

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»
(ГОУВПО «АмГУ»)

Синхротронное излучение

**Учебно-методический комплекс дисциплины
по направлению подготовки
010600.68 – «Прикладные математика и физика»**

Утвержден на заседании кафедры теоретической и
экспериментальной физики

«__» _____ 20__г.,

(протокол № __ от «__» _____ 20__г.)

Зав. кафедрой

_____ Е.А. Ванина

Печатается по
решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического
факультета
Амурского государственного
университета

Котов Е.А.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Синхротронное излучение» для направления подготовки 010600.68 «Прикладные математика и физика». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2011.

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи магистрантам очной формы обучения по направлению подготовки 010600.68 «Прикладные математика и физика» для формирования знаний по основам библиографии. В комплексе отражены основные направления научной деятельности преподавателей факультета.

Амурский государственный университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|----|----------------------------------|----|
| 1. | Рабочая программа | 4 |
| 2. | Краткое содержание лекций | 10 |
| 3. | Вопросы к зачету | 15 |
| 4. | Критерий оценки знаний студентов | 16 |
| 5. | Билеты | 17 |

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«Амурский государственный университет»
(ГОУВПО «АмГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР

_____ В.В. Проказин

«_____» _____ 2011

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «Синхротронное излучение»

Направление подготовки 010600.68 - «Прикладные математика и физика»

Курс 6, семестр – 11, зачет 11 семестр

Лекции – 36 часов;

Самостоятельная работа – 32 часов;

Всего – 68 часов

Составитель: канд. физ.-мат. наук, Котов Е.А.

Инженерно-физический факультет

Кафедра теоретической и экспериментальной физики

Благовещенск

2011

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 010600.68 - «Прикладные математика и физика»

Разработчик: канд. физ.-мат. наук, Е.А.Котов.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

«___» _____ 2011 г. (протокол № ____)

Зав. кафедрой _____ (Е. А.Ванина)

Рабочая программа рассмотрена на заседании учебно-методического совета направления подготовки 010600.68 - «Прикладные математика и физика»

«___» _____ 2011 г. (протокол № ____)

Председатель УМСМ _____ (_____)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от

_____ протокол № _____

Зав. кафедрой _____ И.О.Ф.
подпись, дата

Начальник учебно-методического
управления _____
(подпись, И.О.Ф.)

«___» _____ 20___ г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой

(подпись, И.О.Ф.)

«___» _____ 20___ г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель изучения дисциплины: сформировать теоретические представления о синхротронном излучении как физическом явлении, а также представления о современных методах анализа материалов, с использованием синхротронного излучения; ознакомить с современными синхротронными лучевыми технологиями

Задачи:

1. Сформировать минимум физических и системно-теоретических знаний, позволяющих понимать физическую природу, механизмы и закономерности синхротронного излучения и физических основ его применения.

2. Сформировать знания об устройствах и характеристиках оборудования каналов синхротронного излучения

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекции - 36 часов

Введение. (2 часа)

Цели и задачи курса. История открытия синхротронного излучения.

Классификация электромагнитного излучения и рентгеновские лучи в этой классификации. Свойства рентгеновских лучей. Первые эксперименты.

Глава 1. Основы теории синхротронного излучения (14 часов)

1.1. Характеристики электромагнитного излучения.

1.2. Основы теории электромагнитного излучения.

1.3. Уравнение переноса излучения.

1.4. Спектр излучения. Поляризация излучения.

1.5. Излучение движущихся зарядов.

1.6. Излучение нерелятивистских частиц.

1.7. Тормозное излучение. Реакция излучения.

1.8. Синхротронное излучение заряда в вакууме.

1.9. Синхротронное излучение системы электронов.

1.9 Поляризация синхротронного излучения.

1.10 Циклотронное излучение.

1.11 Излучение в периодических магнитных полях. Вигглеры и ондуляторы.

1.12 Лазеры на свободных электронах.

Глава 2. Источники синхротронного излучения (6 часов)

2.1. Синхротроны и накопители.

2.2. Специализированные источники синхротронного излучения.

2.3. Конструкции каналов СИ. Организация работ на каналах СИ.

2.4. Оптика каналов СИ. Монохроматоры и дифрактометры.

2.5. Источники 3 поколения.

2.6 Источники 4 поколения

2.7 Компактные источники синхротронного излучения.

Глава 3. Рентгеноструктурный анализ на СИ (6 часов)

3.1. Суть рентгеноструктурного анализа.

3.2. Применение СИ в рентгеноструктурном анализе монокристаллов.

3.3. Рентгеноструктурный анализ с разрешением по времени.

3.4. Дифракция порошков

Глава 4. Спектроскопия на источниках СИ (6 часов)

4.1. Спектральные методы с использованием СИ.

4.2. Спектроскопия с временным разрешением.

4.3. Фотоэлектронная спектроскопия.

4.4. Рентгеновская абсорбционная спектроскопия (XAFS-спектроскопия)

Глава 5. Лазеры на свободных электронах (2 часа)

5.1. Принципы работы ЛСЭ.

5.2. Когерентные источники рентгеновского излучения.

Самостоятельная работа - 32 часа.

Раздел 1. Свойства рентгеновских лучей .

Свойства излучения рентгеновской трубки. Волновое уравнение; описание бегущих волн. Поляризация плоской волны. Волновые свойства рентгеновских лучей. Корпускулярные свойства рентгеновских лучей. Упругое и неупругое рассеяние. Комптоновское рассеяние. Рентгеновская флуоресценция. Поглощение рентгеновских лучей.

Раздел 2. Средства контроля и диагностики пучков СИ.

Детекторы рентгеновского излучения. Координатные детекторы. Телевизионные детекторы. IP-детекторы-детекторы на пластинах с оптической памятью.

Раздел 3. Устройства управления пучками СИ.

Заслонки и коллиматоры. Мониторы пучков рентгеновских лучей. Монохроматоры и кристалл-спектрометры. Рентгеновские зеркала.

Вопросы к зачету по курсу "Синхротронное излучение"

Основы синхротронного излучения

1. Интенсивность излучения, поток излучения, давление излучения.
2. Уравнения переноса для вакуума и среды.
3. Поляризация излучения. Параметры Стокса.
4. Излучение движущихся зарядов. Вычисление скалярного потенциала.

5. Излучение нерелятивистских частиц. Вычисление напряженностей электрического и магнитных полей. Энергия излучаемая в единицу времени.

6. Уравнение движения электрона в однородном магнитном поле. Мощность синхротронного излучения. Вычисление спектра излучения.

7. Синхротронное излучение ансамбля электронов. Спектр излучения, коэффициент поглощения.

8. Поляризация синхротронного излучения.

Источники синхротронного излучения

9. Устройство синхротрона

10. Накопительные кольца

11. Источники СИ 3 поколения

12. Источники 4 поколения

13. Вигглеры и ондуляторы. Свойства ондуляторного излучения.

Рентгеноструктурный анализ на СИ

14. Суть рентгеноструктурного анализа с использованием СИ

15. Применение СИ в рентгеноструктурном анализе монокристаллов

Спектроскопия на источниках СИ

16. Принципы XAFS-спектроскопии

17. Характеристика методов спектроскопии с использованием методов СИ

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Тернов И.М., Михайлин В.В. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. М. Энергоатомиздат. 1986. – 296с.
2. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры вещества. / Под редакцией Л.А. Асланова.– М, ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 672с.
3. Малов И.Ф. Механизмы космического излучения.- М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 160с.
4. Яловега Г.Э., Родина И.С. Солдатов А.В. Методические указания по курсу синхротронное излучение: методы исследования вещества. Часть 1. Классическая теория синхротронного излучения. Изд-во РГУ: г. Ростов-на-Дону, 2004. – 23с.

Дополнительная литература

5. Синхротронное излучение в исследовании твёрдых тел. Пер. с англ. Под редакцией А.А. Соколова. М. Мир. 1970. – 291с.
6. Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Исследования синхротронного излучения: состояние и перспективы. УФН. 1977. т.122. с.396-418.

7. Синхротронное излучение, свойства и применения. Под ред. К.Кунца. М. Мир. 1981. – 526с.
8. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию твёрдого тела. М. изд-во МГУ. 1987. – 192с.
9. Болдырев В.В., Ляхов Н.З., Толочко Б.П., Вазина А.А. и др. Дифрактометрия с использованием синхротронного излучения. Наука. Новосибирск. 1989г. – 280с.
10. Кочубей Д.И., Бабанов Ю.А., Замираев К.И, Рентгеноспектральный метод излучения структуры аморфных тел: EXAFS-спектроскопия. Новосибирск. Наука. 1988. – 306с.
11. Рентгеновская оптика и микроскопия. Сб. статей под редакцией Г. Шмаля и Д.Рудольфа. М. Мир. 1987. – 463с.
12. Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние. Сборник лекций. Школа молодых специалистов. 2009.- ИЯФ СО РАН, Новосибирск. – 90с.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ КУРСА «СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ»

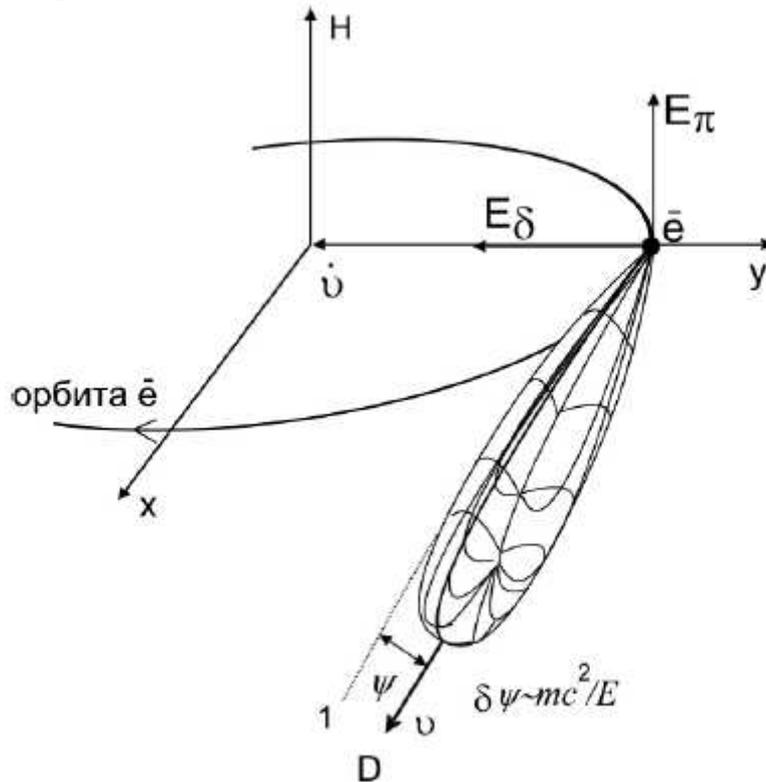
Введение.

Синхротронное излучение (СИ) – это электромагнитное излучение релятивистских, т.е. движущихся со скоростью близкой к скорости света электронов, ускоряемых в циклических ускорителях. В последних используется движение заряда по окружности в однородном магнитном поле. При таком движении электрон становится источником мощного электромагнитного излучения. При развитии ускорительной техники (бетатронов) возникла проблема ограничения энергии электронов, достижимой в бетатроне. В 1944 году Д.Д. Иваненко и И.Я. Померанчук показали, что потери на магнитотормозное излучение в циклическом ускорителе пропорциональны четвертой степени энергии, до которой ускорены электроны. При этом приобретаемая электроном энергия становится сравнимой с мощностью радиационных потерь. Явление излучения электромагнитной волны релятивистским электроном получило название – «светящийся электрон». Визуально синхротронное излучение наблюдалось в 1947 году в лаборатории, руководимой Поллоком, на одном из первых синхротронов. Наблюдал его впервые Флойд Хабер как голубое свечение на орбите электрона. Излучение получило название синхротронного. Вначале СИ рассматривалось как вредное, но затем стало применяться для исследования вещества. Сегодня синхротронное излучение применяется в радиоастрономии, медицине, археологии и т.д. Наиболее важными волновыми свойствами рентгеновских лучей являются дифракция и отражение, а также сопровождающая эти явления поляризация. Корпускулярные свойства заключаются в способности генерировать новые фотоны при столкновении рентгеновских фотонов с веществом (флуоресценция), изменять свою энергию в результате эффекта Комптона и поглощаться при взаимодействии с веществом. Рентгеновские лучи представляются потоком фотонов, которые характеризуются энергией, импульсом и спином.

Глава 1. Основы синхротронного излучения.

Основной характеристикой излучения следует считать его интенсивность. В общем случае она зависит от координат точки наблюдения, времени, направления излучения, его частоты и поляризации. Кроме того, излучение характеризуется потоком излучения и давлением. Электромагнитное излучение, несущее в себе переменные электрические и магнитные поля, может быть описано уравнениями Максвелла. Плотность энергии электромагнитного поля квадратично зависит от напряженностей электрического и магнитных полей. Поток вектора электромагнитной энергии выражается вектором Умова-Пойтинга. На практике используются

усредненные по времени величины. Спектр излучения (распределение интенсивности по частоте) зависит от переменности электрического поля по времени. Для вычисления спектра излучения необходимо знать поле в течение длительного промежутка времени, тогда можно определить спектр с определенным разрешением по частоте. Величины, характеризующие поле и излучение, определяются Фурье-преобразованием от величин, зависящих от времени. Синхротронное излучение обладает такими свойствами, что при определенных углах можно наблюдать циркулярную или линейную поляризацию.



Источник: Яловега Г.Э., Родина И.С. Солдатов А.В. Методические указания по курсу синхротронное излучение: методы исследования вещества. Часть 1. Классическая теория синхротронного излучения. Изд-во РГУ: г. Ростов-на-Дону, 2004. – с. 14.

Рис.1 Схема расположения векторов E_{π} и E_{σ} компонент линейной поляризации и распределения излучения релятивистского электрона, движущегося по круговой орбите: 1 – направление излучения. D – точка наблюдения.

Экспериментальные исследования показали, что синхротронное излучение почти полностью линейно поляризовано в плоскости орбиты (в хорошем согласии с теорией).

При изучении излучения движущихся зарядов вдоль траектории $r = r_0(t)$ со скоростью $u(t) = dr_0(t)/dt$ плотности зарядов и токов можно записать через δ -функции и получить запаздывающие скалярный и векторный потенциалы в форме потенциалов Ленарда-Вихерта. Через

известные выражения находятся выражения для напряженностей электрического и магнитных полей. А также энергия и мощность излучения. Следует отметить, что заряды излучают только в случае ускоренного движения

При рассмотрении излучения частицы, движущейся со скоростью много меньшей, чем скорость света, следует рассматривать «дальнюю» зону ($\mathbf{R} \gg \lambda c/u$), где доминирует поле излучения. Через найденные напряженности электрического и магнитного полей, можно найти вектор Пойтинга и формулу Лармора:

$$P = \frac{2q^2 (du/dt)^2}{3c^3} \text{ (эрг/сек)}$$

Из этого выражения видно, что излучаемая энергия пропорциональна квадратам заряда и ускорения. Геометрически излучение распространяется в направлении перпендикулярном ускорению, кроме того, вектор \mathbf{E}_{rad} лежит в плоскости $(d\mathbf{u}/dt, \mathbf{n})$ и излучение линейно поляризовано.

Тормозное излучение возникает из-за изменения скорости свободного электрона в кулоновском поле ядра. Захвата электрона не происходит, поэтому оно еще называется свободно-свободным. При таком рассеянии электрон переходит с одной гиперболической орбиты на другую. Для нерелятивистского электрона (в классическом подходе) движущемся по прямой траектории в кулоновском поле ядра вторая производная дипольного момента электрона $\mathbf{d} = -e\mathbf{R}$ равна

$$\frac{d^2\mathbf{d}}{dt^2} = -e \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

После Фурье-преобразования этого уравнения имеем:

$$\hat{d}(\omega) \sim \begin{cases} \frac{e\Delta\mathbf{v}}{(2\pi\omega^2)} & \omega\tau \ll 1 \\ 0 & \omega\tau \gg 1 \end{cases}$$

Здесь $\tau \sim b/v$ время столкновения с ионом, $\Delta\mathbf{v}$ - изменение скорости электрона, b - кратчайшее расстояние от иона до траектории электрона.

Можно считать, что изменение скорости происходит преимущественно перпендикулярно пути и равно

$$|\Delta\mathbf{v}| = \frac{2Ze^2}{mbv}$$

тогда изменение энергии на единичный интервал частот равно

$$\frac{dW(b)}{d\omega} = \begin{cases} \frac{8Z^2e^6}{3\pi c^3 m^2 v^2 b^2} & b \ll v/\omega \\ 0 & b \gg v/\omega \end{cases}$$

Полная энергия, излучаемая в единицу времени в единичном объеме в единичном интервале частот определяется выражением

$$\frac{dW}{d\omega dV dt} = \frac{16e^6}{3c^3 m^2 v} n_e n_i Z^2 \ln \frac{b_{\max}}{b_{\min}}$$

где n_i – концентрация ионов, n_e – концентрация электронов, а элемент площади вокруг одного иона $dA = 2\pi b db$, кроме того, должно выполняться условие $b \ll v / \omega$.

Если электрон релятивистский, но выполняется условие $h\nu \ll mc^2$, выражение для испускаемой мощности будет иметь вид

$$\frac{dW}{d\omega dV dt} \sim \frac{16Z^2 e^6 n_e n_i}{3c^4 m^2} \ln \left(\frac{0,68\gamma^2 c}{\omega b_{\min}} \right)$$

где $b_{\min} \sim h / mc$, γ - лоренц-фактор электрона.

При рассмотрении синхротронного излучения заряда в вакууме используем уравнение движения электрона в однородном магнитном поле

$$\frac{d(mV)}{dt} = \frac{e[V \times B]}{c}$$

причем электрон может быть релятивистским, то есть его энергия $\gamma = mc^2$.

В результате громоздких вычислений можно получить выражение для мощности излучения с поляризацией в направлении OY, приходящихся на одну гармонику

$$P_{n\Omega} = n^2 \frac{e^2 \omega_0^2}{6\pi^3 c \sin^{10} \theta} \frac{1}{\gamma^4} (1 + \gamma^2 \psi^2)^2 K_{2/3}^2(y)$$

где n – номер гармоники, $K_\nu(y)$ - модифицированная функция Бесселя.

В результате интегрирования по телесному углу и частоте можно получить полную мощность, излучаемую частицей

$$P = \frac{2e^4 B^2 \sin^2 \theta}{3m^2 c^3} \gamma^2$$

Глава 2. Источники синхротронного излучения.

Одним из источников синхротронного излучения является циклический ускоритель заряженных частиц (синхротрон), в котором электроны, подталкиваемые продольными импульсами электрического поля, ускоряются до скорости, близкой к скорости света, а постоянные магниты направляют их движение по замкнутой кольцевой траектории.

Каждый раз, пролетая через поле поворачивающего магнита, ультрарелятивистские электроны получают центростремительное ускорение и генерируют синхротронное излучение.

Для производства мощных пучков синхротронного излучения используются накопительные кольца, которые служат для накопления и длительного удержания пучка ускоренных частиц для производства фотонного излучения. Эти устройства имеют специально оборудованные каналы для вывода пучков синхротронного излучения из поворотных магнитов для использования в прикладных целях. Накопительное кольцо, по сравнению с синхротроном, имеет более плавную траекторию и в течение длительного времени поддерживает стабильное магнитное поле для того, чтобы обеспечить сохранность полученных электронов и нужную стабильность параметров пучка.

К источникам третьего поколения следует отнести специализированные накопительные кольца с большим числом прямолинейных участков достаточной длины для встраивания ондуляторов или вигглеров с каналами вывода СИ. Важной особенностью источников СИ третьего поколения является способность дополнительной инжекции для поддержания тока электронного пучка в накопительном кольце практически без прерывания работы источника СИ. Накопительные кольца третьего поколения улучшают такие качества рентгеновского излучения как поток и яркость.

К источникам четвертого поколения относятся рентгеновский лазер на свободных электронах и источники СИ на базе линейных ускорителей с возвратом мощности.

Глава 3. Рентгеноструктурный анализ на СИ.

Главными объектами рентгеноструктурных исследований, которые лучше проводить с помощью СИ, являются: кристаллография объектов микронного и субмикронного размера, а также кристаллография макромолекулярных кристаллов, в частности, биологических веществ. Кроме того, с помощью СИ исследуются структуры конденсированных состояний под внешними воздействиями. В этих случаях применение СИ является наиболее эффективным методом.

Наиболее ярким примером структурных исследований является исследование строения промежуточных и возбужденных структур в различных химических реакциях. Эти исследования относятся к разряду экспериментов с разрешением по времени и отличаются от обычного рентгеноструктурного анализа.

В исследованиях с разрешением времени могут решаться разные задачи. В одних определяют структуру вещества в переходном состоянии, в других – следят за динамикой процесса во времени.

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ ПО КУРСУ "СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ"

Основы синхротронного излучения

1. Интенсивность излучения, поток излучения, давление излучения.
2. Уравнения переноса для вакуума и среды.
3. Поляризация излучения. Параметры Стокса.
4. Излучение движущихся зарядов. Вычисление скалярного потенциала.
5. Излучение нерелятивистских частиц. Вычисление напряженностей электрического и магнитных полей. Энергия излучаемая в единицу времени.
6. Уравнение движения электрона в однородном магнитном поле. Мощность синхротронного излучения. Вычисление спектра излучения.
7. Синхротронное излучение ансамбля электронов. Спектр излучения, коэффициент поглощения.
8. Поляризация синхротронного излучения.

Источники синхротронного излучения

9. Устройство синхротрона
10. Накопительные кольца
11. Источники СИ 3 поколения
12. Источники 4 поколения
13. Вигглеры и ондуляторы. Свойства ондуляторного излучения.

Рентгеноструктурный анализ на СИ

14. Суть рентгеноструктурного анализа с использованием СИ
15. Применение СИ в рентгеноструктурном анализе монокристаллов

Спектроскопия на источниках СИ

16. Принципы XAFS-спектроскопии
17. Характеристика методов спектроскопии с использованием методов СИ

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

| Оценка | Полнота, системность, прочность знаний | Обобщенность знаний |
|--------|---|---|
| «5» | Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами. | Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов. |
| «4» | Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них. | Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями. |
| «3» | Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного – материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправление с помощью преподавателя. | Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов. |
| «2» | Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя. | Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы. |
| «1» | Полное незнание и непонимание учебного материала (студент не может ответить ни на один поставленный вопрос). | _____ |

Зачет – итоговая аттестация по дисциплине. Зачет по этим видам контроля складывается из текущей работы студента в семестре, промежуточного контроля, самостоятельной работы и ответа на зачете (35% - промежуточный контроль знаний студентов, 65% - результаты итогового зачета).

Кафедра имеет право перераспределить это соотношение до 10%.

Промежуточный контроль – осуществляется один раз в семестр в виде контрольной точки. Преподаватель проверяет знания студентов в виде контрольных работ, тестов и др. по блоку изученной дисциплины. Фиксируется в журналах успеваемости, находящихся в деканатах.

Результаты учитываются при допуске к сдаче зачета.

БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНАМ

| | |
|--|--|
| <u>Амурский Государственный Университет</u> | |
| Утверждено на заседании кафедры " ____ " _____ 2011г. Заведующий кафедрой "Утверждаю" | Кафедра ТиЭФ Факультет инженерно-физический Курс 6 Дисциплина - " Синхротронное излучение " |
| Экзаменационный билет № 1 | |
| 1. Интенсивность излучения, поток излучения, давление излучения. 2. Накопительные кольца. | |

| | |
|---|--|
| <u>Амурский Государственный Университет</u> | |
| Утверждено на заседании кафедры " ____ " _____ 2010г. Заведующий кафедрой "Утверждаю" | Кафедра ТиЭФ Факультет инженерно-физический Курс 6 Дисциплина - " Синхротронное излучение " |
| Экзаменационный билет № 2 | |
| 1. Уравнения переноса для вакуума и среды. 2. Вигглеры и ондуляторы. Свойства ондуляторного излучения. | |

| | |
|--|--|
| <u>Амурский Государственный Университет</u> | |
| Утверждено на заседании кафедры " ____ " _____ 2010г. Заведующий кафедрой "Утверждаю" | Кафедра ТиЭФ Факультет инженерно-физический Курс 6 Дисциплина - " Синхротронное излучение " |
| Экзаменационный билет № 3 | |
| 1. Поляризация излучения. Параметры Стокса. 2. Источники 4 поколения. | |

| | |
|--|--|
| <u>Амурский Государственный Университет</u> | |
| Утверждено на заседании кафедры " ____ " _____ 2010г. Заведующий кафедрой "Утверждаю" | Кафедра ТиЭФ Факультет инженерно-физический Курс 6 Дисциплина - " Синхротронное излучение " |
| Экзаменационный билет № 4 | |
| 1. Излучение движущихся зарядов. Вычисление скалярного потенциала. 2. Источники СИ 3 поколения. | |

| | |
|---|--|
| <u>Амурский Государственный Университет</u> | |
| Утверждено на заседании кафедры " _____ " _____ 2010г. Заведующий кафедрой "Утверждаю" | Кафедра ТиЭФ Факультет инженерно-физический Курс 6 Дисциплина - " Синхротронное излучение " |
| Экзаменационный билет № 5 | |
| <p>1. Излучение нерелятивистских частиц. Вычисление напряженностей электрического и магнитных полей. Энергия излучаемая в единицу времени.</p> <p>2. Суть рентгеноструктурного анализа с использованием СИ.</p> | |

| | |
|---|--|
| <u>Амурский Государственный Университет</u> | |
| Утверждено на заседании кафедры " _____ " _____ 2010г. Заведующий кафедрой "Утверждаю" | Кафедра ТиЭФ Факультет инженерно-физический Курс 6 Дисциплина - " Синхротронное излучение " |
| Экзаменационный билет № 6 | |
| <p>1. Уравнение движения электрона в однородном магнитном поле.</p> <p>2. Применение СИ в рентгеноструктурном анализе монокристаллов.</p> | |

| | |
|--|--|
| <u>Амурский Государственный Университет</u> | |
| Утверждено на заседании кафедры " _____ " _____ 2010г. Заведующий кафедрой "Утверждаю" | Кафедра ТиЭФ Факультет инженерно-физический Курс 6 Дисциплина - " Синхротронное излучение " |
| Экзаменационный билет № 7 | |
| <p>1. Синхротронное излучение ансамбля электронов. Спектр излучения, коэффициент поглощения.</p> <p>2. Устройство синхротрона.</p> | |

| | |
|---|--|
| <u>Амурский Государственный Университет</u> | |
| Утверждено на заседании кафедры " _____ " _____ 2010г. Заведующий кафедрой "Утверждаю" | Кафедра ТиЭФ Факультет инженерно-физический Курс 6 Дисциплина - " Синхротронное излучение " |
| Экзаменационный билет № 8 | |
| <p>1. Поляризация синхротронного излучения.</p> <p>2. Принципы XAFS-спектроскопии.</p> | |

