистабильность***

**Литература:**

Гиббс X. М., Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света, пер. с англ., М., 1988

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov Single photon optical bistability (2023) <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.07530>

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov Quantum fluctuations in the small Fabry-Perot interferometer (2023) <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.13430>

1. ***Теоретическая модель дисперсионной оптической бистабильности***

**Литература:**

Гиббс X. М., Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света, пер. с англ., М., 1988

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov Single photon optical bistability (2023) <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.07530>

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov Quantum fluctuations in the small Fabry-Perot interferometer (2023) https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.13430

1. ***Определение стационарного решения уравнения для квантового нелинейного осциллятора***

**Литература:**

Гиббс X. М., Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света, пер. с англ., М., 1988

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov Single photon optical bistability (2023) <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.07530>

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov Quantum fluctuations in the small Fabry-Perot interferometer (2023) https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.13430

1. ***Поляризуемость сферической наночастицы. Условие и физический смысл локализованного плазмонного резонанса. Мультипольные плазмонные резонансы.***

**Литература:**

I. E. Protsenko, A. V. Uskov, N.V.Nikonorov “Spontaneous emission, collective phenomena and the efficiency of plasmon-stimulated photo-excitation” arXiv:2401.09137 (2024)

S. A. Maier, Plasmonics (Springer, 2007)

I. Protsenko and A. Uskov, “Superradiance of several atoms near a metal nanosphere,” Quantum Electronics 45, 561 (2015)

I. E. Protsenko, A. V. Uskov, O. A. Zaimidoroga, V. N. Samoilov, and E. P. O’Reilly, “Dipole nanolaser,” Phys. Rev. A 71, 063812 (2005)

Проценко И Е "Теория дипольного нанолазера" УФН 182 1116–1122 (2012)

В.В.Климов «Наноплазмоника» М., Физматлит, 2010

1. ***Увеличение резонансного поглощения вблизи металлической наночастицы и уравнения, описывающее такое поглощение. Факторы, ограничивающие рост поглощения около металлической наночастицы.***

**Литература:**

I. E. Protsenko, A. V. Uskov, N.V.Nikonorov “Spontaneous emission, collective phenomena and the efficiency of plasmon-stimulated photo-excitation” arXiv:2401.09137 (2024)

S. A. Maier, Plasmonics (Springer, 2007)

I. Protsenko and A. Uskov, “Superradiance of several atoms near a metal nanosphere,” Quantum Electronics 45, 561 (2015)

I. E. Protsenko, A. V. Uskov, O. A. Zaimidoroga, V. N. Samoilov, and E. P. O’Reilly, “Dipole nanolaser,” Phys. Rev. A 71, 063812 (2005)

Проценко И Е "Теория дипольного нанолазера" УФН 182 1116–1122 (2012)

В.В.Климов «Наноплазмоника» М., Физматлит, 2010

1. ***Лазерная кристаллизация тонких аморфных пленок фазопеременных материалов.***

**Литература:**

10.1063/1.1351868

10.1063/1.4770359

10.1038/srep28246

10.1016/j.jallcom.2020.156924

10.1016/j.optlastec.2021.107701

1. ***Формирование периодических поверхностных структур в тонких пленках аморфных халькогенидов при воздействии ультракоротких лазерных импульсов.***

**Литература:**

10.1002/pssb.201900617

10.1021/acsami.1c08468

10.1016/j.optlastec.2022.108212

10.3390/micro2010005

10.1515/nanoph-2022-0133

1. ***Метаповерхности на основе фазопеременных материалов.***

**Литература:**

10.1038/srep03955

10.1364/OME.8.002264

10.1088/2040-8986/abbb5b

10.1038/s41467-022-29374-6

10.1002/adom.202202439

1. ***Оптические свойства жидкокристаллических сред***

*Предполагается такой состав: Краткий обзор видов жидких кристаллов, более подробно должны быть освещены свойства нематических жидких кристаллов и их оптические свойства. Влияние ориентации молекул на показатель преломления, возможности управления ориентационной нелинейностью, способы увеличения нелинейности. Методы исследования индуцированной ориентации (поляризационная микроскопия, аберрационной самовоздействие)*

**Литература:**

I.C. Khoo, Liquid Crystals, 3rd edition (2022), (и Chapter 6 – оптические свойства)

Journal of Molecular Liquids 267 (2018) 520–541 DOI: https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.175

1. ***Ориентационные оптические эффекты в нематических жидких кристаллах.***

*Предполагается такой состав: Обзор основных видов нелинейных оптических ориентационных эффектов (прямое ориентирующее действие света, нелинейность, индуцированная добавками красителей и полимеров, фоторефрактивные эффекты), основные закономерности изменения показателя преломления.*

**Литература:**

Liquid Crystals Today, 11(2) (2002) 0.1080/14645180110000000

Polymers 2020, 12, 356; doi:10.3390/polym12020356

A. Habibpourmoghadam, Photorefractive Effect in NLC Cells Caused by Anomalous Electrical Properties of ITO Electrodes, 10.3390/cryst10100900 (и ссылки в работе)

1. ***Прикладная фотоника жидких кристаллов.***

*Предполагается такой состав: должны быть описаны основные устройства управления параметрами света на основе жидких кристаллов, а также описаны принципы их работы, описаны основные нелинейно-оптические эффекты, на которых основаны устройства. Можно рассмотреть генерацию структурированных пучков (в .т.ч. оптических вихрей) с помощью нематических жидких кристаллов или нематических полимеров.*

**Литература:**

J. Beeckman et al. Liquid-crystal photonic applications (2011)

Design, Fabrication, and Applications of Liquid Crystal Microlenses, Adv. Optical Mater. 2021, 9, 2100370 DOI: 10.1002/adom.202100370

Optical Manipulation of Soft Matter, Small Methods 2024, 8, 2301105 DOI: 10.1002/smtd.202301105

1. ***Метод FDTD. Алгоритм Йе. Дисперсия материалов.***

**Литература:**

A.Taflove, S.Hagness. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method

<https://meep.readthedocs.io/en/latest/Introduction/>

1. ***Постановка задачи распространения электромагнитных волн. Как организовать расчёт сечений поглощения и рассеяния света наноструктурой. Perfectly Matched Layer.***

**Литература:**

A.Taflove, S.Hagness. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method

<https://meep.readthedocs.io/en/latest/Introduction/>

1. ***Локализованные поверхностные плазмон-поляритоны в металлических наночастицах различной формы и размеров.***

*Вопросы к теме, которые требуется отразить в реферате:*

* *Локальная диэлектрическая функция благородных металлов. Вклад свободных и внутренних электронов. Формула Друде для вклада свободных электронов (внутризонные переходы); ωp – плазменная частота (характерные значения энергии для Ag, Au, Cu). Вклад электронных переходов между валентной бездисперсионной d-зоной и параболической sp-зоной проводимости. Размерно-зависящая диэлектрическая функция металлического шара с радиусом, значительно меньшим длины свободного пробега электрона в объемном образце.*
* *Что такое плазмон-поляритоны. Чем отличаются бегущие плазмон поляритоны, возникающие на плоской границе раздела металл/диэлектрик, от локализованных плазмон-поляритонов в металлических наночастицах;*
* *Основные положения теории Ми для однородной сферы. Вклады поперечно-магнитных (TM) и поперечно-электрических (TE) мод различного порядка мультипольности. Дипольные и мультипольные плазмонные резонансы.*
* *Квазистатическое приближение (условие применимости).* *Поляризуемость однородного шара. Условие плазмонного резонанса в металлической сфере. Частота Фрелиха и ее свзь с плазменной частотой.*
* *Аналитические выражения для сечений поглощения и рассеяния света шаром и сфероидом в квазистатическом приближении. При каких размерах металлических наносфер преобладает вклад рассеяния света, а при каких вклад поглощения (на примерах Ag и Au). (vi) Поперечные и продольные резонансы в наностержнях и наносфероидах. Характер изменения спектра фотопоглощения при увеличении длины стержня.*

**Литература**

К. Борен, Д. Хафмен, Поглощение и рассеяние света малыми частицами (М.: Мир, 1986).

Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский, Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 632 с.

В.В. Климов, *Наноплазмоника*, М. Физматлит, 2010. - 480 с.

А.В. Мекшун, С. С. Моритака, А. Д. Кондорский, В. С. Лебедев, *Сравнительный анализ оптических спектров одиночных плазмонных наночастиц различной геометрической формы*, **Краткие сообщения по физике ФИАН,** № 9, cc. 34-40 (2020).

A. D. Kondorskiy and V. S. Lebedev, *Size and shape effects in optical spectra of silver and gold nanoparticles*, **Journal of Russian Laser Research**, Vol. 42, No 6, 697-712 (2021). DOI 10.1007/s10946-021-10012-3

1. ***Эффекты плазмон-экситонного взаимодействия в металлоорганических наночастицах, состоящих из металлического ядра и оболочки молекулярных J-агрегатов красителей***

*Вопросы к теме, которые требуется отразить в реферате:*

* *Молекулярные J-агрегаты органических красителей. Оптические свойства J-агрегатов. Экситоны Френкеля.*
* *Гибридные металлоорганические наночастицы “ядро-оболочка”.*
* *Плазмон-экситонное взаимодействие. Режимы плазмон-экситонной связи (слабая связь, сильная связь, ультрасильная связь).*
* *Влияние плазмон-экситонного на спектры поглощения и рассеяния света.*

**Литература**

Б.И. Шапиро, “*Блочное строительство*” *агрегатов* *полиметиновых красителей*, **Российские нанотехнологии**, Том 3, № 3-4, сc. 72-83 (2008).

G.P. Wiederrecht, G.A. Wurtz, A. Bouhelier, *Ultrafast hybrid plasmonics*, Chem. Phys. Lett., Vol. 461, pp. 171–179 (2008).

В.С.Лебедев, А.С.Медведев, *Эффекты плазмон-экситонного взаимодействия при поглощении и рассеянии света двухслойными наночастицами металл/J-агрегат*, **Квантовая электроника**, Том 42, № 8, сс. 701-713 (2012).

В.С.Лебедев, А.С.Медведев, [*Оптические свойства трехслойных металлоорганических наночастиц с внешней оболочкой молекулярных J-агрегатов*](http://www.mathnet.ru/rus/qe15180), **Квантовая электроника**, Том [43,](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=contents&option_lang=rus&jrnid=qe&vl=43&yl=2013&series=0#showvolume) [№ 11,](http://www.mathnet.ru/php/contents.phtml?wshow=issue&jrnid=qe&year=2013&volume=43&issue=11&series=0&option_lang=rus) сс.1065–1077 (2013).

Б.И. Шапиро, Е.С. Тышкунова, А.Д. Кондорский, В.С. Лебедев, *Поглощение света и плазмон-экситонное взаимодействие в трехслойных наноcтержнях с золотым ядром и внешней оболочкой молекулярных J- и H-агрегатов красителей*, **Квантовая электроника**, Том 45, № 12, с. 1153-1160 (2015) DOI: 10.1070/QE2015v045n12ABEH015869

С.С. Моритака, А. В. Мекшун, В. С. Лебедев, А. Д. Кондорский, *Спектры поглощения и рассеяния света золотыми наносферами, покрытыми J-агрегатами красителя TDBC*, **Краткие сообщения по физике ФИАН,** № 9, cc. 41-48 (2020).

В.С. Лебедев, А.С. Медведев, *Поглощение и рассеяние света гибридными металлоорганическими наночастицами*, В книге: "**Нано-, пико- и фемтосекундная электроника и фотоника**", Глава 6, cc. 196-296, 2017 г., под редакцией Г.А. Месяца, Москва-Шанс, ISBN 978-599076-776-8.

Н.Т. Лам, А.Д. Кондорский, В.С. Лебедев, *Влияние эффектов плазмон-экситонного взаимодействия на спектры поглощения света гибридными системами из двух и трех трехслойных металлоорганических наночастиц*, **Известия РАН**, серия физическая, Том 82, № 4, стр. 512-518 (2018).

1. ***Локализованные на нанометровых масштабах световые поля в нановолноводах и оптических зондах ближнего поля с субволновой апертурой***

*Вопросы к теме, которые требуется отразить в реферате:*

* Характерные свойства локализованных (эванесцентных) полей.
* Способы получения локализованных полей субволнового масштаба.
* Возможные способы повышения плотности энергии субволновых полей.
* Результаты по нановолноводам с диэлектрической сердцевиной.
* Преимущества использования нановолноводов с полупроводниковой сердцевиной.
* Особенности пропускания нановолновода в ближнюю и дальнюю зоны.
* Обсуждение роли реального металла (стенок нановолновода) и резонансных эффектов.
* Общие черты в прохождении света через субволновые отверстия в каналах (металлических пленках) и в рассеянии света наночастицами.

**Литература**

Т.И. Кузнецова, В.С. Лебедев, *Прохождение эванесцентных мод через субволновую апертуру цилиндрического волновода. I. Приближение идеального металла*, **Квантовая электроника**, Том 39, № 5, сс. 455-462 (2009) [**Quantum Electronics**, Vol. 39, No 5, pp. 455-462 (2009)] **DOI: 10.1070/QE2009v039n05ABEH013958**

Т.И. Кузнецова, В.С. Лебедев. *Прохождение эванесцентных мод через субволновую апертуру цилиндрического волновода. II. Влияние диэлектрических свойств реального металла*, **Квантовая электроника**, Том 39, № 6, сс. 575-582 (2009) [**Quantum Electronics**, Vol. 39, No 6, pp. 575-582 (2009)] **DOI: 10.1070/QE2009v039n06ABEH013959**

В.С. Лебедев, Т.И. Кузнецова. *Преобразование оптического излучения в поля субволновых масштабов в конусообразных полупроводниковых волноводах*. В книге: «**Оптическая спектроскопия и стандарты частоты**» под редакцией Е.А. Виноградова и Л.Н. Синицы, Том 3: “Спектроскопия конденсированных сред. Лазеры и стандарты частоты”, Глава 2, Раздел 2.6, сс. 331-356, Издательство института оптики атмосферы СО РАН, Томск 2009 (494 стр.). ISBN 978-5-94458-105-1

Т.И. Кузнецова, В.С. Лебедев. *Прохождение световых волн через наноапертуру цилиндрического волновода*. В книге: «**Оптическая спектроскопия и стандарты частоты**» под редакцией Е.А. Виноградова и Л.Н. Синицы, Том 3: “Спектроскопия конденсированных сред. Лазеры и стандарты частоты”, Глава 2, Раздел 2.7, сс. 356-400, Издательство института оптики атмосферы СО РАН, Томск 2009 (494 стр.). ISBN 978-5-94458-105-1

1. ***Электромагнитные моды в диэлектрических резонаторах.***

Что такое моды в открытых резонаторах и их добротности?

Вывести решение векторных уравнений Максвелла без источников для дипольной TM моды. Граничные условия на бесконечности взять

1) пропорциональными сферической функции Ханкеля

2) сферической функции Бесселя

Построить графики полученных решений и провести их сравнительный анализ, найти добротности.

**Литература**

Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. 1948. 540 с.

Джексон. Классическая электродинамика. М.: "Мир", 1965. - 702 с

V. Klimov, Perfect Nonradiating Modes in Dielectric Nanoparticles. Photonics 2022, 9(12), 1005.

1. ***Странные связанные состояния в квантовой механике.***

Проверить правильность решения Неймана-Вагнера [1,2].

Построить графики потенциала Неймана-Вигнера и волновой функции, являющейся решением уравнения Шрёдингера с этим потенциалом.

Провести анализ решения Неймана-Вигнера и его отличий от обычных связанных состояний в квантовой механике.

**Литература**

von Neumann, J.; Wigner, E.P. Uber merkwiirdige diskrete Eigenwerte. Phys. Z. 1929, 30, 465.

Arai, M.; Uchiyama, J. On the von Neumann and Wigner Potentials. J. Differ. Equ. 1999, 157, 348.

1. ***Корреляционная функция флюоресценции.***

Что такое корреляционная функция флюоресценции одиночных молекул?

Показать, что корреляционная функция флюоресценции от N одинаковых молекул определяется выражением

G\_N (t)=1 + 1/N (G\_1(t)-1)

где G\_1(t)-корреляционная функция флюоресценции одиночной молекулы.

Вычислить корреляционную функция молекул с объемной концентрацией n, случайно движущихся в фокусе гауссова пучка.

**Литература**

J. Widengren, U. Mets and R. Rigler, Fluorescence Correlation Spectroscopy of Triplet States in Solution: A Theoretical and Experimental Study, J. Phys. Chem. 99, 13368 (1995).

S. R. Aragon and R. Pecora, Fluorescence correlation spectroscopy as a probe of molecular dynamics, J. Chem. Phys., 64,1791 (1976).

Thompson NL (1991) Fluorescence correlation spectroscopy. In: Lakowicz JR (ed) Topics in fluorescence spectroscopy. Plenum,New York, pp 337–378

1. ***Случайные блуждания и диффузия.***

Вывести решение нестационарного уравнения диффузии от точечного мгновенного источника [1] в 3-мерном пространстве и нарисовать зависимость от времени среднеквадратичного радиуса области диффузии.

Показать, что средний квадрат радиуса области диффузии пропорционален времени, и найти коэффициент пропорциональности.

Показать, что при случайном блуждании молекулы средний квадрат радиуса ее положения в момент времени t пропорционален t [2,3]

Обсудить связь случайных блужданий с уравнением диффузии [3].

**Литература**

А.Н.Тихонов, А.А.Самарский. Уравнения математической физики, Издательство · Наука, 2004 г.

Фейнмановские лекции , том 4 Глава 41 §4.

3. С.С. Степанов Стохастический мир Главы 2, 7 и др

https://synset.com/pdf/ito.pdf; https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-00071-8

1. ***КРС-спектроскопия полупроводников***

**Литература:**

С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин, Физическая оптика, Изд-во МГУ, 1998, лекции 8 и 23.

Питер, Ю., & Кардона, М. (2002). Основы физики полупроводников. Физматлит, гл.3,6-7

1. ***Фононы в полупроводниках и диэлектриках***

**Литература:**

С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин, Физическая оптика, Изд-во МГУ, 1998, лекции 8 и 23.

Питер, Ю., & Кардона, М. (2002). Основы физики полупроводников. Физматлит, гл.3,6-7

1. ***Лазерные филаменты***

**Литература:**

Couairon, A., & Mysyrowicz, A. (2007). Femtosecond filamentation in transparent media. Physics reports, 441(2-4), 47-189.

Климов, В. В., & Наноплазмоника, М. (2009). : Физматлит, гл.2.

1. ***Основные оптические носители информации***

**Литература:**

К.К.Шварц. Физика оптической записи в диэлектриках и полупроводниках, Рига, 1986

А.Л. Микаэлян. Оптические методы в информатике: Запись, обработка и передача информации, М., 1990.