Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
Акад. РАН, профессор

/В.В. Лунин/

«27» февраля 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Теоретическая механика

Уровень высшего образования:
Специалитет

Направление подготовки (специальность):

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Направленность (профиль) ОПОП:

Аналитическая химия, Биоорганическая химия, ВМС, Коллоидная химия, Лазерная химия, Медицинская химия и тонкий органический синтез, Нанобиоматериалы и нанобиотехнологии, Неорганическая химия, Нефтехимия, Органическая химия, Радиохимия, Физическая химия, Фундаментальняа и прикладная знзимология, Химия молекулярных и ионных систем, Химическая кинетика, Химия высоких энергий, Химия и технология веществ и материалов, Химия твердого тела, Электрохимия

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №1 от 27.01.2017)

Москва 2017

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета*)* в редакции приказа МГУот 22 июля 2011 года № 729 (в редакции приказов МГУ от 22 ноября 2011 года № 1066, от 21 декабря 2011 года № 1228, от 30 декабря 2011 года № 1289, от 27 апреля 2012 года № 303, от 30 декабря 2016 года № 1671 .

Год (годы) приема на обучение
2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019

1. Наименование дисциплины (модуля) **Теоретическая механика**

2. Уровень высшего образования – **специалитет.**

3. Направление подготовки**: 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия.**

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: базовая часть ООП, блок МЕН.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-6.С Способность вконтексте профессиональной деятельности использовать знания об основныхпонятиях, объектах изучения и методах естествознания	**Владеть:** навыками выделения физической составляющей, связанной со строением атомов и молекул, в химических задачах споследующим использованием стандартных подходов решения таких задач втеоретической механике
ОПК-4.С. Способность создавать математические модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные математические результаты	**уметь** строить аналитические модели элементарных механических систем для описания классических элементарных систем с нелинейными взаимодействиями
ОПК-5.С. Способность использовать современныерасчетно-теоретические методы изучения свойств веществ и процессов с ихучастием при решении профессиональных задач	**знать** основные методы теоретической механики; **владеть** методами нахождения законов движения систем с нелинейными взаимодействиями
ОПК-6.С. Способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области физики и математики	**уметь:** применять основные методы аналитической механики для нахождения законов движения атомов и молекул **владеть** (иметь опыт) решения простейших задач теоретической механики

6. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единиц, всего 108 часов, из которых 58 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 36 часа занятия семинарского типа, 2 часа - групповая консультация, 2 часа – промежуточный контроль успеваемости), 50 часов составляет самостоятельная работа студента.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.
Обучающийся должен
Знать: основные понятия клаасической механики.
Уметь: проводить стандартные математические операции из курса математического анализа и линейной алгебры.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), **форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**	**Всего (часы)**	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						**Самостоятельная работа обучающегося, часы** из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	**Всего**	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	**Всего**
Тема 1. Метод Лагранжа	40	8	16				24	16		16
Тема 2. Метод Гамильтона	30	6	12				18	12		12
Тема 3. Метод Гамильтона-Якоби	20	4	8				12	8		8
Промежуточная аттестация *зачет*	18			2		2	4		14	14
Итого	**108**	**18**	**36**	**2**		**2**	**58**	**36**	**14**	**50**

Содержание лекций:

Метод Лагранжа	Уравнения Лагранжа для систем с идеальными голономными связями
	Функция Лагранжа заряда в электромагнитном поле
	Законы сохранения обобщенной энергии и обобщенного импульса
	Задача двух тел. Задача Кеплера

Метод Гамильтона	Уравнения Гамильтона. Скобки Пуассона
	Принцип наименьшего действия
	Канонические преобразования
Метод Гамильтона-Якоби	Действие как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона-Якоби
	Метод разделения переменных в уравнении Гамильтона-Якоби

Содержание семинаров:

Метод Лагранжа	Повторение методов нахождения закона движения систем с линейными взаимодействиями. Обобщенные координаты и функция Лагранжа в потенциальных полях при наличии связей
	Разбор примеров на построение обобщенного потенциала и уравнений Лагранжа для движения в однородном магнитном поле, поле провода с током и поле магнитного и электрического диполей.
	Построение выражений для обобщенных энергии и импульса систем и интегрирование уравнений движения систем со связями.
	Нахождение уравнений траекторий и законов движения в системах с центральным взаимодействием. Законы Кеплера. Задача рассеяния.
Метод Гамильтона	Построение функции Гамильтона и уравнений Гамильтона. Применения теоремы Пуассона.
	Интегрирование уравнений Гамильтона. Оптико-механическая аналогия.
	Применение канонических преобразований для интегрирования уравнений движения.
Метод Гамильтона-Якоби	Построение уравнения Гамильтона-Якоби для простейших механических систем.
	Нахождение законов движения систем с помощью метода разделения переменных в уравнении Гамильтона-Якоби.

9. **Образовательные технологии:**

-использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;

-преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

10. **Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине** (модулю):

Задания для самостоятельной работы

4 часа.

Решение задач на нахождение числа степеней свободы систем, выбор обобщенных координат, построение функции Лагранжа в криволинейных координатах в потенциальных полях при наличии связей.

4 часа.

Решение задач на построение функции Лагранжа и уравнений Лагранжа для движения в электромагнитных полях.
4 часа.
Решение задач на нахождение законов движения систем с нелинейными взаимодействиями методом Лагранжа. Работа с лекционным материалом: теорема Эйлера и алгоритм построения обобщенной энергии.
4 часа.
Решение задач на нахождение сечений рассеяния и захвата частиц в центральных полях.
4 часа.
Решение задач на построение функции Гамильтона, уравнений Гамильтона и вычисление скобок Пуассона.
4 часа.
Работа с лекционным материалом: принцип наименьшего действия.
Решение задач на нахождение законов движения методом Гамильтона.
4 часа.
Работа с лекционным материалом: различные формы канонических преобразований. Решение задач на приближенное нахождение законов движения систем с нелинейными взаимодействиями.
4 часа.
Работа с лекционным материалом: действие как функция координат и времени.
Решение задач на построение уравнения Гамильтона-Якоби.
4 часа.
Решение задач на нахождение полного интеграла уравнения Гамильтона-Якоби и построение квадратур, определяющих законы движения систем.

Теоретические вопросы для подготовки к контрольным работам.

1. Дать определение материальной точки. Применимо ли оно:
а) к Земле для определения периода обращения вокруг Солнца,
б) к шару при исследовании качения по наклонной плоскости в поле тяжести,
в) к шарам в игре на бильярде,
г) к молекулам твердого тела при определении его моментов инерции,
д) к молекуле H_2 и атому O при расчете вероятности их реакции с образованием молекулы H_2O?
2. Дать определение обобщенных координат системы. Указать число степеней свободы и какой-либо набор обобщенных координат для систем из п.1.

3. Написать функцию Лагранжа точки массы m с зарядом e в произвольном магнитном поле с векторным потенциалом $\boldsymbol{A}(\boldsymbol{r},t)$ в декартовых координатах $\boldsymbol{r} = (x,y,z)$ и получить уравнение движения по координате x (y,z).
4. Написать функцию Лагранжа точки массы m, движущейся в потенциальном поле $U(\boldsymbol{r})$ при наличии силы трения, линейной по скорости точки (коэффициент пропорциональности k), и получить уравнения движения.

5. Функция Лагранжа $L(q,\dot{q},t)$ системы не меняется при преобразовании обобщенных координат $\delta q_\alpha = Q_\alpha(q)\varepsilon$, где функции $Q_\alpha(q)$ заданы, а ε – малый постоянный параметр. Вывести соответствующий интеграл движения.
6. Доказать, что уравнения Лагранжа не меняются при добавлении к функции Лагранжа полной производной по времени от произвольной функции обобщенных координат и времени.
7. Вывести закон сохранения обобщенной энергии, исходя из условия $\partial L/\partial t = 0.$ Записать этот закон для точки массы m с зарядом e в произвольном магнитном поле с векторным потенциалом $\boldsymbol{A}(\boldsymbol{r})$.
8. Получить в квадратурах закон одномерного движения в не зависящем от времени потенциальном поле. Дать определения финитного и инфинитного движений.
9. Сформулировать задачу двух тел и показать, что она сводится к одночастичной.
10. Получить в квадратурах закон движения точки в постоянном центральном поле.

11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература

1. Голдстейн Г. Классическая механика. - М.: Наука, 1975. – 416 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. – М. Наука, 1988. – 216 с.

Дополнительная литература

1. Казаков К.А. Введение в теоретическую и квантовую механику. – М.: Издательство МГУ, 2008. – 230с
2. Форш П.А. Задачи по теоретической механике для химиков. – М.: Издательство МГУ, 2008. – 144с

12. Язык преподавания – русский

13. Преподаватели: к.ф.-м.н., доцент Казаков Кирилл Александрович

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета. На зачете проверяется достижение ЗУВ, перечисленных в п.5.

Теоретические вопросы для текущей проверки усвоения материала

1) Дать определение обобщенных координат и числа степеней свободы системы.
2) Дать определение голономной связи.
3) Записать уравнения Лагранжа для системы, на которую наложены идеальные голономные связи.
4) Записать кинетическую энергию материальной точки в цилиндрических координатах.
5) Дать определение циклической координаты.
6) Показать, что если функция Лагранжа системы не зависит явно от времени, то сохраняется обобщенная энергия системы.
7) Дать определение задачи двух тел и свести её к одночастичной.
8) Записать уравнения Гамильтона.
9) Записать Уравнение Гамильтона-Якоби.
10) Дать определение полного интеграла уравнения Гамильтона-Якоби.

Расчетные задачи

1) Найти число степеней свободы систем: материальная точка на сфере; две точки, связанные невесомым стержнем; тонкий массивный стержень; молекула H_2O (с учётом электронных степеней свободы и без).
2) Построить функцию Лагранжа систем: двойной математический маятник; точка на сфере в поле тяжести; заряд в однородных электрическом и магнитном полях; заряд в поле электрического диполя.
3) Получить уравнения Лагранжа системы, функция Лагранжа которой

$$L(x,\dot{x}) = e^{\lambda t}(\dot{x}^2 - \omega^2 x^2),\ \ \lambda, \omega = const$$

4) Найти обобщенную энергию системы, функция Лагранжа которой

$$L = \frac{\dot{x}^2}{2} - \frac{\omega^2 \dot{x}^2}{2} - \alpha x^3 + \beta x \dot{x}^2;\ \ \alpha, \beta, \omega = const.$$

5) Точка подвеса математического маятника массы m и длины l движется под углом α к горизонту по закону $s = \frac{at^2}{2}, a = const.$ Записать функцию Лагранжа и

уравнения Лагранжа для данной системы.

6) Найти функцию Лагранжа частицы, если её функция Гамильтона

$$H = \frac{\vec{p}^{\,2}}{2m} - (\vec{p},\vec{a}), \quad \vec{a} = const.$$

Построить уравнения Гамильтона.

7) Функция Гамильтона частицы имеет вид

$$H(\vec{r},\vec{p}) = c(\vec{r})\,|\,\vec{p}\,|,$$

где $c(\vec{r})$ – заданная функция координат. Построить уравнения Гамильтона.

8) Найти каноническое преобразование, задаваемое производящей функцией

$\Phi(\vec{r},\vec{P}) = (\vec{r},\vec{P}) + (\delta\vec{a},\vec{P}),$ где $\delta\vec{a}$ - малый вектор.

9) Найти функцию Гамильтона материальной точки в однородном поле тяжести в декартовых координатах, построить уравнения Гамильтона и проинтегрировать их при произвольных начальных условиях.

10) Найти закон свободного движения материальной точки массы *m* методом

Примеры задач к первой контрольной работе.

1) Получить УЛ системы, ФЛ которой

$$L(x,\dot{x}) = e^{\lambda t}(\dot{x}^2 - \omega^2 x^2), \ \ \lambda,\omega = const$$

2) Точка подвеса математического маятника массы m и длины l движется под углом α к горизонту по закону $s = \frac{at^2}{2}, a = const.$ Записать ФЛ и УЛ для данной системы.

3) Построить ФЛ и найти интегралы движения для частицы массы *m* и заряда q_1, движущейся без трения по конусу с углом раствора 2*α*, в вершине которого закреплен заряд q_2.

4) Найти закон движения частицы в поле $U(x) = -kx^4$ $(k = const)$, если ее полная энергия равна нулю, $x(0) > 0, \dot{x}(0) > 0.$

5) Найти закон движения частицы массы *m* и заряда *q*, движущейся в поле бесконечного прямого провода, по которому течет постоянный ток силы *J* (векторный потенциал поля $A_x = A_y = 0,\ A_z = -\frac{2J}{c}\ln\rho$ (ось *z* направлена вдоль провода, *ρ*-расстояние до провода).

Примеры задач ко второй контрольной работе.

1) Найти ФЛ частицы, если её ФГ $H=\dfrac{\vec{p}^{\,2}}{2m}-(\vec{p},\vec{a}),\quad \vec{a}=const.$ Построить УГ.

2) ФГ частицы имеет вид $H(\vec{r},\vec{p})=c(\vec{r})\,|\,\vec{p}\,|,$ где $c(\vec{r})$ – заданная функция координат. Построить УГ. Чему равна ФЛ такой частицы?

3) Найти каноническое преобразование, задаваемое производящей функцией $\Phi(\vec{r},\vec{P})=(\vec{r},\vec{P})+(\delta\vec{a},\vec{P}),$ где $\delta\vec{a}$ - малый вектор. Каков смысл этого преобразования?
4) Найти ФГ и построить УГ для частицы массы *m* и заряда *q*, движущейся без трения по сфере радиуса *R,* расположенной в однородном магнитном поле *H.*
5) Найти ФГ материальной точки в однородном поле тяжести в декартовых координатах, построить УГ и проинтегрировать их при произвольных начальных условиях.

Вопросы к зачету
(сокращения: ФЛ – функция Лагранжа, УЛ – уравнения Лагранжа, ФГ – функция Гамильтона, УГ – уравнения Гамильтона)

1. Дать определение голономной связи, обобщенных координат и числа степеней свободы системы, сформулировать принцип виртуальных работ и написать УЛ системы при наличии идеальных голономных связей (без вывода).
2. Получить ФЛ и УЛ частицы в аксиально-симметричном потенциальном поле в цилиндрических координатах.
3. Получить ФЛ и УЛ частицы в центрально-симметричном потенциальном поле в сферических координатах.
4. Доказать формулу $\dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial\vec{r}}{\partial q_\alpha}=\dfrac{\partial\dot{\vec{r}}}{\partial q_\alpha},$ где $\vec{r}$ - радиус-вектор одной из частиц системы, описываемой обобщенными координатами q_α.
5. Доказать формулу $\dfrac{\partial\dot{\vec{r}}}{\partial\dot{q}_\alpha}=\dfrac{\partial\vec{r}}{\partial q_\alpha},$ где $\vec{r}$ – радиус-вектор одной из частиц системы, описываемой обобщенными координатами q_α.
6. ФЛ частицы массы *m* имеет вид $L(\vec{r},\dot{\vec{r}},t)=\dfrac{m\dot{\vec{r}}^{\,2}}{2}+\dfrac{q}{c}(\vec{A}(\vec{r},t),\dot{\vec{r}})$, где $\vec{A}(\vec{r},t)$ - заданная функция. Получить УЛ по координатам *x, y* и *z.*
7. ФЛ системы не меняется при малом преобразовании обобщенных координат $q_\alpha\to q_\alpha+Q_\alpha(q)\varepsilon,$ где *ε=const.* Вывести отсюда закон сохранения.
8. ФЛ системы не зависит от времени явно. Вывести отсюда закон сохранения.
9. ФЛ системы с одной степенью свободы не зависит от времени явно. Построить квадратуру, определяющую закон её движения.

10. Дать определение задачи двух тел и свести её к одночастичной.
11. Найти в квадратурах закон движения частицы в независящем от времени центральном поле.
12. Вывести второй закон Кеплера для частицы в центральном поле.
13. Получить уравнение траектории финитного движения частицы в кулоновом поле притяжения.
14. Получить УГ из УЛ с помощью преобразования Лежандра.
15. Дать определение ФГ и построить ФГ заряда в произвольном электромагнитном поле.
16. Сформулировать принцип наименьшего действия и получить из него УГ для $\dot{q}_\alpha$.
17. Сформулировать принцип наименьшего действия и получить из него УГ для $\dot{p}_\alpha$.
18. Написать тождество Якоби для скобок Пуассона (без доказательства) и доказать теорему Пуассона.
19. Дать определение фазового пространства и доказать каноническую инвариантность фазового объема.
20. Дать определение полного интеграла уравнения Гамильтона-Якоби и вывести алгоритм получения с его помощью закона движения системы.

Задачи к зачету

I. Формализм Лагранжа.

1. Найти число степеней свободы систем: материальная точка на сфере; две точки, связанные невесомым стержнем; тонкий массивный стер-жень; молекула H_2O (с учётом электронных степеней свободы и без).
2. Выразить кинетическую энергию материальной точки в цилиндрических и сферических координатах.
3. Построить функцию Лагранжа систем: двойной математический маятник; точка на сфере в поле тяжести; заряд в однородных электри-ческом и магнитном полях; заряд в поле электрического диполя.
4. Построить уравнения Лагранжа для систем из п.3.
5. Проинтегрировать уравнения Лагранжа для заряженной частицы в постоянных однородных электрическом и магнитном полях.

II. Законы сохранения.

1. Определить возможные типы движения и найти закон движения точки в потенциале $U(x) = U_0(e^{-2ax} - 2e^{-ax})$.
2. Найти законы сохранения для систем из п.*I*.3.
3. Качественно исследовать движение и проинтегрировать уравнения движения систем: точка на сфере в поле тяжести; точка в поле $U(r) = a/r^2$; заряд в магнитном поле бесконечного прямолинейного тока.
4. Найти дифференциальное и полное сечения рассеяния: в поле $U(r) = a/r^2$; на упругом эллипсоиде вращения. Найти сечение захвата частиц в поле $U(r) = a/r \ - b/r^2$;

III. Канонические методы.

1. Построить фукцию Гамильтона и уравнения Гамильтона для систем из пп. *I*.3., *IV*.4.
2. Найти закон движения системы, функция Гамильтона которой $H(p,q) = p^2 + q^2 + a(p^2 + q^2)^2$.
3. Найти каноническое преобразование, производящая функция которого $F(q,Q,t) = \frac{1}{2} m\omega(t) q^2 ctgQ$. Записать уравнения движения в переменных Q, P для гармонического осциллятора с частотой $\omega(t)$.
4. Проинтегрировать методом Гамильтона-Якоби движение систем: свободная частица; частица в однородном электрическом поле;
5. Найти дифференциальное сечение рассеяния на малые углы в поле $U(r,\theta) = \frac{a\cos^2\theta}{r^2}$ для частиц, налетающих параллельно прямой $\theta = 0$.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка / Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ

по дисциплине (модулю)	
Знать основные методы теоретической механики;	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете
Уметь строить аналитические модели элементарных механических систем для описания классических элементарных систем с нелинейными взаимодействиями Уметь: применять основные методы аналитической механики для нахождения законов движения атомов и молекул	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете
Владеть: навыками выделения физической составляющей, связанной со строением атомов и молекул, в химических задачах споследующим использованием стандартных подходов решения таких задач втеоретической механике Владеть методами нахождения законов движения систем с нелинейными взаимодействиями Владеть (иметь опыт) решения простейших задач теоретической механики	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете