**Список вопросов к зачету в весеннем семестре**

1. ***Самофокусировка в режиме релятивистского самозахвата***

**Литература:**

1. Г. А. Аскарьян, Эффект самофокусировки, УФН 107, 507(1972).

2. А. А. Маненков, Обзор, Самофокусировка лазерных пучков, УФН 181, 107 (2011).

3. С. В. Чекалин, В. П. Кандидов, Обзор, От самофокусировки световых пучков к филаментации лазерных импульсов, УФН 183, 133 (2013).

4. В. Ю. Быченков, В. Ф. Ковалев, Самозахват лазерного света для ультрарелятивистских интенсивностей, Письма в ЖЭТФ 120, 346 (2024).

5. В. Ю. Быченков, Обзор, Лазерно-плазменная физика высоких энергий при релятивистском самозахвате экстремального света, Квантовая электроника 54, 265 (2024).

1. ***Лазерное ускорение электронов***

**Литература:**

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

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

3. 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).

4. В. Ю. Быченков, Обзор, Лазерно-плазменная физика высоких энергий при релятивистском самозахвате экстремального света, Квантовая электроника 54, 265 (2024).

1. ***Радиационно-ядерные приложения лазерного ускорения электронов***

**Литература:**

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

2. 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).

3. 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).

4. В. Ю. Быченков, Обзор, Лазерно-плазменная физика высоких энергий при релятивистском самозахвате экстремального света, Квантовая электроника 54, 265 (2024).

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

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)

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

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

В работе 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. ***Ориентационные оптические эффекты в нематических жидких кристаллах***

Обзор основных видов нелинейных 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) 10.1080/14645180110000000

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. ***Оптические эффекты в азобензолсодержащих полимерах и их применение***

Необходимо описать механизм фотоиндуцированного изменения оптических свойств азополимеров (конформационные переходы и изменение функции распределения поглощающих фрагментов), рассмотреть основные области применения фотоактивных азополимеров.

**Литература:**

K.G. Yager and C.J. Barrett, Azobenzene polymers for photonic applications

C. Fedele et al., Photochemical & Photobiological Sciences 21, 1719 (2022)

Z. Mahimwalla et al., Azobenzene photomechanics: prospects and potential applications, Polym. Bull. DOI 10.1007/s00289-012-0792-0

1. ***Оптическая кристаллизация тонких 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

10.1016/j.jnoncrysol.2024.122952

1. ***Лазерно-индуцированные периодические поверхностные структуры в тонких пленках аморфных халькогенидов***

**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 халькогенидных 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

10.1515/nanoph-2024-0005

1. ***Методика решения уравнений Гейзенберга для открытых систем методом Фурье-разложения на примере квантового линейного осциллятора. Описание диссипации. Вычисление спектральной плотности мощности.***

**Литература:**

I.E.Protsenko, A.V.Uskov “Quantum Fluctuations in the Small Fabry–Perot Interferometer” Symmetry, v15, p346 (2023).

M.J.Collett, C.W.Gardiner ‘Squeezing of intracavity and traveling-wave light fields

produced in parametric amplification’ Phys.Rev.A, v30 N3 p1386 (1986)

1. ***Методики приближенного решения нелинейных уравнений Гейзенберга для открытых систем методом Фурье-разложения на примере моделей нелинейного осциллятора и двухуровневого лазера.***

**Литература:**

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov “Single-photon optical bistability in a small nonlinear cavity” Phys. Rev. A v108, р023724 (2023)

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov “Oscillator laser model” Annalen der Physik, p2200298 (2022).

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. v44, p1415 (2019).

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

1. ***Физические причины некоторых дисперсионных эффектов в оптике: линейный показатель преломления и замедление света; electromagnetically induced transparency (EIT); дисперсионная и абсорбционная оптическая бистабильность; временной фотонный кристалл.***

**Литература:**

С.А.Ахманов, С.Ю.Никитин «Физическая оптика» М., изд.МГУ 1998 (лекции 18,19)

М.О.Скалли, М.С.Зубайри «Квантовая оптика» М., Физматлит 2003, раздел 7.3

Х.Гиббс «Оптическая бистабильность» М., Мир 1988 гл.1

M.M.Asgari, et.al “Photonic time crystals: Theory and applications” arXiv:2404.04899v1 (2024).

1. ***Математические модели квантовых линейного и нелинейного интерферометров и их результаты***

**Литература:**

I.E.Protsenko, A.V.Uskov “Quantum Fluctuations in the Small Fabry–Perot Interferometer” Symmetry, v15, p346 (2023).

Igor E. Protsenko, Alexander V. Uskov “Single-photon optical bistability in a small nonlinear cavity” Phys. Rev. A v108, р023724 (2023)

1. ***Квантовая модель лазера без учета флюктуаций населенностей. Вывод уравнений, беспороговая генерация и коллективное расщепление Раби. Сравнение с результатами полуклассической теории.***

**Литература:**

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).

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. 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

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

1. ***Модель лазера, как системы обычных и перевернутых осцилляторов.***

**Литература:**

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

S. Stenholm, “The Theory of Quantum Amplifiers” Phys. Scr. v1986, T12, p56 (1986)

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 ℏω\_p 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.*
* *Конкуренция вкладов поглощения и рассеяния света в полное сечение экстинкции. Влияние формы наночастиц на их оптические спектры.*

**Литература**

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

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

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

4. 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).

5. 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. ***Упорядоченные молекулярные агрегаты органических красителей.***

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

* *Формирование молекулярных агрегатов органических красителей. Экситоны Френкеля. Типы молекулярной упаковки в агрегатах цианиновых красителей.*
* *Дисперсионное соотношение для простейших агрегатов.*
* *Диэлектрические свойства молекулярных агрегатов. Скалярная и тензорные модели.*
* *Оптические свойства и спектры J- и H-агрегатов красителей.*

**Литература**

1. А.С. Давыдов, Теория молекулярных экситонов. М.: Наука, 1968.

2. T. Kobayashi (Ed.) J-Aggregates (Singapore: World Scientific, 1996) https://doi.org/10.1142/3168

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

4. С.С.Моритака, В.С.Лебедев, Обобщенная аналитическая модель описания спектров поглощения света линейными молекулярными агрегатами, Письма в ЖЭТФ, том 118, вып. 11, сc. 794 -- 801 (2023).

5. S. S.Moritaka, V. S. Lebedev, Orientational effects in the polarized absorption spectra of molecular aggregates, Journal of Chemical Physics, Vol. 160, 074901 (2024). DOI: 10.1063/5.0188128

6. В. С. Лебедев, А. Д. Кондорский, Оптика плазмон-экситонных наноструктур: теоретические модели и физические явления в системах металл/J-агрегат, УФН, Том, 195, № 1, сс. 50-93 (2025) DOI: 10.3367/UFNr.2024.08.039742

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:*

* Гибридные металлоорганические наночастицы “ядро-оболочка”.
* Основы теоретического описания оптических свойств гибридных наночастиц “ядро-оболочка”. Обобщенная теория Ми. Квазистатическон приближение для расчнта сечений поглощения и рассеяния света гибридными наночастицами.
* Плазмон-экситонное взаимодействие. Режимы плазмон-экситонной связи (слабая связь, сильная связь, ультрасильная связь).
* Модели плазмон-экситонной связи. Аналитическое описание частот гибридных мод двухслойной металлоорганической наночатицы. Модель связанных осцилляторов. Формула Фано.
* Влияние плазмон-экситонного на спектры поглощения и рассеяния света.

**Литература**

1. В. С. Лебедев, А. Д. Кондорский, Оптика плазмон-экситонных наноструктур: теоретические модели и физические явления в системах металл/J-агрегат, УФН, Том, 195, № 1, сс. 50-93 (2025) DOI: 10.3367/UFNr.2024.08.039742

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

3. 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).

4. В.С.Лебедев, А.С.Медведев, Оптические свойства трехслойных металлоорганических наночастиц с внешней оболочкой молекулярных J-агрегатов, Квантовая электроника, Том 43, № 11, сс.1065–1077 (2013).

5. 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

6. 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.

7. С.С. Моритака, В.С. Лебедев, Влияние геометрических параметров и оптических констант трехслойных металоорганических наносфер на поведение их спектров поглощения, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 12, СС. 112-120 (2023).

8. С.С. Моритака, В.С. Лебедев, Анализ спектров экстинкции и режимов ближнепольной электромагнитной связи в плекситонных наночастицах в модели связанных осцилляторов, Квантовая электроника, 54, № 6, сс. 362-370 (2024)

1. ***Вывести формулу для дипольной силы действующей на поляризуемую микрочастицу***



(μ - дипольный момент)

исходя из уравнения динамики 2 зарядов противоположного знака, образующих эту частицу. Предполагается, что заряды очень близки к друг другу (дипольное приближение)

**Литература**

По замыслу лектора, данная тема подразумевает индивидуальную работу аспиранта без использования литературы с опорой на базовые курсы по электродинамике и теории поля.

1. ***Проанализировать силы, действующие на тела, которые находятся в среде, состоящей из быстро, беспорядочно и прямолинейно движущихся очень маленьких частиц, которые при отражении от тел замедляются, то есть их импульс уменьшается.***

Показать, что силы между двумя сферическими телами являются силами притяжения, обратно пропорциональными квадрату расстоянию между частицами. Найти зависимость сил от размеров тел предполагая, что они сферические. Оценить параметры случайно движущихся частиц, которые нужны для того, чтобы получить гравитационную постоянную. Какие проблемы возникают при таком описании? Какими силы будут в случае трех сферических частиц?

**Литература**

По замыслу лектора, данная тема подразумевает индивидуальную работу аспиранта без использования литературы с опорой на базовые курсы по механике.

1. ***Структура фотонного кристалла. Запрещенные зоны. Влияние поляризации. Методы увеличения ширины запрещенной зоны. Примеры трехмерных фотонных кристаллов.***

**Литература**

• J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, and R. D. Meade, Photonic Crystals: Molding the Flow of Light, 2nd edition, PUP 2008

• K. Busch, S. Lolkes, R. B. Wehrspohn, H. Foll, Photonic Crystals: Advances in Design, Fabrication, and Characterization, Wiley 2006

1. ***Фотоннокристаллическое оптоволокно (ФКО). Типы применяемых ФКО, их свойства и преимущества. Одномодовое волокно. Основные механизмы потерь в ФКО.***

**Литература**

• J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, and R. D. Meade, Photonic Crystals: Molding the Flow of Light, 2nd edition, PUP 2008

• F. Poli, A. Cucinotta, S. Selleri, Photonic Crystal Fibers, Springer, 2007

• Advances in Photonic Crystal and Devices, eds N. Kumar, B. Suthar, CRC Press, 2020.

1. ***Электрооптические модуляторы с использованием фотонных кристаллов.***

**Литература:**

• M. Li, J. Ling, Y. He, U. A. Javid, Sh. Xue & Q. Lin, Nature Comm. 11, 4123 (2020).

• C. Han, M. Jin, Y. Tao, B. Shen, X. Wang, Micromachines 13, 400 (2022)

• J. H. Wülbern, A. Petrov, M. Eich, Opt. Express 17, 304 (2009)

• E. Li, Q. Gao, S. Liverman, A.X. Wang, Opt. Lett. 43, 4429 (2018)

1. ***Области применения фотонных чипов в сопоставлении с электронными***

**Литература:**

Косолобов, С. С., Пшеничнюк, И. А., Тазиев, К. Р., Земцова, А. К., Земцов, Д. С., Смирнов, А. С., ... & Драчев, В. П. (2024). Кремниевая интегральная фотоника. Успехи физических наук, 194(11), 1223-1239.

1. ***Основные материалы для фотонных чипов и их ключевые характеристики***

**Литература:**

Косолобов, С. С., Пшеничнюк, И. А., Тазиев, К. Р., Земцова, А. К., Земцов, Д. С., Смирнов, А. С., ... & Драчев, В. П. (2024). Кремниевая интегральная фотоника. Успехи физических наук, 194(11), 1223-1239.

1. ***Использование тензоров в линейной и нелинейной кристаллооптике***

**Литература:**

Коротеев, Н. И., & Шумай, И. Г. (1991). Физика мощного лазерного излучения.

Simoncelli, S., Pensa, E. L., Brick, T., Gargiulo, J., Lauri, A., Cambiasso, J., ... & Cortés, E. (2019). Monitoring plasmonic hot-carrier chemical reactions at the single particle level. Faraday Discussions, 214, 73-87.

Gindl, A., Čmel, M., Trojánek, F., Malý, P., & Kozák, M. (2025). Ultrafast room-temperature valley manipulation in silicon and diamond. Nature Physics, 1-6.

Krasin, G. K., Kovalev, M. S., Kudryashov, S. I., Danilov, P. A., Martovitskii, V. P., Gritsenko, I. V., ... & Levchenko, A. O. (2022). Polarization-dependent near-IR ultrashort-pulse laser ablation of natural diamond surfaces. Applied Surface Science, 595, 153549.

1. ***Поляризационные эффекты в лазерной физике***

**Литература:**

Коротеев, Н. И., & Шумай, И. Г. (1991). Физика мощного лазерного излучения.

Simoncelli, S., Pensa, E. L., Brick, T., Gargiulo, J., Lauri, A., Cambiasso, J., ... & Cortés, E. (2019). Monitoring plasmonic hot-carrier chemical reactions at the single particle level. Faraday Discussions, 214, 73-87.

Gindl, A., Čmel, M., Trojánek, F., Malý, P., & Kozák, M. (2025). Ultrafast room-temperature valley manipulation in silicon and diamond. Nature Physics, 1-6.

Krasin, G. K., Kovalev, M. S., Kudryashov, S. I., Danilov, P. A., Martovitskii, V. P., Gritsenko, I. V., ... & Levchenko, A. O. (2022). Polarization-dependent near-IR ultrashort-pulse laser ablation of natural diamond surfaces. Applied Surface Science, 595, 153549.