

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
А.С. Батурин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Методы получения и хранения водорода
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики организованных структур и химических процессов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Б.П. Тарасов, канд. хим. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики организованных структур и химических процессов  
12.02.2024

## Аннотация

Дисциплина "Методы получения и хранения водорода" предназначена для формирования у обучающихся специализированных представлений о принципах работы в области водородной энергетики и водородного материаловедения. Курс включает в себя понятия концепции составных частей водородной энергетики, подходы к аккумулированию энергии из возобновляемых источников с использованием водорода как энергоносителя, разделы водородного материаловедения, разработку материалов для водородных энерготехнологий и технику безопасности при работе с водородом.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование у обучающихся специализированных представлений о принципах работы в области водородной энергетики и водородного материаловедения. Курс включает в себя понятия концепции составных частей водородной энергетики, подходы к аккумулированию энергии из возобновляемых источников с использованием водорода как энергоносителя, разделы водородного материаловедения, разработку материалов для водородных энерготехнологий и технику безопасности при работе с водородом.

#### Задачи дисциплины

- углубление базовых и формирование специализированных знаний и представлений о принципах работы, основных процессах и их механизмах и теоретическом описании, лежащих в основе современной водородной энергетики, о материалах используемых для их изготовления.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- законы, лежащие в основе работы водородных топливных элементов;
- подходы к разработке водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов;
- теоретические основы современных физико-химических методов аттестации и исследования материалов для водородной энергетики;
- достоинства и недостатки различных способов хранения водорода, химических источников водорода;
- основные поисковые системы, базы данных и ведущие периодические издания по водородной энергетике.

уметь:

- различать основные виды водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов;
- объяснять принципы работы различных водородных топливных элементов, выбирать методы их характеристики, - анализировать результаты испытаний;
- рационально сочетать различные методы аттестации и исследования материалов для водородной энергетики;
- оценивать целесообразность применения водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов исходя из строения, химических и технических характеристик;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных водородных топливных элементов, оценивать перспективы введения в эксплуатацию новых видов водородных топливных элементов, встраивать известные источники энергии в энергетические технологические схемы.

владеть:

- основными теориями и концепциями, описывающими принципы работы водородных топливных элементов;
- основными методами характеристики водородных топливных элементов;
- навыками моделирования процессов, происходящих в водородных топливных элементах;
- навыками к интерпретации и обсуждения результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе по водородным топливным элементам и материалам для них.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Водородная энергетика: история, концепции, составные части	2			6
2	Водород: свойства, получение, очистка, транспортировка	2			6
3	Хранение водорода в газообразном, жидком и адсорбированном виде	2			6
4	Хранение водорода в химически связанном состоянии	4			6
5	Хранение водорода в виде металлгидридов	2			6
6	Водородное материаловедение и техника безопасности работы с водородом	2			6
7	Никель-металлогидридные перезаряжаемые источники тока	4			6
8	Углеродные наноматериалы для водородной энергетики	4			6

9	Современные физико-химические методы аттестации и исследования	4			6
10	Водородная энергетика: проблемы и перспективы коммерциализации	4			6
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Водородная энергетика: история, концепции, составные части

Концепция водородной энергетики, история возникновения, составные части, проблемы реализации. Водородные энерготехнологии, водородные топливные элементы. Национальные и международные программы.

##### 2. Водород: свойства, получение, очистка, транспортировка

Распространенность водорода на Земле и в космосе. Строение атома и молекулы, изотопы, физические и химические свойства. Способы и масштабы получения водорода, методы выделения и очистки, способы хранения и транспортировки, области применения. Применение водорода как энергоносителя. Водородно-воздушный топливный элемент.

##### 3. Хранение водорода в газообразном, жидком и адсорбированном виде

Основные понятия адсорбции. Методы определения удельной поверхности и количества адсорбированного газа. Сорбенты (цеолиты, клатраты, металл-органические каркасные структуры, углеродные наноматериалы) и их характеристики.

##### 4. Хранение водорода в химически связанном состоянии

Характеристики водородсодержащих соединений. Классификация по химической связи и структуре. Вещества, выделяющие водород при термическом разложении. Вещества, генерирующие водород при взаимодействии с водными растворами. Методы определения количества и чистоты выделяющегося водорода. Преимущества и недостатки химических источников водорода.

##### 5. Хранение водорода в виде металлгидридов

Классификация гидридов. Обратимое и необратимое гидрирование. Структура гидридов. Кинетика и термодинамика процесса гидрирования. Химический анализ и волюмометрическое измерение содержания водорода в гидридах. Металлогидридные устройства (аккумуляторы водорода, компрессоры водорода, тепловые насосы, датчики давления и температуры, теплообменники). Преимущества и недостатки металлгидридного способа.

##### 6. Водородное материаловедение и техника безопасности работы с водородом

Безопасность работы с водородом. Взаимодействие водорода с конструкционными материалами и водородное охрупчивание. Водородная обработка материалов и гидридное диспергирование. Металлогидридные аккумуляторы водорода многократного действия. Генераторы водорода термолизного и гидролизного типа. Водородные энерготехнологии.

## 7. Никель-металлогидридные перезаряжаемые источники тока

Принцип работы никель-металлогидридных перезаряжаемых источников тока. Устройство, технико-эксплуатационные характеристики. Преимущества и недостатки по сравнению с другими типами электрохимических батарей. Подходы к созданию Ni-MH батарей нового поколения.

## 8. Углеродные наноматериалы для водородной энергетики

Модификации углерода (графит, алмаз, фуллерен, нанотрубки, нановолокна, графен): синтез, свойства, применение. Графеноподобные наноструктуры. Металл-углеродные и металлогидрид-углеродные композиты. Примеры практического использования.

## 9. Современные физико-химические методы аттестации и исследования

Химический и фазовый анализы. Построение диаграмм состояния (изотермы, изобары, изохоры). Определение состава и структуры гидридов. Исследование состояния поверхности. Знакомство с основными приборами физико-химического анализа.

## 10. Водородная энергетика: проблемы и перспективы коммерциализации

Анализ современного состояния. Достижения и разработки в области водородных энерготехнологий. Водородные автомобили и заправочные станции. Проблемы коммерциализации. Существующие проекты и программы. Прогноз развития в России и мире.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная маркерной доской, мультимедийным проектором и экраном.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Гамбург Д.Ю., Семенов В.П., Дубовкин Н.Ф., Смирнова Л.Н. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справочник. // Под ред. Д.Ю.Гамбурга и Н.Ф.Дубовкина. М.: «Химия», 1989.
2. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические установки. Москва. Изд-во МЭИ, 2005.
3. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360с.

### Дополнительная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В. Водородная энергетика: прошлое, настоящее, виды на будущее. //Российский химический журнал, 2006, т.50, №6, стр.5-18.
2. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулирования водорода. //Российский химический журнал, 2006, т.50, №6, стр.34-48.
3. Тарасов Б.П. Хранение водорода: способы, материалы и устройства (глава 1, стр. 6–83). // В кн. "Наноструктурированные материалы для запасаения и преобразования энергии" (под ред. Разумова В.Ф. и Ключева М.В.). – Иваново: ИвГУ, 2009, 451 с.
4. Тарасов Б.П. Водород-аккумулирующие материалы для хранения водорода в связанном состоянии (глава 7, стр. 276–292). // В кн.: "Наноструктурированные материалы для систем запасаения и преобразования энергии" (под ред. В.Ф. Разумова и М.В. Ключева. – Иваново: ИвГУ, 2008, 384 с.
5. Куш С.Д., Куюнко Н.С., Тарасов Б.П. Водород-генерирующие материалы для создания химических источников водорода гидролизного типа (глава 7, с. 279–301). // В кн. "Органические и гибридные наноматериалы: получение, исследование, применение" (под ред. Разумова В.Ф. и Ключева М.В.). – Иваново: ИвГУ, 2011, 308 с.
6. Тарасов Б.П. Физика и химия водород-аккумулирующих материалов (глава 1 в монографии, с. 5–41). // "Органические и гибридные наноматериалы: тенденции и перспективы" (под ред. В.Ф.Разумова, М.В.Ключева). – Иваново: ИвГУ, 2013, 512 с.
7. Тарасов Б.П., Фокина Э.Э., Фокин В.Н. Химические методы диспергирования металлических фаз. // Известия АН, серия химическая, 2011, № 7, стр. 1228–1236.
8. Тарасов Б.П., Мурадян В.Е., Володин А.А. Синтез, свойства и примеры использования углеродных наноматериалов. // Известия АН, серия химическая, 2011, № 7, с.1237–1249.
9. Сон В.Б., Володин А.А., Денис Р.В., Яртысь В.А., Тарасов Б.П. Водородсорбционные и электрохимические свойства интерметаллических соединений  $\text{La}_2\text{MgNi}_9$  и  $\text{La}_{1.9}\text{Mg}_{1.1}\text{Ni}_9$ . // Известия АН, Серия химическая, 2016, № 8, с. 1971-1980.
10. Арбузов А.А., Тарасов Б.П. Графен: строение, свойства, методы получения, композиты на его основе (глава 2, с. 51–70). // В кн. "Органические и гибридные наноматериалы: получение и перспективы применения" (под ред. В.Ф. Разумова, М.В. Ключева). – Иваново: ИвГУ, 2015, 676 с.
11. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические установки. Москва. Изд-во МЭИ, 2005.
12. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360с.
13. Драго Р. Физические методы в химии. М.: Изд-во Мир, т.1,2, 1981.
14. А. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-химические основы, Москва.Изд-воМЭИ, 2010.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

При подготовке и чтении лекций может потребоваться следующее программное обеспечение: MS Word, MS Power Point.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания при решении заданий текущего контроля успеваемости, использовать полученные знания научных основ водородной энергетики и водородного материаловедения.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех лекций, предусмотренных программой;

- самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;

- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;

- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики организованных структур и химических процессов
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	Б.П. Тарасов, канд. хим. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы получения и хранения водорода» обучающийся должен:

### знать:

- законы, лежащие в основе работы водородных топливных элементов;
- подходы к разработке водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов;
- теоретические основы современных физико-химических методов аттестации и исследования материалов для водородной энергетики;
- достоинства и недостатки различных способов хранения водорода, химических источников водорода;
- основные поисковые системы, базы данных и ведущие периодические издания по водородной энергетике.

### уметь:

- различать основные виды водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов;
- объяснять принципы работы различных водородных топливных элементов, выбирать методы их характеристики, - анализировать результаты испытаний;
- рационально сочетать различные методы аттестации и исследования материалов для водородной энергетики;
- оценивать целесообразность применения водород-аккумулирующих и водород-генерирующих материалов исходя из строения, химических и технических характеристик;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных водородных топливных элементов, оценивать перспективы введения в эксплуатацию новых видов водородных топливных элементов, встраивать известные источники энергии в энергетические технологические схемы.

### владеть:

- основными теориями и концепциями, описывающими принципы работы водородных топливных элементов;
- основными методами характеристики водородных топливных элементов;
- навыками моделирования процессов, происходящих в водородных топливных элементах;
- навыками к интерпретации и обсуждения результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе по водородным топливным элементам и материалам для них.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

В начале каждой лекции проводится краткий опрос по теме предыдущей лекции.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. История, концепция, составные части водородной энергетики.
2. Проблемы водородной энергетики и их решения.
3. Водородные энерготехнологии, водородные топливные элементы.
4. Водородное аккумулирование энергии из возобновляемых источников.
5. Распространенность водорода на Земле и в космосе. Строение атома и молекулы, изотопы. Физические и химические свойства водорода. Способы и масштабы получения.
6. Методы выделения и очистки водорода. Области применения.
7. Способы хранения и транспортировки водорода. Достоинства и недостатки.
8. Газообразный водород: свойства, плотность при различных давлениях, уравнение состояния.
9. Жидкий и твердый водород: диаграммы состояния, свойства, применение.
10. Адсорбированный водород. Характеристики сорбентов, сорбционная емкость.
11. Хранение водорода в химически связанном состоянии. Водородсодержащие соединения, классификация по химической связи и структуре.
12. Гидриды металлов. Химические и физические свойства.
13. Металлогидридные аккумуляторы водорода. Принцип действия, водород-аккумулирующие материалы, примеры использования. Достоинства и недостатки.
14. Металлогидридные компрессоры водорода. Принцип действия, достоинства и недостатки.
15. Металлогидридные тепловые насосы, датчики давления и температуры, теплообменники.
16. NiMH-перезаряжаемые источники тока. Принцип действия, достоинства и недостатки.
17. Водородное резервирование и аккумулирование энергии.
18. Взрывоопасность водорода и цепные реакции. Взаимодействие водорода с конструкционными материалами. Водородное охрупчивание и «водородная болезнь». Водородная обработка материалов. Гидридное диспергирование. Требования техники безопасности работы с газообразным и жидким водородом.
19. Модификации углерода: графит, алмаз, фуллерен, нанотрубки, графен, фуллерен. Синтез, свойства, применение.
20. Углеродные нанотрубки и нановолокна. Синтез, свойства, применение.
21. Графен. Синтез, свойства, применение.
22. Металл-углеродные и металлогидрид-углеродные композиты.
23. Водород-аккумулирующие материалы для металлогидридных аккумуляторов. Водород-генерирующие материалы для генераторов водорода термолизного и гидролизного типа.
24. Электроды и электролиты для никель-металлогидридных перезаряжаемых источников тока.
25. Материалы для металлогидридных систем резервирования и аккумулирования энергии.
26. Аттестация исходных материалов для водородной энергетики. Построение диаграмм состояния: изотермы, изобары, изохоры. Определение состава и структуры гидридов. Исследование состояния поверхности.
27. Основные приборы физико-химического анализа. Принципы работы основных приборов.

28. Фундаментальные и прикладные проблемы реализации водородных энерготехнологий. проблемы коммерциализации. Пути достижения прогнозных показателей. Современные российские и международные программы и «дорожные карты» в области водородных энерготехнологий.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### 5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачет проводится по билетам на устном коллоквиуме в конце семестра. На подготовку к ответу студенту дается 60 минут на подготовку.