

«__» _____ 20__ г.

**Вопросы для вступительного экзамена
по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия»
(физико-математические науки)**

Механика

1. Дайте определение материальной точки. Запишите выражения для скорости и ускорения материальной точки в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Определите понятия силы и массы. Укажите способы измерения этих величин. Сформулируйте законы Ньютона и принцип относительности Галилея.
2. Сформулируйте закон изменения и закон сохранения импульса системы материальных точек. Приведите закон движения центра масс системы. Сформулируйте закон изменения и закон сохранения механической энергии системы материальных точек.
3. Дайте определение абсолютно твердого тела. Что такое углы Эйлера и матрица поворота твердого тела? Сформулируйте задачу о движении абсолютно твердого тела. Запишите тензор инерции твердого тела. Приведите примеры движения симметричных твердых тел.
4. Дайте определение момента импульса и момента силы для системы материальных точек и для твердого тела. Сформулируйте закон изменения и закон сохранения момента импульса. Рассмотрите движение твердого тела с неподвижной точкой.
5. Сформулируйте задачу о движении механической системы при наличии связей. Приведите классификацию связей. Дайте определения действительных и виртуальных перемещений. Приведите примеры простых систем со связями и запишите для них уравнения кинематической связи.
6. Дайте определения обобщенных координат, обобщенных скоростей и обобщенных сил. Запишите уравнения Лагранжа в независимых координатах (уравнения Лагранжа второго рода). Покажите, что для простых систем уравнения Лагранжа приводят к очевидным результатам.
7. Дайте определение функции Лагранжа. Что такое циклические координаты? Сформулируйте законы сохранения обобщенного импульса и обобщенной энергии. Когда эти законы совпадают с законами сохранения энергии и импульса?
8. Сформулируйте задачу о собственных колебаниях линейной механической системы. Опишите метод вычисления собственной частоты одномерных колебаний. Запишите общее решение этой задачи для консервативной системы с двумя степенями свободы. Дайте определение нормальных координат.
9. Запишите общее решение задачи о вынужденных колебаниях в линейной системе с одной степенью свободы под действием гармонической внешней силы. Дайте определение резонанса. Приведите примеры физических систем, в которых наблюдается резонанс.
10. Дайте определение функции Гамильтона. Запишите канонические уравнения Гамильтона. Что такое скобки Пуассона? Приведите примеры функции Гамильтона для простых систем. Дайте определение функции действия. Запишите уравнение Гамильтона-Якоби.

11. Дайте определение идеальной жидкости. Запишите уравнение движения идеальной жидкости. Приведите интегралы движения идеальной жидкости. Приведите примеры связанных с ними явлений.
12. Запишите уравнение Навье-Стокса для несжимаемой вязкой жидкости. Что такое коэффициент вязкости? Сформулируйте закон подобия стационарных течений несжимаемой вязкой жидкости (закон подобия Рейнольдса). Приведите примеры ламинарного и турбулентного течения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) И.И. Ольховский. Курс теоретической механики для физиков. М., Изд-во МГУ, 1978.
- 2) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Механика. М., Наука, 1988.
- 3) В.Р. Халилов, Г.А. Чижов. Динамика классических систем. М., Изд-во МГУ, 1993.
- 4) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Гидродинамика. М., Наука, 1988.
- 5) Б.В. Петкевич. Теоретическая механика. М., Наука, 1989.

Молекулярная физика, статистическая физика и термодинамика

13. Что такое термодинамическая система? Дайте определение и примеры термодинамических параметров. Определите внутреннюю энергию системы. Сформулируйте первое начало термодинамики. Дайте определения состояния равновесия и равновесного процесса.
14. Определите понятие энтропии. Как изменяется энтропия при квазистатических процессах? Получите уравнение адиабаты. Как изменится энтропия в результате теплообмена между двумя идеальными газами, пришедшими к равновесию?
15. Сформулируйте второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Приведите различные его формулировки и докажите их эквивалентность. Укажите механизмы возникновения необратимости.
16. Что такое термодинамические потенциалы? Определите энтальпию и свободную энергию системы. Приведите примеры использования термодинамических потенциалов для определения термодинамических параметров. Сформулируйте условия термодинамического равновесия и устойчивости пространственно однородной системы.
17. Что такое идеальный газ? При каких условиях наблюдается отклонение газов от идеальности? Запишите разложение давления неидеального газа по степеням $1/V$ (вириальное разложение). Запишите внутреннюю энергию идеального газа и его теплоемкости при изопроцессах.
18. Запишите каноническое распределение Гиббса. Сформулируйте приближения, при которых оно было получено. Укажите смысл всех входящих в него параметров. Что такое статистическая сумма? Как она связана со свободной и внутренней энергиями системы? Сформулируйте теорему о распределении энергии по степеням свободы.
19. Дайте определение химического потенциала. Запишите большое каноническое распределение Гиббса для системы с переменным числом частиц. Сформулируйте предположения, при которых оно было получено. Укажите смысл всех входящих в него параметров.
20. Как распределены по микросостояниям бозоны и фермионы? Запишите распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Для каких квантовых систем они справедливы? Чем определяется температура вырождения? Что такое энергия Ферми?
21. Запишите уравнение Лиувилля для функции распределения микросостояний системы из N частиц. Запишите микроканоническое распределение Гиббса. Каким граничным условиям удовлетворяет функция распределения?
22. Дайте определение одночастичной функции распределения. Запишите кинетическое уравнение Больцмана. Что такое интеграл столкновений? В чем заключается приближение

парных столкновений? Покажите, что при равновесном распределении вероятностей интеграл столкновений равен нулю.

23. Что такое случайный стационарный марковский процесс и его временная корреляционная функция? Запишите уравнение Смолуховского и уравнение Фоккера-Планка. Покажите, что для движения Броуновской частицы получается формула Эйнштейна.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) И.А. Квасников. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М., Изд-во МГУ, 1991.
- 2) И.А. Квасников. Теория неравновесных систем. М., Из-во МГУ, 1987.
- 3) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 1976.

Электродинамика

24. Запишите уравнения Максвелла для электромагнитного поля в среде. Какой вид имеют материальные уравнения и условия на границе раздела сред для характеристик электромагнитного поля? Приведите примеры явлений, описываемых некоторыми из этих уравнений.
25. Запишите выражение для энергии системы, состоящей из произвольного числа заряженных проводящих тел. Как связаны между собой заряды и потенциалы этих тел? Запишите уравнение для скалярного потенциала в однородной диэлектрической среде при наличии объемных зарядов. Какому граничному условию удовлетворяет потенциал на поверхности проводящего тела?
26. Запишите уравнение непрерывности зарядов и токов в проводящей среде. Из каких уравнений Максвелла можно получить это уравнение? Приведите выражения для векторных потенциалов квазистационарных линейных, поверхностных и объемных токов. Какому условию калибровки удовлетворяют эти потенциалы?
27. Запишите выражение для энергии системы контуров с токами. Что такое коэффициенты взаимной индукции, и каким условиям они удовлетворяют? Запишите уравнения для стационарного магнитного поля в однородной среде. Каким образом можно ввести потенциалы для описания такого поля?
28. Запишите выражения для силы и момента сил, действующих на диполь в неоднородном электрическом поле. Опишите излучение электромагнитных волн в дипольном приближении. Как выглядит угловое распределение интенсивности? Что такое радиационное трение?
29. Опишите структуру плоской электромагнитной волны. Что такое поляризация волны? Какому уравнению удовлетворяет поле волны в однородной среде? Как преобразуется электрическое и магнитное поле электромагнитной волны при переходе к движущейся системе отсчета. В чем состоит эффект Доплера.
30. Объясните с точки зрения уравнений Максвелла явления отражения и преломления волн на границах раздела сред. Что такое явление полного внутреннего отражения? Приведите примеры применения законов геометрической оптики.
31. Запишите дифференциальное уравнение для векторного потенциала. Как выглядит это уравнение в квазистационарном случае? Запишите теорему о циркуляции магнитного поля в квазистационарном случае. Как получить эту теорему из уравнений Максвелла?
32. Запишите уравнения движения заряженной частицы в поле электромагнитной волны. Как происходит рассеяние волны на заряженных частицах? Запишите уравнение распространения электромагнитной волны в слабо проводящей среде. Что такое комплексная диэлектрическая проницаемость?

ЛИТЕРАТУРА

- 1) А.А. Власов. Макроскопическая электродинамика. М., Гостехиздат, 1955.
- 2) В.И. Денисов. Введение в электродинамику сплошных сред. М, Изд-во МГУ, 1989.
- 3) Дж. Джексон. Классическая электродинамика. М., Мир, 1965.
- 4) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. М., Наука, 1973.
- 5) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1982.

Оптика

33. Получите из уравнений Максвелла волновое уравнение для вектора напряженности электрического поля световой волны в однородном изотропном диэлектрике без свободных зарядов. Запишите выражения для вектора Умова-Пойнтинга и объемной плотности энергии электромагнитной волны в изотропной среде. Изобразите расположение векторов \mathbf{E} , \mathbf{H} , \mathbf{k} , \mathbf{S} в пространстве и графики их изменения во времени в бегущей гармонической волне.
34. Объясните волновую природу давления света на примере плоской электромагнитной волны, падающей нормально на поверхность. Запишите выражения для импульса световой волны, давления света на поверхность с коэффициентом отражения R . Какова поляризация естественного света? Изобразите траектории конца вектора напряженности электрического поля для случаев линейной, круговой и эллиптической поляризации.
35. Что такое пространственная когерентность света? В чем заключается явление интерференции света? В случае интерференции света от двух монохроматических точечных источников (схема Юнга) получите выражения для интенсивности и ширины интерференционной полосы, запишите значения фазы и разности хода в максимуме и минимуме m -ого порядка интерференции.
36. Сформулируйте теорему Винера-Хинчина для спектральной плотности мощности и корреляционной функции случайных световых колебаний. Опишите применение этой теоремы в фурье-спектроскопии. Рассмотрите наиболее типичные примеры.
37. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля. Получите выражение для радиуса n -ой зоны Френеля, постройте векторную диаграмму для комплексной амплитуды поля при дифракции на круглом отверстии. Изобразите амплитудную и фазовую зонные пластинки. Запишите дифракционный интеграл Кирхгофа. Сформулируйте условие излучения Зоммерфельда, приближения Кирхгофа у границы отверстия на экране и оптическое приближение.
38. Сформулируйте приближение Френеля в теории дифракции и запишите дифракционный интеграл в этом приближении. Изобразите график изменения интенсивности плоской волны при дифракции на круглом отверстии в зависимости от расстояния.
39. Сформулируйте приближение Фраунгофера для дифракции плоских волн и запишите в этом приближении интеграл для дифрагирующего светового поля. Дайте определение дальней зоны дифракции. Представьте дифракцию плоских волн как пространственное преобразование Фурье.
40. Сформулируйте основные положения электронной теории дисперсии и ее приближения. Изобразите кривые дисперсии и абсорбции в окрестности линии поглощения. Укажите области нормальной и аномальной дисперсии и изобразите картину дисперсии, получаемую в скрещенных призмах. Получите в первом приближении теории дисперсии выражение для огибающей светового импульса и групповой скорости в диспергирующей среде.
41. Изобразите сферу и эллипсоид показателей преломления для одноосных анизотропных кристаллов. Постройте волновые векторы для обыкновенной и необыкновенной волн. Приведите оптическую схему получения света с круговой и эллиптической поляризацией из естественного света.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Г.С. Ландсберг. Оптика. М., 1976.
- 2) Н.И. Калитеевский. Волновая оптика. М., Высшая школа, 1978.
- 3) Б.И. Бутиков. Оптика. М., Высшая школа, 1986.

Квантовая физика

42. Выведите формулу Планка для равновесного излучения и рассмотрите следствия из нее: формулу Рэлея-Джинса и формулу Вина. Укажите условия, при которых эти формулы справедливы.
43. Дайте численное значение константы Планка и приведите примеры квантовых соотношений для частиц вещества и фотонов, в которые она входит. Опишите, как можно экспериментально определить константу Планка (тепловое излучение, фотоэффект, тормозное рентгеновское излучение). Сформулируйте критерий квантового описания объектов. Что такое волна де Бройля?
44. Дайте определение чистого и смешанного состояний квантовых систем. Приведите примеры квантовых систем, находящихся в чистом и смешанном состояниях. Каковы основные свойства и физический смысл волновой функции и матрицы плотности? Как, зная волновую функцию, вычислить среднее значение физической величины и вероятность какого-либо результата измерения физической величины?
45. Как определяются операторы координаты и импульса в координатном представлении? Запишите общее уравнение Шредингера для системы с гамильтонианом H . Дайте определение физической системы, находящейся в стационарном состоянии, и получите стационарное уравнение Шредингера. Какие условия накладываются на решения этого уравнения? Приведите примеры движений частицы с непрерывным и дискретным энергетическим спектром.
46. Запишите уравнение Шредингера для гармонического осциллятора и обсудите вид и основные характеристики решений этого уравнения (волновые функции и энергетический спектр). Объясните наличие энергии нулевых колебаний на основе принципа неопределенности. Как изменится энергетический спектр при учете ангармонизма колебаний?
47. Запишите уравнение Шредингера для атома водорода и обсудите вид и основные характеристики решений этого уравнения. Объясните, что характеризуют квантовые числа.
48. Запишите операторы проекций углового момента частицы на оси Ox , Oy и Oz декартовой системы координат и квадрата полного углового момента, а также соотношения коммутации для этих операторов. Приведите выражения для оператора квадрата полного углового момента и оператора проекции углового момента частицы на ось Oz сферической системы координат. Сформулируйте задачу на собственные функции и собственные значения этих операторов и запишите их собственные функции и собственные значения.
49. Найдите волновую функцию и энергетический спектр в первом порядке теории возмущений для системы с невырожденными и вырожденными уровнями энергии, гамильтониан которой имеет вид $H = H_0 + W$, где W – малое возмущение основного гамильтониана H_0 .
50. Дайте оценку внутриатомного электрического поля и опишите основные особенности эффекта Штарка в атоме водорода и в других атомах. Запишите уравнение Шредингера для электрона в атоме, помещенном в электростатическое поле. Запишите общий вид волновых функций, представляющих состояние с энергией E_n в атоме водорода и состояние с энергией E_n в водородоподобном атоме.
51. Сформулируйте задачу об упругом рассеянии частиц на частицах. Дайте определение дифференциального эффективного сечения и полного эффективного сечения упругого рассеяния. Запишите уравнение Шредингера для волновой функции рассеиваемой частицы и

общий вид искомого решения. Опишите ход решения уравнения Шредингера по теории возмущений и приведите сечение упругого рассеяния в первом порядке теории возмущений (борновское приближение).

52. Сформулируйте принцип тождественности частиц. Введите оператор перестановки частиц, найдите его собственные значения и определите симметричные и антисимметричные волновые функции. Свяжите выбор между этими двумя классами состояний со спином частицы и дайте определение ансамблю Бозе и ансамблю Ферми. Сформулируйте принцип Паули. Запишите волновые функции для ансамблей бозе- и ферми-частиц.
53. Проведите вторичное квантование свободного электромагнитного поля, введите операторы рождения и уничтожения фотонов и запишите правила их коммутации. Определите оператор взаимодействия электронов с электромагнитным полем, и вычислите его матричный элемент для перехода между парой электронных уровней. Запишите вероятности испускания и поглощения фотона при переходе между парой этих уровней. Получите интенсивность дипольного излучения атома.
54. Охарактеризуйте основные классы молекул и типы связей в них. Опишите вращательные, колебательные и электронные спектры молекул (характерные частоты, квантование уровней и др.). Дайте качественную картину возникновения гомополярной силы связи в молекуле водорода. Разъясните квантовую природу сил Ван-дер-Ваальса.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) А.С. Давыдов. Квантовая механика. М., Физматгиз, 1973.
- 2) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. М., Физматгиз, 1974.
- 3) Д.И. Блохинцев. Основы квантовой механики. М., Наука, 1983.
- 4) А.А. Соколов, Ю.М. Лоскутов, И.М. Тернов. Квантовая механика. М., Просвещение, 1965.
- 5) А. Мессиа. Квантовая механика. т.1, 2. Наука, 1978.

Ядерная физика

55. Опишите опыт Резерфорда. Что такое ядро, каковы его характерные размеры? Каким распределением описываются плотности распределения массы и заряда ядра? Как связан радиус ядра и его массовое число? Дайте определение энергии связи ядра. Чему равен дефект массы ядра?
56. Какие частицы называют стабильными? Перечислите все виды взаимодействий с указанием частиц — переносчиков взаимодействия и характерным временем взаимодействия. Приведите примеры процессов, происходящих по различным взаимодействиям. Выпишите все фундаментальные частицы Стандартной модели. Что такое адроны? Что такое лептоны? В каких взаимодействиях они участвуют?
57. Перечислите квантовые числа, характеризующие частицы. Что такое спин? Какие значения он может принимать? Что характеризует квантовое число внутренней четности? От чего зависит значение изоспина? Какие квантовые числа совпадают у частиц и античастиц? Какие квантовые числа сохраняются в сильном взаимодействии? В слабом и электромагнитном?
58. Дайте определение радиоактивности. В чем заключается статистический характер распада? Выведите закон радиоактивного распада. Что такое период полураспада? Как связаны период полураспада и постоянная распада? Чем обусловлены естественная и искусственная радиоактивности? Что такое космические лучи? Что такое альфа-распад? Приведите пример альфа-радиоактивного ядра. Запишите три типа бета-распада. Почему происходят гамма-излучение в ядрах?
59. Запишите формулу Вайцзеккера для энергии связи ядер, объясните роль каждого слагаемого. Нарисуйте зависимость удельной энергии связи стабильных ядер от массового числа. Обоснуйте, почему при делении тяжелых ядер и в реакциях синтеза легких ядер выделяется энергия.

60. В чем особенность магических чисел для ядер? Какая модель используется для объяснения магических ядер? Какое уравнение описывает состояния нуклонов в этой модели? Какие квантовые числа описывают состояние нуклонов? Какую роль играет спин-орбитальное взаимодействие? В чем заключается принцип Паули?
61. Что такое цепная реакция? Что характеризует коэффициент размножения нейтронов? Какие процессы называются критическими, надкритическими и подкритическими? Как устроен ядерный реактор? Как осуществляется контроль скорости реакции в ядерном реакторе?
62. Что такое энергия реакции? Чему равна пороговая энергия реакции в СЦИ и в лабораторной системе отсчета? Какие законы сохранения работают в ядерных реакциях? Сформулируйте законы сохранения полного момента, изоспина, проекции изоспина и четности. В каких реакциях они могут нарушаться? Опишите возможные механизмы ядерных реакций.
63. В чем отличие адронов и лептонов? Какие частицы называются барионами? Перечислите кварки трех поколений с указанием их зарядов и ароматов. Какой кварковый состав нуклонов? Для чего было введено квантовое число «цвет»? Какие ограничения на кварковый состав и взаимодействие между кварками накладывает наличие «цвета»? В чем заключается явление конфайнмента?
64. Что такое комптоновское рассеяние? Нарисуйте диаграммы Феймана прямого и обратного эффекта Комптона. Как связаны длина волны и угол рассеяния фотона? В чем состоит выдвинутая де Бройлем гипотеза об универсальности корпускулярно-волнового дуализма? Чему равна длина волны де Бройля? В чем состоял эксперимент Дж. Томсона по изучению дифракции электронов? Сформулируйте принцип неопределенности Гейзенберга.
65. В чем заключается явление альфа-распада? Запишите закон Гейгера-Неттола. При каких условиях возможен альфа-распад? Какова роль кулоновского и центробежного барьеров в альфа-распаде? Что такое радиоактивные семейства?
66. Как связаны размер исследуемого объекта и требуемая для этого энергия? Какая энергия необходима для исследования структуры ядра? Нуклона? Какая принципиальная структура ускорителя? Объясните принцип работы линейного ускорителя, циклотрона, микротрона и ускорителя на встречных пучках. В чем их недостатки и преимущества?
67. Определите операции зарядового, пространственного и временного сопряжения. В каких взаимодействиях нарушаются С-, Р-, Т-симметрии? В каком эксперименте наблюдается несохранение СР-симметрии? В чем заключается СРТ-теорема? Какие предпосылки к нарушению Т-симметрии?
68. В каких ядрах можно наблюдать вращательные состояния в спектре и почему? Как можно объяснить наличие колебательных уровней в спектре ядра? Что такое фононы? Изобразите схематически монопольные, дипольные и квадрупольные коллективные колебания. Как выглядят спектры вращательных и колебательных уровней в ядре?
69. Какие реакции происходили в эпоху дозвездного нуклеосинтеза? Какие элементы образовались в результате рр- и СНО-циклов? Какой состав имеет звезда на стадии горения кремния? Какова роль r- и s- процессов?

ЛИТЕРАТУРА

- 1) <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
- 2) Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин *Частицы и атомные ядра*. Учебник. Изд. 4-е, испр. и доп., 2019.
- 3) И.М. Капитонов *Введение в физику ядра и частиц*. Изд. 6-е. 2018.