



Гелиоэнергетика

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

направление специальности:

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

2020г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 г. № 88 и учебных планов № G31-163/уч., № G31и-177/уч. от 30 мая 2013г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.В.Мазаник – заведующий кафедрой энергофизики БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.Б.Залесский – заведующий лабораторией фотоэлектроники ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», канд. техн. наук

Н.М.Лапчук - доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики
(протокол № 10 от 25.06.2020);

Советом физического факультета
(протокол № 12 от 25.06.2020)

Заведующий кафедрой энергофизики



А.В.Мазаник

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Гелиоэнергетика» разработана для специальности 1-31 04 01 Физика, направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность), специализации 1-31 04 01-01 07 «Энергофизика».

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – ознакомить студентов с физическими принципами использования солнечной энергии.

Задачи учебной дисциплины:

1. Раскрыть базовые принципы функционирования основных типов устройств, предназначенных для преобразования солнечной энергии.

2. Раскрыть взаимосвязь между свойствами материалов, применяемых для создания солнечных элементов, и их характеристиками.

3. Ознакомить студентов с перспективными подходами к улучшению эффективности и стабильности солнечных элементов.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Данная учебная дисциплина основывается на дисциплинах специализации «Основы физики твердого тела и полупроводников», «Оптические и неравновесные процессы в конденсированных средах», «Основы твердотельной электроники».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Гелиоэнергетика» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
- ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.
- ПК-15. Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- характеристики солнечного излучения, потенциал использования энергии солнечного излучения;
- устройство тепловых коллекторов и различных типов солнечных элементов;
- физические пределы эффективности устройств по преобразованию энергии солнечного излучения;

- критерии выбора фотоактивных материалов;
- принципы функционирования фотоэлектрических систем;

уметь:

- анализировать работу и физические характеристики тепловых коллекторов и солнечных элементов;

владеть:

- основами современных технологий использования энергии излучения Солнца в энергетике;
- базовыми принципами моделирования работы устройств гелиоэнергетики (солнечные элементы, тепловые коллекторы, концентраторы).

Структура учебной дисциплины

Учебная дисциплина изучается в 9 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Гелиоэнергетика» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 72 часа, в том числе 30 аудиторных часов, из них: лекции – 24 часа, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. История и перспективы гелиоэнергетики.

Энергетическая проблема. Возобновляемые источники энергии. Преимущества гелиоэнергетики. Современное состояние и перспективы гелиоэнергетики в мире и в Беларуси.

Раздел 2. Солнечное излучение.

Природа и свойства солнечного излучения. Спектр излучения черного тела и Солнца. Влияние атмосферы. Стандарты АМх. Движение Солнца по небосводу. Погодные условия и сезонность.

Раздел 3. Пассивное использование солнечного излучения.

Пассивное солнечное отопление. Пассивное солнечное охлаждение. Солнечное освещение.

Раздел 4. Тепловые коллекторы.

Радиационный теплообмен. Принцип работы и основные типы тепловых коллекторов. Основные компоненты теплового коллектора. Критерии выбора материалов.

Раздел 5. Базовые принципы фотовольтаики.

Фотоэлектрический эффект, история фотовольтаики. Полупроводники, р- и n-тип. Рекомбинационно-генерационные процессы в полупроводниках. Поглощение оптического излучения в полупроводниках. р-n-переход. Фотоэффект в р-n-переходе.

Раздел 6. Параметры солнечных элементов.

Тема 6.1. Принцип работы, эквивалентная схема и вольт-амперная характеристика полупроводникового солнечного элемента. Спектральная чувствительность солнечного элемента.

Тема 6.2. Влияние параметров солнечного элемента на его эффективность, предельный КПД. Влияние внешних условий на эффективность солнечного элемента.

Раздел 7. Типы солнечных элементов.

Тема 7.1. Критерии выбора фотоактивных материалов для солнечных элементов. Солнечные элементы различных поколений. Кремниевые солнечные элементы.

Тема 7.2. Тонкопленочные солнечные элементы.

Тема 7.3. Солнечные элементы третьего поколения. Подходы к преодолению предела Шокли-Квейзера.

Раздел 8. Солнечные модули и батареи.

Соединение солнечных элементов в модули и батареи. Основные параметры и выходные характеристики солнечных модулей и батарей. Применение.

Раздел 9. Метрология солнечных элементов.

Тема 9.1. Методы контроля качества фотоактивного материала.

Тема 9.2. Способы расчёты параметров солнечного элемента из его спектральных, вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик. Определение КПД. Имитаторы Солнца.

Раздел 10. Компоненты фотоэлектрических систем.

Компоненты, принцип работы и параметры фотоэлектрических систем. Основные типы фотоэлектрических систем. Аккумуляторы и инверторы. Эксплуатация фотоэлектрических систем.

Раздел 11. Концентраторы солнечного излучения.

Преимущества и недостатки использования концентраторов излучения. Типы концентраторов излучения. Голографические концентраторы. Следящие системы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР (ДО)	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Аудиторный контроль УСР		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	История и перспективы гелиоэнергетики. Энергетическая проблема. Возобновляемые источники энергии. Преимущества гелиоэнергетики. Современное состояние и перспективы гелиоэнергетики в мире и в Беларуси.	2						Устный опрос
2	Солнечное излучение. Природа и свойства солнечного излучения. Спектр излучения черного тела и Солнца. Влияние атмосферы. Стандарты АМх. Движение Солнца по небосводу. Погодные условия и сезонность.	2						Устный опрос
3	Пассивное использование солнечного излучения. Пассивное солнечное отопление. Пассивное солнечное охлаждение. Солнечное освещение.	2						Устный опрос
4	Тепловые коллекторы. Радиационный теплообмен. Принцип работы и основные типы тепловых	2						Устный опрос

	коллекторов. Основные компоненты теплового коллектора. Критерии выбора материалов.							
5	Базовые принципы фотовольтаики. Фотоэлектрический эффект, история фотовольтаики. Полупроводники, р- и n-тип. Рекомбинационно-генерационные процессы в полупроводниках. Поглощение оптического излучения в полупроводниках. р-n-переход. Фотоэффект в р-n-переходе.	2						Устный опрос
6	Параметры солнечных элементов.	4						
6.1	Принцип работы, эквивалентная схема и вольт-амперная характеристика полупроводникового солнечного элемента. Спектральная чувствительность солнечного элемента.	2						Устный опрос
6.2	Влияние параметров солнечного элемента на его эффективность, предельный КПД. Влияние внешних условий на эффективность солнечного элемента.	2						Устный опрос
7	Типы солнечных элементов	4				2		
7.1	Критерии выбора фотоактивных материалов для солнечных элементов. Солнечные элементы различных поколений. Кремниевые солнечные элементы.	2						Устный опрос
7.2	Тонкопленочные солнечные элементы.	2						Устный опрос
7.3	Солнечные элементы третьего поколения. Подходы к преодолению предела Шокли-Квейзера.					2		Тематическая презентация, решение задач

8	Солнечные модули и батареи. Соединение солнечных элементов в модули и батареи. Основные параметры и выходные характеристики солнечных модулей и батарей. Применение.	2						Устный опрос
9	Метрология солнечных элементов.	2				2		
9.1	Методы контроля качества фотоактивного материала.	2						Устный опрос
9.2	Способы расчёты параметров солнечного элемента из его спектральных, вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик. Определение КПД. Имитаторы Солнца.					2		Тематическая презентация, решение задач
10	Компоненты фотоэлектрических систем. Компоненты, принцип работы и параметры фотоэлектрических систем. Основные типы фотоэлектрических систем. Аккумуляторы и инверторы. Эксплуатация фотоэлектрических систем.					2		Тематическая презентация, решение задач
11	Концентраторы солнечного излучения. Преимущества и недостатки использования концентраторов излучения. Типы концентраторов излучения. Голографические концентраторы. Следящие системы.	2						Устный опрос

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Игнатищев, Р. Энергетическая и экспортная проблемы / Р. Игнатищев. - Минск – Могилёв: Палата представителей Национального собрания Республики Беларусь, 1997. - 45 с.
2. Василенко, А. Б. Современная энергетика и энергетика будущего: технологии производства. Нетрадиционные источники. Экологическая безопасность / А. Б. Василенко, В. В. Тетельмин // М. : URSS Ленанд, 2018. – 238 с.
3. Гременок, В.Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский. – Мн.: Издательский центр БГУ, 2007.— 222 с.
4. Колтун, М.М. Оптика и метрология солнечных элементов / М.М. Колтун. – М.: Наука, 1984. – 280 с.
5. Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. – Москва: Наука, 1977. – 672 с.
6. Мосс, Т. Полупроводниковая оптоэлектроника / Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис; пер. с англ. А.А. Гиппиуса, А.Н. Ковалёва под ред. С.А. Медведева. – М.: Мир, 1976. – 431 с.
7. Мартынов, В.Н. Полупроводниковая оптоэлектроника / В.Н. Мартынов, Г.И. Кольцов. – М.: МИСИС, 1999. – 400 с.
8. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики / С. Фонаш [и др.]; под ред. Т. Коутса, Дж. Микина. – М.: Мир, 1988. – 306 с.
9. Сердюк, В.В. Фотоэлектрические процессы в полупроводниках / В.В. Сердюк, Г.Г. Чемересюк, М. Терек. – Киев – Одесса: Вища школа, 1982. – 151 с.
10. Васильев, А.М. Полупроводниковые фотопреобразователи / А.М. Васильев, А.П. Ландсман. – М.: Сов. радио, 1971. – 248 с.
11. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов: в 2 т. / С. Зи; пер. с англ. В.А. Гергеля, В.В. Ракитина; под ред. Р.А. Суриса. – М.: Мир, 1984. – Т. 2. – 456 с.

Перечень дополнительной литературы

1. The e-book “Solar Energy and Photovoltaics” (TEMPUS project).
2. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering / Second Edition – John Wiley & Sons, 2011. – 1132 P.
3. Фаренбрух, А. Солнечные элементы: теория и эксперимент / А. Фаренбрух, Р. Бьюб; пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
4. Overstraeten, R. Van. Physics, Technology and Use of Photovoltaics / R. Van. Overstraeten. – Bristol and Boston: Adam Hilger Ltd, 1986. – 278 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Оценка за решение задач основывается на правильности полученного результата и обоснованности его получения.

Оценка за подготовку тематических презентаций основывается на полноте охвата рассматриваемого вопроса, степени учета последних мировых достижений в данной области, количестве и уровне использованных литературных источников.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Гелиоэнергетика» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- устных опросов – 20 %;
- решение задач – 40 %;
- тематической презентации – 40 %;

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Весовой коэффициент для оценки по текущей успеваемости составляет 40 %, для экзаменационной оценки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 7.3. Солнечные элементы третьего поколения. Подходы к преодолению предела Шокли-Квейзера.

Пример задачи:

Вычислить относительное изменение плотности фототока, генерируемого солнечным элементом при освещении излучением стандарта AM1,5–1000, после нанесения на его лицевую поверхность люминесцентного покрытия. Спектры фоточувствительности исходного солнечного элемента, поглощения и фотолюминесценции покрытия известны.

Форма контроля – Тематическая презентация, решение задач

Тема 9.2. Способы расчёты параметров солнечного элемента из его спектральных, вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик. Определение КПД. Имитаторы Солнца.

Пример задачи:

Имеется кремниевый солнечный элемент площадью 1 см². При некотором освещении плотность фототока составляет 30 мА/см². Вычислить максимальную мощность, отдаваемую элементом в нагрузку, при условии

- а) $R_s=0, R_p=\infty$
- б) $R_s=5 \text{ Ом}, R_p=\infty$
- в) $R_s=0, R_p=500 \text{ Ом}$
- г) $R_s=5 \text{ Ом}, R_p=500 \text{ Ом}$

где R_s, R_p – последовательное и параллельное сопротивления элемента. Плотность темнового обратного тока принять равной 1 мкА/см^2 .

Форма контроля – Тематическая презентация, решение задач

Тема 10. Компоненты фотоэлектрических систем.

Пример задания:

Проанализируйте источники потерь энергии в фотоэлектрических системах и способы их уменьшения.

Форма контроля – Тематическая презентация, решение задач

Рекомендуемые разделы для составления тематических презентаций

1. Солнечное излучение.
2. Пассивное использование солнечного излучения.
3. Тепловые коллекторы.
4. Базовые принципы фотовольтаики.
5. Параметры солнечных элементов.
6. Типы солнечных элементов. Производство.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

Рекомендуется использовать следующие инновационные подходы и методы к преподаванию учебной дисциплины:

1. *Практико-ориентированный подход*, который предполагает решение практических задач. В качестве примера задачи такого типа можно привести разработку студентами программы испытаний стабильности солнечного элемента по отношению к различным факторам (освещение, колебания температуры, влажности и т.д.).

2. *Метод группового обучения*, предполагающий формирование малых групп, работающих над учебными заданиями.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

С целью создания условий для эффективной самостоятельной работы обучающихся рекомендуется применение задач различных уровней сложности. Задачи базового уровня сложности предполагают использование известных стандартных соотношений, описывающих процессы, протекающие

в солнечных элементах. Задачи более высокого уровня сложности требуют от студентов комплексного анализа проблемы с привлечением знаний из смежных областей.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. История и перспективы гелиоэнергетики. Энергетическая проблема. Возобновляемые источники энергии. Преимущества гелиоэнергетики. Современное состояние и перспективы гелиоэнергетики в мире и в Беларуси.

2. Солнечное излучение. Природа и свойства солнечного излучения. Спектр излучения черного тела и Солнца. Влияние атмосферы. Стандарты АМх. Движение Солнца по небосводу. Погодные условия и сезонность.

3. Пассивное использование солнечного излучения. Пассивное солнечное отопление. Пассивное солнечное охлаждение. Солнечное освещение.

4. Тепловые коллекторы. Радиационный теплообмен. Принцип работы и основные типы тепловых коллекторов. Основные компоненты теплового коллектора. Критерии выбора материалов.

5. Базовые принципы фотовольтаики. Фотоэлектрический эффект, история фотовольтаики. Полупроводники, p- и n-тип. Рекомбинационно-генерационные процессы в полупроводниках. Поглощение оптического излучения в полупроводниках. p-n-Переход. Фотоэффект в p-n-переходе.

6. Параметры солнечных элементов. Принцип работы, эквивалентная схема и вольт-амперная характеристика полупроводникового солнечного элемента. Спектральная чувствительность солнечного элемента. Влияние параметров солнечного элемента на его эффективность, предельный КПД. Влияние внешних условий на эффективность солнечного элемента.

7. Типы солнечных элементов. Производство. Конструкция солнечного элемента. Критерии выбора фотоактивных материалов для солнечных элементов. Солнечные элементы различных поколений. Тандемные солнечные элементы. Выбор подложки и нанесение тыльного контакта. Создание фотоактивного слоя. Формирование p-n-перехода. Нанесение лицевых контактов. Защитные и просветляющие покрытия. Конструкционные особенности солнечных элементов наземного и космического назначения.

8. Солнечные модули и батареи. Соединение солнечных элементов в модули и батареи. Основные параметры и выходные характеристики солнечных модулей и батарей. Применение.

9. Метрология. Методы контроля качества фотоактивного материала. Способы расчета параметров солнечного элемента из его спектральных, вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик. Определение КПД. Имитатор Солнца.

10. Компоненты фотоэлектрических систем. Компоненты, принцип работы и параметры фотоэлектрических систем. Основные типы фотоэлектрических систем. Аккумуляторы и инверторы. Эксплуатация фотоэлектрических систем.

11. Концентраторы солнечного излучения. Преимущества и недостатки использования концентраторов излучения. Типы концентраторов излучения. Голографические концентраторы. Следящие системы.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202 г.)

Заведующий кафедрой энергофизики

А.В. Мазаник

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета

М.С. Тиванов