

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени
Франциска Скорины»**

В. Г. ШОЛОХ, А. Н. ГОДЛЕВСКАЯ

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ

**КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СОСТОЯНИЙ
ОДНОЭЛЕКТРОННЫХ АТОМНЫХ СИСТЕМ**

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

**для студентов специальностей
1-31 04 01 «Физика (по направлениям)»**

**Гомель
УО «ГГУ им. Ф. Скорины»
2012**

УДК 539.18 : 530.145 : 539.19 (075.8)

ББК 22.36 + 22.314 я73

Ш 786

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук П.В. Астахов;
кафедра оптики учреждения образования «Гомельский
государственный университет имени Франциска Скорины»

Рекомендованы к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Шолох, В. Г.

Ш 786 Физика атома и атомных явлений: квантовомеханическое
описание состояний одноэлектронных атомных систем: тестовые
задания для студ. спец. 1-31 04 01 «Физика (по направлениям)» /
В. Г. Шолох, А. Н. Годлевская; М-во образования РБ, Гомельский
гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. –
36 с.

ISBN 978-985-439-679-8

Тестовые задания подготовлены в целях оказания помощи студентам в
усвоении теоретических основ курса «Физика атома и атомных явлений» и
в подготовке к компьютерному тестированию.

Адресованы студентам специальностей 1-31 04 01 «Физика»; 1-31 04
03 «Физическая электроника»; 1-02 05 04-04 «Физика. Техническое
творчество»

УДК 539.18 : 530.145 : 539.19 (075.8)

ББК 22.36 + 22.314 я73

ISBN 978-985-439-679-8

© Шолох В. Г., Годлевская А. Н. 2012

© УО «Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины», 2012

1. РАЗВИТИЕ КВАНТОВЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

1. Планетарная модель строения атома была предложена на основе...

- а) теоретической гипотезы;
- б) экспериментальных результатов по рассеянию α частиц веществом;
- в) экспериментальных исследований внешнего фотоэффекта;
- г) теоретического описания излучения абсолютно черного тела;
- д) модели Томсона.

2. В соответствии с планетарной моделью атом химического элемента с порядковым номером Z в периодической системе элементов представляет ...

- а) совокупность Z электронов, Z протонов и Z нейтронов, движущихся относительно общего центра масс;
- б) совокупность Z электронов, движущихся относительно покоящегося ядра;
- в) совокупности Z электронов и ядра атома, движущихся относительно их общего центра масс;
- г) совокупности Z электронов, Z протонов и некоторого числа нейтронов, образующих связанную систему;
- д) электрически заряженная система элементарных частиц.

3. Отношение линейного размера атома к линейному размеру его ядра составляет

а) $\sim 10^5$; б) $\sim 10^8$; в) $\sim 10^3$; г) $\sim 10^{10}$; д) $\sim 10^{13}$.

4. Соотношение между массой протона m_p и массой электрона m_e имеет вид:

а) $m_p \ll m_e$; б) $m_p \approx m_e$; в) $m_p \gg m_e$;
г) $\frac{m_p}{m_e} \sim 10^3$; д) $\frac{m_p}{m_e} \sim 10^5$; е) $\frac{m_p}{m_e} \sim 10$.

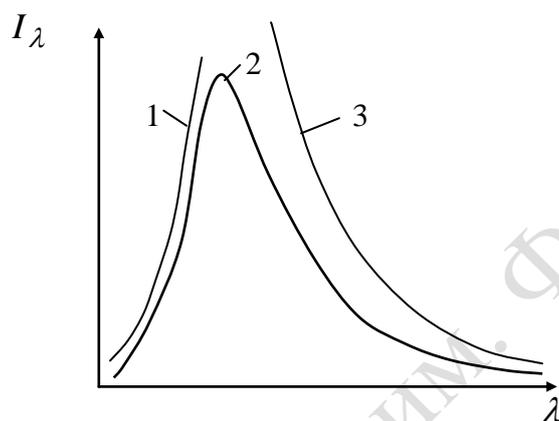
5. Изотопы – это атомы, отличающиеся ...

- а) числом электронов; б) числом протонов; в) числом нейтронов;
- г) массой ядер; д) зарядом ядер.

6. Установите соответствие между формулами, посредством которых описывают спектральное распределение поверхностной яркости теплового излучения, и их названиями.

1) формула Рэля-Джинса; 2) формула Вина; 3) формула Планка.	а) $I_{\lambda}d\lambda = c_1\lambda^{-5}e^{-c_2/\lambda T}d\lambda$; б) $I_{\lambda}d\lambda = ckT\lambda^{-4}d\lambda$; в) $I_{\lambda}d\lambda = c_1\lambda^{-5}\frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}d\lambda$.
---	---

7. Укажите зависимость спектрального распределения поверхностной яркости теплового излучения, соответствующую формуле Планка.



8. Гипотезу о дискретности энергии элементарного излучателя впервые высказал ...

- а) Планк в связи с проблемой теплового излучения;
- б) Планк в связи с рассмотрением динамики движущихся систем;
- в) Эйнштейн в связи с объяснением фотоэффекта;
- г) Комптон и Дебай в целях объяснения рассеяния рентгеновского излучения веществом;
- д) Юнг при объяснении распределения интенсивности излучения в интерференционной картине.

9. Единица измерения постоянной Планка – ...

- а) Дж; б) c^{-1} ; в) см/с; г) Дж·с; д) Дж/с.

10. Минимальная энергия элементарного излучателя, собственная частота колебаний которого ν_0 , равна $h\nu_0$ в соответствии с гипотезой ...

11. В соответствии с гипотезой квантов Эйнштейна электромагнитное излучение с частотой ν представляет

- а) монохроматическую электромагнитную волну;
- б) поток корпускул энергии (фотонов);

- в) волновой пакет;
- г) суперпозицию волн различной частоты;
- д) процесс, сопровождающий изменение состояния системы.

12. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения проявляются, в частности, в ...

- а) явлении фотоэффекта; б) эффекте Рамзауэра;
- в) явлении Доплера; г) эффекте Комптона;
- д) явлении дифракции.

13. Энергия кванта излучения (фотона) определяется в соответствии с выражением:

- а) $\frac{h}{c\lambda}$; б) $\frac{hc}{\lambda}$; в) $\frac{h}{\lambda}$; г) $h\nu$; д) $c\lambda$.

14. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта ...

- а) является частным проявлением закона сохранения энергии в явлении внешнего фотоэффекта;
- б) является частным проявлением закона сохранения энергии в явлении внутреннего фотоэффекта;
- в) является частным проявлением закона сохранения импульса;
- г) составляет основу для объяснения существования красной границы фотоэффекта;
- д) сформулировано в 1905 году;
- е) сформулировано в 1922 году.

15. Установите соответствие между изменением характеристик внешнего фотоэффекта и изменением параметров электромагнитного излучения, являющегося его причиной.

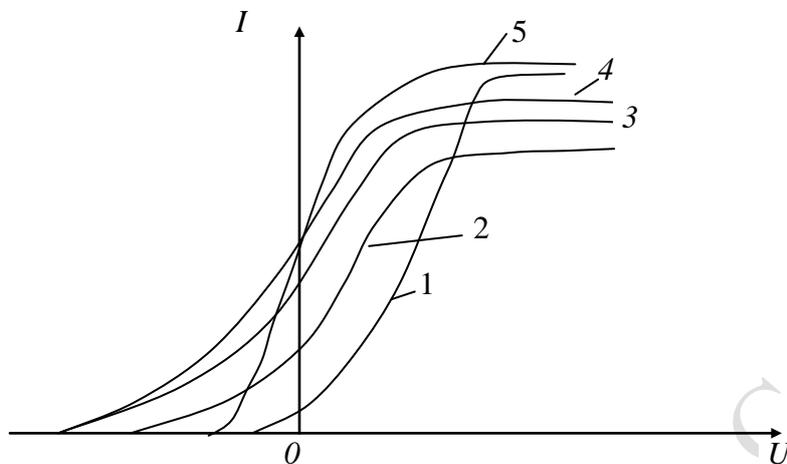
1) увеличение силы фототока;	а) увеличение интенсивности;
2) увеличение скорости фотоэлектронов;	б) увеличение частоты;
3) уменьшение запирающего потенциала	в) увеличение длины волны

16. При подаче запирающего напряжения на вакуумный фотоэлемент...

- а) фотоэффекта не происходит;
- б) фотоэлектроны не преодолевают межэлектродный промежуток фотоэлемента;
- в) сила фототока в цепи фотоэлемента равна нулю;
- г) электроны не покидают пределы поверхности фотокатода;

д) скорость фотоэлектронов равна нулю.

17. Укажите вольтамперную(ые) характеристику(и) вакуумного фотоэлемента, полученную(ые) при наименьшем значении частоты падающего излучения.



18. Импульс фотона определяется по формуле...

а) $\frac{h}{\lambda}$; б) $\frac{hc}{\lambda}$; в) $\frac{h}{c\lambda}$; г) $\frac{h\nu}{c}$; д) $c\lambda$.

19. Красная граница фотоэффекта – это ...

а) наибольшее значение длины волны излучения, при котором происходит фотоэффект;

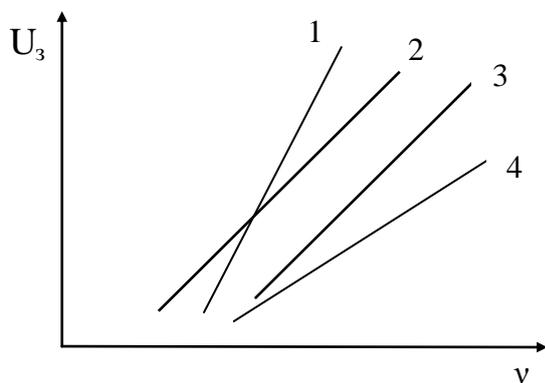
б) наибольшее значение частоты излучения, при котором происходит фотоэффект;

в) наименьшее значение частоты излучения, при котором происходит фотоэффект;

г) наименьшее значение длины волны излучения, при котором происходит фотоэффект;

д) значение частоты, при котором скорость фотоэлектронов при вылете из фотокатода равна нулю.

20. Укажите, какой из графиков зависимости запирающего потенциала U_3 от частоты ν излучения, вызывающего фотоэффект, соответствует фотокатоду с меньшим значением работы выхода.



21. Явление Комптона состоит ...

- а) в изменении длины волны излучения, обусловленном движением излучателя относительно наблюдателя;
- б) в изменении длины волны излучения, обусловленном движением приёмника излучения относительно источника;
- в) в изменении длины волны излучения при его рассеянии в веществе;
- г) в выходе электронов из вещества при его освещении;
- д) в увеличении электропроводности вещества при его освещении.

22. В соответствии с моделью эффекта Комптона комптоновское изменение длины волны зависит:

- а) от длины волны падающего на вещество рентгеновского излучения;
- б) от угла рассеяния излучения;
- в) от природы вещества, на частицах которого рассеивается излучение;
- г) от интенсивности падающего на вещество излучения;
- д) от массы частиц, на которых происходит рассеяние излучения.

23. Теоретическое описание эффекта Комптона базируется...

- а) только на законе сохранения энергии;
- б) только на законе сохранения импульса;
- в) на классических представлениях об излучении;
- г) на квантовых представлениях об излучении;
- д) на законах сохранения энергии и импульса.

24. При увеличении угла рассеяния рентгеновского излучения в эффекте Комптона имеет место:

- а) увеличение смещения длины волны рассеянного излучения относительно длины волны падающего на вещество рентгеновского излучения;
- б) увеличение энергии электрона отдачи;
- в) уменьшение энергии электрона отдачи;
- г) уменьшение энергии рассеянного фотона.
- д) Величина комптоновского смещения не изменяется.

25. Сколько электронов содержится в водородоподобной атомной системе?

26. Установите соответствие между формулами, соответствующими спектральным сериям водородоподобной атомной системы, и названиями серий.

1) Серия Пашена 2) Серия Лаймана 3) Серия Бальмера 4) Серия Брэкета	а) $\tilde{\nu} = RZ^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ б) $\tilde{\nu} = RZ^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ в) $\tilde{\nu} = RZ^2 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ г) $\tilde{\nu} = RZ^2 \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$
--	--

27. Волновое число спектральной линии $\tilde{\nu}$ связано с ее длиной волны λ и частотой ν следующим образом (c – скорость света в вакууме):

а) $\tilde{\nu} = c\nu$; б) $\tilde{\nu} = \frac{\nu}{c}$; в) $\tilde{\nu} = \frac{c}{\lambda}$; г) $\tilde{\nu} = \frac{\lambda}{c}$; д) $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$.

28. Линии серии Лаймана в спектре атома водорода наблюдаются:

- а) в видимой области;
- б) в ближней инфракрасной области;
- в) в дальней инфракрасной области;
- г) в ультрафиолетовой области;
- д) в видимой и ультрафиолетовой области.

29. Чему равно отношение постоянной Ридберга R к волновому числу спектральной линии, соответствующей границе серии Бальмера атома водорода?

30. Запишите порядковый номер спектральной линии в серии Бальмера (считая с головной линии), если соответствующая ей длина волны вычисляется по формуле $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$.

31. Сколько электронов необходимо удалить из атома лития, чтобы образовалась водородоподобная атомная система?

32. Укажите, во сколько раз значение волнового числа линии в спектре иона гелия He^+ превышает значение волнового числа соответствующей спектральной линии атома водорода.

33. Величина спектрального терма $T_n \dots$

- а) характеризует энергию атома в стационарном состоянии;
- б) зависит от структуры атома;
- в) у атомов-изотопов различна;
- г) зависит только от квантового числа n ;
- д) не имеет физического смысла.

34. Комбинируя спектральные термы атомной системы, можно непосредственно вычислять...

- а) волновое число любой спектральной линии;
- б) частоту любой спектральной линии;
- в) длину волны любой спектральной линии;
- г) энергию атома в стационарном состоянии;
- д) энергию испускаемого или поглощаемого кванта.

35. Разность волновых чисел третьей и второй линий серии Лаймана равна волновому числу:

- а) первой линии в серии Бальмера;
- б) первой линии в серии Пашена;
- в) второй линии в серии Бальмера;
- г) первой линии в серии Лаймана;
- д) второй линии в серии Брэкета.

36. Какие из данных утверждений правильны?

а) В соответствии с первым постулатом Бора спектр значений полной энергии атома непрерывен.

б) В соответствии с первым постулатом Бора излучение электромагнитных волн атомами обусловлено движением электронов относительно ядра атома.

в) Во втором постулате Бора отражен закон сохранения энергии.

г) В соответствии со вторым постулатом Бора частота испускаемого или поглощаемого атомной системой излучения определяется по формуле $h\nu_{nk} = |E_n - E_k|$;

д) В соответствии с первым постулатом Бора спектр значений полной энергии атома дискретен.

37. В теории Бора для водородоподобных атомных систем рассматривались орбиты электрона ...

а) круговые; б) сферические; в) эллиптические; г) при движении по которым момент импульса электрона кратен \hbar ; д) при движении по которым импульс электрона кратен \hbar .

38. Условие квантования орбит (по Бору) – это:

а) условие дискретности значений потенциальной энергии электрона;

б) условие дискретности значений импульса электрона;

в) условие дискретности значений механического момента электрона;

г) условие дискретности значений полной энергии атома;

д) условие дискретности значений кинетической энергии электрона.

39. Как изменится радиус боровской орбиты электрона, если номер орбиты увеличится в три раза?

40. При увеличении радиуса боровской орбиты в 4 раза значение скорости движения электрона по ней ...

а) увеличивается в 2 раза;

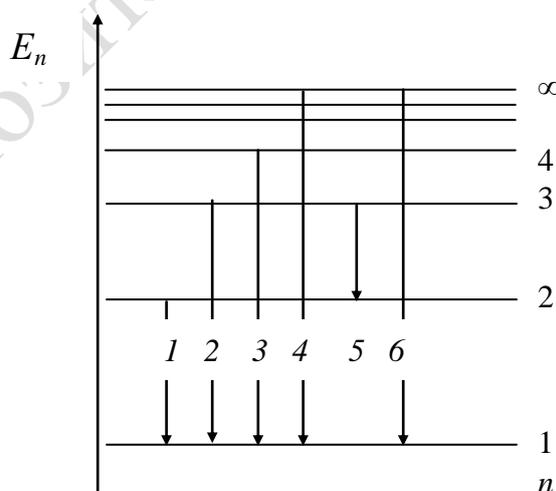
б) уменьшается в 2 раза;

в) остается неизменным;

г) увеличивается в $\sqrt{2}$ раз;

д) уменьшается в $\sqrt{2}$ раз.

41. Укажите номер квантового перехода, соответствующего головной линии серии Лаймана.



42. Укажите значение полной энергии электрона, совершившего квантовый переход, соответствующий границе серии Лаймана в спектре поглощения.

43. Полная энергия электрона в водородоподобной системе с ростом номера n его орбиты изменяется в соответствии с зависимостью

- а) $E \sim -1/n^2$;
- б) $E \sim n^2$;
- в) $E \sim n^{-1}$;
- г) $E \sim n$;
- д) остается неизменной.

44. Длина волны де Бройля определяется по формуле...

- а) $\lambda = \frac{h}{p}$, б) $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}$; в) $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{E}$; г) $\lambda = \frac{c}{\nu}$; д) $\lambda = \frac{h}{U}$.

45. Значения полной энергии частицы и частоты соответствующей ей волны де Бройля связаны ... зависимостью.

- а) прямой пропорциональной;
- б) обратной пропорциональной;
- в) квадратичной;
- г) экспоненциальной.
- д) Не зависят друг от друга.

46. При увеличении скорости движения частицы значение длины волны де Бройля ...

- а) возрастает линейно;
- б) возрастает квадратично;
- в) изменяется в соответствии с обратно пропорциональной зависимостью;
- г) уменьшается по экспоненциальному закону;
- д) возрастает по экспоненциальному закону.

47. Фазовая скорость волны де Бройля ν_ϕ , скорость движения частицы ν и скорость света в вакууме c удовлетворяют соотношению:

- а) $\nu_\phi = \nu$;
- б) $\nu_\phi = c$;
- в) $\nu < \nu_\phi < c$;
- г) $\nu_\phi > c$;
- д) $\nu_\phi \nu = c^2$.

48. Величина $|\Psi(x,t)|^2$ – это ...

а) плотность вероятности обнаружить частицу в момент времени t в точке пространства с координатой x ;

б) вероятность обнаружить частицу в момент времени t в точке пространства с координатой x ;

в) вероятность обнаружить частицу в момент времени t в конечном объёме в окрестности точки с координатой x ;

г) плотность вероятности обнаружить частицу в точке пространства с координатой x в стационарном состоянии;

д) вероятность обнаружить микрочастицу в момент времени t в неограниченном пространстве.

49. Чему равно значение интеграла $\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi(x)|^2 dx$, если $\Psi(x)$ – волновая функция (функция состояния) частицы при одномерном движении?

50. Волновые свойства частицы проявляются в условиях, когда соответствующая ей длина волны де Бройля λ и характерные линейные размеры системы L , в которой движется частица, удовлетворяют соотношению:

а) $\lambda \approx L$; б) $\lambda \gg L$; в) $\lambda \ll L$; г) $\frac{L}{\lambda} \sim 10^2$; д) $\frac{L}{\lambda} \sim 10^3$.

2. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

1. В рамках квантовой механики состояние движения частицы описывается...

а) волновой функцией (функцией состояния) $\Psi(\vec{r}, t)$;

б) функцией $\vec{r}(t)$;

в) функцией $\vec{v}(t)$;

г) совокупностью величин: энергии, момента импульса, координат и соответствующих им проекций импульсов;

д) совокупностью физических величин, которым сопоставляются операторы, составляющие полный набор.

2. Оператор – это правило, по которому:

а) значению одной физической величины ставится в соответствие значение другой физической величины;

б) одной функции ставится в соответствие другая функция;

в) определяется числовое значение функции при заданных значениях аргументов;

г) исключаются невозможные значения физической величины.

3. Запишите в именительном падеже название оператора \hat{A} , которому характерно свойство $\hat{A}(c_1\varphi_1 + c_2\varphi_2) = c_1\hat{A}\varphi_1 + c_2\hat{A}\varphi_2$.
(здесь c_1 и c_2 – константы, φ_1 и φ_2 – функции, зависящие от переменных оператора \hat{A}).

4. Оператор \hat{A} называется эрмитовым (самосопряженным), если для любых двух функций v и u выполняется равенство:

а) $\int v^* \hat{A}u \cdot dV = \int u(\hat{A}v)^* \cdot dV$;

б) $\int v^* \hat{A}u \cdot dV = \int u\hat{A}v^* \cdot dV$;

в) $\int v^* \hat{A}u \cdot dV = \int u\hat{A}^*v \cdot dV$;

г) $\int u^* \hat{A}v \cdot dV = \int v(\hat{A}u)^* \cdot dV$;

д) $\int u^* \hat{A}v \cdot dV = \int (v\hat{A}u)^* \cdot dV$.

5. Самосопряженные операторы ставятся в соответствие...

а) комплексным величинам;

б) действительным физическим величинам;

в) мнимым величинам;

г) величинам, которые можно измерить экспериментально.

6. Уравнение для собственного состояния оператора \hat{A} имеет вид:

а) $\hat{A}\Psi_n = a_n$; б) $\hat{A}\Psi_n = Ca_n$; в) $\hat{A}\Psi_n = a_n\Psi_n$;

г) $\hat{A}\Psi_n = a_n\Psi_n^{-1}$; д) $\hat{A}\Psi_n = a_n\Psi_n^2$.

7. Условие коммутации операторов \hat{A} и \hat{B} записывается следующим образом:

а) $[\hat{A}, \hat{B}] = \hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A} = 0$;

б) $[\hat{A}, \hat{B}] = \hat{A}\hat{B} + \hat{B}\hat{A} = 0$;

в) $[\hat{A}, \hat{B}] = \hat{A}\hat{B} + \hat{B}\hat{A} = 1$;

г) $[\hat{A}, \hat{B}] = \hat{B}\hat{A} - \hat{A}\hat{B} = 0$;

д) Правильный ответ не приведен.

8. Установите соответствие между понятиями и определениями:

4) стационарное уравнение Шрёдингера для частицы, движущейся в потенциальном поле;	г) $-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi + (U - E)\Psi = 0$;
--	--

5) нестационарное уравнение Шрёдингера для частицы, движущейся в потенциальном поле;	д) $-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi = E\Psi$;
6) стационарное уравнение Шрёдингера для свободно движущейся частицы;	е) $-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi + U\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t}$;
7) нестационарное уравнение Шрёдингера для свободно движущейся частицы.	ж) $-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t}$.

9. Функция состояния $\Psi(\vec{r})$ должна удовлетворять стандартным условиям:

- а) непрерывность;
- б) конечность;
- в) непрерывность первых производных по координатам;
- г) непрерывность первой производной по времени;
- д) однозначность;
- е) непрерывность вторых производных по координатам.

9. Дополните фразу: «По формуле $\langle A \rangle = \int \Psi^* \hat{A} \Psi dV$ определяется ... физической величины A ».

10. Оператор проекции импульса частицы на ось x имеет вид:

а) $\hat{p}_x = -i\hbar\frac{\partial}{\partial x}$; б) $\hat{p}_x = i\hbar\frac{\partial}{\partial x}$; в) $\hat{p}_x = -i\hbar\frac{\partial}{\partial y}$;
 г) $\hat{p}_x = i\hbar\frac{\partial^2}{\partial x^2}$; д) $\hat{p}_x = -i\hbar\frac{\partial}{\partial z}$.

11. Запишите название физической величины, которой сопоставляется оператор $\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + U(\vec{r})$.

12. Действие оператора координаты на функцию состоит в ...

- а) умножении функции на координату;
- б) делении функции на координату;
- в) дифференцировании функции по координате;
- г) интегрировании функции по координате;
- д) двукратном дифференцировании функции по координате.

13. Если атомная система может находиться в состояниях, описываемых функциями $\Psi_1(\vec{r}, t)$ и $\Psi_2(\vec{r}, t)$, то...

- а) её состояние описывается и функцией $\Psi = c_1\Psi_1 + c_2\Psi_2$;
- б) плотность вероятности обнаружить частицу в некоторой точке пространства в заданный момент времени равна $w = |\Psi_1|^2 + |\Psi_2|^2$;
- в) плотность вероятности обнаружить частицу в некоторой точке пространства в заданный момент времени равна $w = |\Psi|^2$;
- г) плотность вероятности обнаружить частицу в некоторой точке пространства в заданный момент времени равна $w = |\Psi_1|^2 + |\Psi_2|^2 + 2|\Psi_1\Psi_2^*|$;
- д) плотность вероятности обнаружить частицу в некоторой точке пространства в заданный момент времени равна $w = |c_1|^2 + |c_2|^2$.

14. Физический смысл плотности вероятности обнаружить частицу в точке пространства с координатами \vec{r} имеет:

- а) функция состояния $\Psi(\vec{r})$;
- б) величина $\Psi(\vec{r})^* \cdot \Psi(\vec{r})$;
- в) величина $|\Psi(\vec{r})|^2$;
- г) $\int_V \Psi(\vec{r}) dV$;
- д) $\int_V |\Psi(\vec{r})|^2 dV$.

15. Если операторы двух физических величин коммутируют, то...

- а) им соответствует общая система собственных функций;
- б) физические величины можно одновременно точно измерить;
- в) физические величины нельзя одновременно точно измерить;
- г) физические величины связаны соотношением неопределённостей;
- д) физические величины не связаны соотношением неопределённостей Гейзенберга.

16. Если операторы двух физических величин не коммутируют, то

...

- а) им соответствует общая система собственных функций;
- б) физические величины можно одновременно точно измерить;
- в) физические величины нельзя одновременно точно измерить;
- г) физические величины связаны соотношением неопределённостей;
- д) физические величины не связаны соотношением неопределённостей Гейзенберга.

17. Потенциальная яма – это область пространства, в которой ...
- а) потенциальная энергия меньше, чем за её пределами;
 - б) область пространства, в которой потенциальная энергия больше, чем за пределами данной области;
 - в) преобладающим взаимодействием является притяжение;
 - г) преобладающим взаимодействием является отталкивание;
 - д) взаимодействующие частицы образуют связанную систему.

18. Потенциальный барьер – это область пространства, в которой ...
- а) потенциальная энергия меньше, чем за её пределами;
 - б) область пространства, в которой потенциальная энергия больше, чем за пределами данной области;
 - в) преобладающим взаимодействием является притяжение;
 - г) преобладающим взаимодействием является отталкивание;
 - д) взаимодействующие частицы образуют связанную систему.

19. Для частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме, границы которой определяются условием $0 \leq x \leq a$, ...
- а) функция состояния тождественно равна нулю при любых значениях координат;
 - б) спектр значений полной энергии дискретен;
 - в) полная энергия не может быть равна нулю;
 - г) плотность вероятности обнаружения частицы вблизи точки $x = a/2$ равна нулю, если функции $\Psi_n(x)$ соответствует чётное значение n ;
 - д) вероятность обнаружения за пределами ямы отлична от нуля.

20. Установите соответствие между характером движения частицы и её спектром энергии:

1) финитное (ограниченное в пространстве) движение частицы;	а) энергия частицы квантована;
2) инфинитное (неограниченное в пространстве) движение частицы.	б) энергия частицы принимает непрерывный ряд значений; в) энергия постоянна

21. Если частица, находится в потенциальной яме конечной глубины, то...

- а) её можно обнаружить и за пределами ямы;
- б) спектр её энергии дискретен;
- в) спектр её энергии сплошной;
- г) её нельзя обнаружить за пределами ямы;
- д) число возможных состояний конечно;
- е) число возможных состояний не ограничено.

22. Если значение энергии частицы больше, чем высота потенциального барьера, то частица ...

- а) с достоверностью преодолет барьер;
- б) с некоторой вероятностью останется в добарьерной области пространства;
- в) с достоверностью останется в добарьерной области пространства;
- г) с некоторой вероятностью преодолет барьер.

23. Если значение энергии частицы меньше, чем высота потенциального барьера, то ...

- а) вероятность обнаружить частицу за барьером равна 1;
- б) вероятность отражения частицы от барьера меньше 1;
- в) частица с достоверностью останется в добарьерной области пространства;
- г) с некоторой вероятностью частица преодолет барьер;
- д) частица может локализоваться внутри потенциального барьера.

24. Впишите недостающее слово в фразу «Туннельный эффект – это явление прохождения частицы через потенциальный барьер, когда энергия частицы ... высоты барьера».

25. Вероятность прохождения частицы через одномерный потенциальный барьер ...

- а) возрастает при увеличении ширины барьера;
- б) возрастает при увеличении высоты барьера;
- в) уменьшается при увеличении ширины барьера;
- г) уменьшается при увеличении высоты барьера;
- д) не изменяется при изменении параметров барьера.

26. Вероятность прохождения частицы через одномерный потенциальный барьер ...

- а) возрастает при увеличении полной энергии частицы;
- б) уменьшается при увеличении полной энергии частицы;
- в) не зависит от значения полной энергии частицы;

г) увеличивается при увеличении отношения энергии частицы к её потенциальной энергии в области барьера;

д) уменьшается при увеличении отношения энергии частицы к её потенциальной энергии в области барьера.

27. Функция потенциальной энергии гармонического осциллятора имеет вид (k – коэффициент упругости):

а) $U(x) = kx^2$; б) $U(x) = \frac{1}{2}kx^2$; в) $U(x) = \frac{1}{2}kx$;

г) $U(x) = \frac{1}{2}kx^2 - \beta x'$; д) $U(x) = \frac{1}{2}kx^2 - \beta x$.

28. Для гармонического осциллятора ...

а) энергия принимает квантованные значения;

б) энергетические уровни эквидистантны;

в) число собственных значений оператора полной энергии конечно;

г) при увеличении квантового числа энергетические уровни сгущаются;

д) спектр значений энергии сплошной.

29. Минимальная полная энергия гармонического осциллятора ...

а) имеет положительное значение;

б) имеет отрицательное значение;

в) равна нулю;

г) не зависит от коэффициента упругости;

д) зависит от массы осциллятора.

30. Разность энергий, соответствующая *соседним* уровням гармонического осциллятора, ...

а) при увеличении энергии возрастает;

б) при увеличении квантового числа уменьшается;

в) не изменяется при изменении квантового числа;

г) характеризует частоту излучения осциллятора;

д) определяет спектр излучения осциллятора.

31. Для гармонического осциллятора, обладающего минимальной энергией,

а) максимальная вероятность его обнаружения соответствует границам потенциальной ямы;

б) максимальная вероятность его обнаружения соответствует центру потенциальной ямы;

в) вероятность его обнаружения за пределами ямы равна нулю;

- г) область локализации частицы минимальна;
- д) координата, соответствующая максимальной плотности вероятности обнаружения осциллятора, смещена с оси симметрии ямы.

32. Число собственных состояний, возможных для микрочастицы в потенциальной яме конечной глубины, ...

- а) конечно;
- б) бесконечно;
- в) зависит от глубины потенциальной ямы;
- г) зависит от ширины потенциальной ямы;
- д) зависит от энергии частицы.

33. Возможные значения энергии микрочастицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме, определяются по формуле:

а) $E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{8ma^2} n^2$, где $n = 1, 2, 3, \dots$;

б) $E = \hbar\omega \left(\nu + \frac{1}{2} \right)$, где $\nu = 0, 1, 2, \dots$;

в) $E = -\frac{me^4 Z^2}{8h^2 \epsilon_0} \cdot \frac{1}{n^2}$, где $n = 1, 2, 3, \dots$;

г) $E = -\frac{R_\infty h Z^2}{n^2}$, где $n = 1, 2, 3, \dots$;

д) $E = \hbar\omega \left(\nu + \frac{1}{2} \right) - \hbar\omega\chi \left(\nu + \frac{1}{2} \right)^2$, где $\nu = 0, 1, 2, \dots$

34. Для частицы, находящейся в одномерной прямоугольной потенциальной яме бесконечной глубины, функция состояния $\Psi_n \dots$

- а) отлична от нуля только внутри ямы;
- б) равна нулю только на ее границах;
- в) равна нулю в узловых точках и на границах ямы;
- г) за пределами ямы отлична от нуля;
- д) имеет $(n - 1)$ узлов.

35. Дополните фразу «Физическая величина, оператор которой не зависит явно от времени, является интегралом движения (то есть постоянна во времени), если ее оператор ... с оператором Гамильтона».

36. Нулевая энергия гармонического осциллятора – это

а) наибольшая энергия гармонического осциллятора, совместимая с соотношением неопределенностей для координаты и соответствующей ей проекции импульса;

б) наименьшая энергия гармонического осциллятора, совместимая с соотношением неопределенностей для координаты и соответствующей ей проекции импульса;

в) равная нулю энергия осциллятора;

г) минимальная энергия, удовлетворяющая уравнению на собственные значения оператора полной энергии;

д) энергия осциллятора в основном состоянии.

37. В квантовой механике вероятность проникновения внутрь потенциального барьера микрочастицы, энергия которой меньше «высоты» потенциального барьера-«ступеньки», ...

а) равна нулю;

б) больше нуля;

в) равна единице;

г) увеличивается при увеличении «высоты» барьера;

д) уменьшается при увеличении «высоты» барьера.

38. В квантовой механике вероятность отражения от потенциального барьера микрочастицы, энергия которой больше «высоты» потенциального барьера-«ступеньки», ...

а) больше нуля;

б) равна нулю;

в) равна единице;

г) увеличивается при увеличении энергии частицы;

д) уменьшается при увеличении энергии частицы.

39. Верно ли утверждение «Туннельный эффект не противоречит закону сохранения энергии»?

а) Да.

б) Нет.

в) Постановка вопроса лишена физического смысла.

40. Если высота одномерного прямоугольного потенциального барьера стремится к бесконечности, а его ширина при этом стремится к нулю, то коэффициент прозрачности барьера ...

а) стремится к нулю;

б) стремится к единице;

в) не изменяется.

41. Общим свойством для состояний микрочастицы в потенциальных ямах различного вида является ...

- а) дискретность спектра энергий;
- б) отличие от нуля минимальной возможной энергии;
- в) эквидистантность уровней энергии;
- г) невозможность обнаружения микрочастицы за пределами ямы;
- д) конечность числа стационарных состояний;
- е) невозможность обнаружения частицы на границах ямы.

3. КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВОДОРОДОПОДОБНЫХ СИСТЕМ

8. Решением общего уравнения Шрёдингера для электрона в водородоподобной системе является функция, зависящая:

- а) от трех пространственных координат;
- б) от одной пространственной координаты;
- в) от трех пространственных координат и трех координатных составляющих скорости;
- г) от трёх пространственных координат и времени;
- д) от трёх пространственных координат и соответствующих им составляющих импульса.

9. Функция состояния электрона в водородоподобной системе, являющаяся решением стационарного уравнения Шрёдингера, зависит как от параметра (ов):

- а) только от главного квантового числа n ;
- б) от главного квантового числа n и орбитального квантового числа l ;
- в) от главного квантового числа n , орбитального квантового числа l и магнитного квантового числа m_l ;
- г) от главного квантового числа n , орбитального квантового числа l , магнитного квантового числа m_l и магнитного спинового квантового числа m_s ;
- д) не содержит параметрических зависимостей.

3. Радиальная функция стационарного состояния электрона в водородоподобной атомной системе определяется значениями параметров:

- а) главным квантовым числом n ;
- б) главным n и орбитальным l квантовыми числами;

в) главным n , орбитальным l и магнитным m_l квантовыми числами;

г) главным n , орбитальным l , магнитным m_l и спиновым s квантовыми числами;

д) главным n , орбитальным l , магнитным m_l квантовыми числами и квантовым числом m_s , определяющим проекцию спинового момента.

4. Функция состояния электрона в атоме водорода в некотором состоянии имеет вид $\Psi_{2,1,0}(r, \vartheta, \varphi) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi r_0^3}} \rho e^{-\rho/2} (\cos \vartheta)$, где $\rho = r/r_0$ – расстояние электрона от ядра, выраженное в боровских радиусах r_0 . Запишите через запятую значения квантовых чисел m_l , l , n , соответствующих этому состоянию.

5. Функция состояния электрона в атоме водорода в некоторых состояниях имеет вид $\Psi_{2,1,\pm 1}(r, \vartheta, \varphi) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi r_0^3}} \rho e^{-\rho/2} (\sin \vartheta) e^{\pm i\varphi}$, где $\rho = r/r_0$ – расстояние электрона от ядра, выраженное в боровских радиусах r_0 . В этом состоянии наиболее вероятное расстояние электрона от ядра, выраженное в боровских радиусах, равно ...

- а) 1. б) 2. в) 4. г) 8. д) 16.

6. Какому числу боровских радиусов r_0 равно расстояние $\rho = r/r_0$ от ядра, на котором наиболее вероятно обнаружить электрон, находящийся в атоме водорода в состоянии с $n = 3$ и $l = 2$?

7. Возможная собственная угловая функция $3d$ -состояния электрона в атоме водорода может быть представлена в виде ...

- а) $Y_{20}(\vartheta, \varphi) = \Theta_{22}(\vartheta)$. б) $Y_{21}(\vartheta, \varphi) = \Theta_{21}(\vartheta) e^{i\varphi}$.
в) $Y_{2,-1}(\vartheta, \varphi) = \Theta_{21}(\vartheta) e^{-i\varphi}$. г) $Y_{2,-2}(\vartheta, \varphi) = \Theta_{22}(\vartheta) e^{-i2\varphi}$.
д) $Y_{2,2}(\vartheta, \varphi) = \Theta_{22}(\vartheta) e^{i2\varphi}$. е) $Y_{3,-2}(\vartheta, \varphi) = \Theta_{32}(\vartheta) e^{-i2\varphi}$.

8. Электронная плотность вероятности в водородоподобной атомной системе при $r \rightarrow \infty$:

- а) экспоненциально убывает;
б) линейно возрастает;
в) убывает по гиперболическому закону;
г) увеличивается по параболическому закону;
д) стремится к нулю.

9. Распределение электронной плотности вероятности для водородоподобной системы ...

- а) в s -состоянии является сферически симметричным;
- б) в d -состоянии не является сферически симметричным;
- в) в p -состоянии зависит от квантового числа m_l ;
- г) в любом состоянии сферически симметрично, если $m_l = 0$;
- д) в f -состоянии имеет не более трёх разных вариантов.

10. Угловое распределение электронной плотности вероятности в сферической системе координат...

- а) в s -состоянии не зависит от угла φ ;
- б) в p -состоянии зависит от угла φ ;
- в) в d -состоянии не зависит от угла ϑ ;
- г) в любом состоянии зависит от главного квантового числа n ;
- д) может быть одинаковым в s - и p -состояниях.

11. Для водородоподобной системы установите соответствие между физическими величинами и квантовыми числами, определяющими их значения.

8) Полная энергия электрона	з) Орбитальное квантовое число l
9) Орбитальный момент импульса электрона	и) Главное квантовое число n
10) Проекция орбитального момента импульса на выделенное направление	к) Магнитное квантовое число m_l
11) Проекция спинового момента импульса на выделенное направление	л) Внутреннее квантовое число j
	м) Спиновое магнитное квантовое число m_s

12. Магнитное квантовое число m_l определяет возможные значения:

- а) орбитального момента импульса электрона в атоме $|\vec{l}|$;
- б) проекции l_z орбитального момента импульса электрона в атоме на выделенное в пространстве направление, совпадающее с осью OZ;
- в) проекции μ_{l_z} орбитального магнитного момента электрона в атоме на ось OZ;
- г) магнитного орбитального момента импульса электрона в атоме $|\vec{\mu}_l|$;

д) проекции μ_{sz} спинового магнитного момента электрона в атоме на выделенное в пространстве направление OZ.

13. Содержащаяся в уравнении квантования орбитального момента импульса электрона $|\vec{l}|^2 = \hbar^2 l(l+1)$ величина l называется...

- а) главным квантовым числом;
- б) азимутальным квантовым числом;
- в) орбитальным квантовым числом;
- г) магнитным квантовым числом;
- д) спиновым квантовым числом.

14. Отметьте правильные утверждения:

а) точные значения проекций орбитального момента импульса электрона l_x, l_y, l_z могут быть одновременно определены, так как соответствующие им операторы попарно коммутируют;

б) точные значения модуля орбитального момента импульса $|\vec{l}|$ электрона и одной из его проекций могут быть одновременно определены, так как их операторы коммутируют;

в) модули орбитальных механического и магнитного моментов электрона в атоме водорода квантованы по правилам, отличающимся постоянным множителем;

г) для электрона квадрат модуля орбитального момента и одну из его проекций на координатные оси можно одновременно определить точно;

д) соотношение, связывающее проекции орбитального момента на координатные оси, имеет вид $\Delta L_i \Delta L_j \geq \frac{1}{2} |\hat{L}_i \hat{L}_k - \hat{L}_k \hat{L}_i| \Psi = i\hbar \hat{L}_k \Psi$.

15. Установите соответствие между понятиями и определениями:

<p>1) Электронная оболочка атома –</p> <p>2) Электронный слой атома –</p> <p>3) Квантовое состояние электрона –</p>	<p>а) ... совокупность одноэлектронных состояний с заданными значениями главного n и орбитального l квантовых чисел.</p> <p>б) ... совокупность одноэлектронных состояний с заданным значением главного квантового числа n.</p> <p>в) ... состояние с заданными значениями главного n, орбитального l, магнитного m_l и спинового магнитного m_s квантовых чисел.</p>
---	--

	г) ... состояние с минимальной возможной энергией.
--	--

16. Выраженный в единицах \hbar модуль орбитального момента импульса электрона в состоянии, характеризующемся $l = 2$ равен...

- а) $\sqrt{2}$. б) $\sqrt{6}$. в) 2. г) 3. д) $\sqrt{3}$.

17. Установите соответствие между значениями орбитального квантового числа l и обозначениями электронных оболочек.

1) 0	а) s
2) 1	б) p
3) 2	в) d
4) 3	г) f
5) 4	д) g

18. Отметьте правильные утверждения:

- а) в третьем электронном слое не может быть d -оболочки;
 б) во втором электронном слое не может быть p -оболочки;
 в) в первом электронном слое содержится только s -оболочка;
 г) во втором электронном слое может быть больше шести электронов;
 д) $4s$ -оболочка атома, как правило, заполняется раньше $3d$ -оболочки.

19. Укажите (в единицах \hbar) значение проекции орбитального момента импульса электрона, находящегося в состоянии с $m_l = 1$.

20. Функция состояния электрона в атоме водорода в некоторых состояниях имеет вид $\Psi_{2,1,\pm 1}(r, \vartheta, \varphi) = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r_0^3} \rho e^{-\rho/2} (\sin \vartheta) e^{\pm i\varphi}$, где $\rho = r/r_0$ – расстояние электрона от ядра, выраженное в боровских радиусах r_0 . Значение модуля орбитального механического момента электрона равно (в единицах \hbar)

- а) $\sqrt{2}$; б) $\sqrt{6}$; в) 0; г) $-\sqrt{2}$; д) 1.

21. Функция состояния электрона в атоме водорода в некоторых состояниях имеет вид $\Psi_{2,1,\pm 1}(r, \vartheta, \varphi) = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r_0^3} \rho e^{-\rho/2} (\sin \vartheta) e^{\pm i\varphi}$, где $\rho = r/r_0$ – расстояние электрона от ядра, выраженное в боровских радиусах r_0 . Возможное значение проекции орбитального магнитного момента

электрона на выделенное направление в пространстве равно (в магнетонах Бора) ...

- а) 1; б) 2; в) -1; г) $\sqrt{2}$; д) $-\sqrt{2}$.

22. Полная степень вырождения энергетического уровня – это ...

- а) число различных квантовых состояний, характеризующихся определенным (одинаковым) значением энергии;
б) число оболочек, образующих определенный электронный слой;
в) число состояний с различными значениями квантового числа m_l ;
г) число состояний с различными значениями квантового числа m_s ;
д) число состояний, которым соответствуют одинаковые наборы квантовых чисел n, l, m_l, m_s .

23. Запишите формулу, по которой определяется полная степень вырождения n -го энергетического уровня.

24. Снятие вырождения проявляется в виде ...

- а) ... смещения энергетического уровня;
б) ... расщепления энергетического уровня;
в) ... исчезновения энергетического уровня;
г) ... уменьшения степени вырождения;
д) ... сближения энергетических уровней.

25. Запишите, чему равна степень вырождения по орбитальному квантовому числу l энергетического уровня водородоподобной системы, которому соответствует главное квантовое число n .

26. Если учесть снятие вырождения энергетических уровней по орбитальному квантовому числу, то для атома калия наиболее близким к положению уровня водородоподобной системы при $n = 4$ окажется уровень, которому соответствует значение орбитального квантового числа $l = \dots$

27. Степень вырождения по магнитному квантовому числу m_l энергетического уровня водородоподобной системы, заданного главным квантовым числом n , равна

28. Число одноэлектронных квантовых состояний в n -ом слое, характеризующихся определенным значением магнитного спинового квантового числа m_s , равно

29. Укажите в приведенном списке правильные утверждения.

а) Орбитальный момент импульса электрона в атоме может быть ориентирован произвольным образом.

б) Проекция орбитального момента импульса электрона на выделенное направление может быть равна нулю.

в) Вектор орбитального момента импульса электрона может быть ориентирован вдоль оси z .

г) Значения углов, которые может составлять с осью Z вектор орбитального момента импульса электрона, образуют конечный дискретный набор.

д) Число возможных пространственных ориентаций вектора орбитального механического момента электрона в атоме определяется внутренним квантовым числом.

30. Отметьте правильные утверждения.

а) Проекция орбитального момента импульса электрона, находящегося в p -оболочке, может быть равной $2\hbar$.

б) Проекция орбитального момента импульса электрона, находящегося в d -оболочке, может быть равной $-1\hbar$.

в) Проекция орбитального момента импульса электрона, находящегося в s -оболочке, может принимать значение $-1\hbar$.

г) Модуль орбитального момента электрона в слое при $n = 3$ может быть равен $\hbar\sqrt{6}$.

д) Модуль орбитального момента электрона в слое при $n = 3$ не может быть равен $\hbar\sqrt{2}$.

31. Для проекции орбитального момента импульса электрона, находящегося в p -оболочке, возможно ... разных значений(я).

32. Векторы орбитального момента импульса \vec{l} и орбитального магнитного момента $\vec{\mu}_l$ электрона ...

а) ... сонаправлены;

б) ... противоположно направлены;

в) ... направлены под углом π друг к другу;

г) ... направлены под углом $\frac{\pi}{2}$ друг к другу;

д) ... произвольно ориентированы друг относительно друга.

34. Посредством гиромагнитного отношения $\Gamma = \frac{e}{2mc}$

устанавливается связь между ...

- а) ... орбитальным моментом импульса и орбитальным магнитным моментом электрона;
- б) ... спиновым моментом импульса и спиновым магнитным моментом электрона;
- в) ... орбитальным моментом импульса и спиновым моментом импульса электрона;
- г) ... спиновым магнитным моментом и орбитальным магнитным моментом электрона;
- д) ... орбитальным моментом импульса и полным магнитным моментом электрона.

35. Значение магнетона Бора μ_B определяется по формуле ...

а) $\mu_B = \frac{e}{2mc}$. б) $\mu_B = \frac{e\hbar}{2mc}$. в) $\mu_B = \frac{e\hbar}{mc}$. г) $\mu_B = \frac{e}{2\hbar c}$.

36. Модуль спинового магнитного момента электрона равен ...

а) μ_B ; б) $\frac{1}{2}\hbar$; в) $2\mu_B$; г) $\mu_B\sqrt{2}$; д) $\hbar\sqrt{2}$.

37. Модуль спинового момента импульса электрона, выраженный в единицах \hbar , равен ...

а) 1. б) -1. в) $\frac{1}{2}$. г) $-\frac{1}{2}$. д) 0. е) $\frac{\sqrt{3}}{2}$. ж) $\sqrt{3}$.

38. Правило квантования модуля спинового момента импульса электрона ...

- а) по форме соответствует общим правилам квантования момента импульса;
- б) содержит магнетон Бора μ_B ;
- в) содержит приведенную постоянную Планка \hbar ;
- г) содержит квантовое число s ;
- д) содержит квантовое число m_s .

39. Запишите число значений, возможных для проекции спинового момента импульса электрона на выделенное направление.

40. Отметьте правильные утверждения.

- а) Если электрон водородоподобной системы находится в p -оболочке, то магнитный момент этой системы имеет только спиновое происхождение.
- б) Если электрон водородоподобной системы находится в s -оболочке, то магнитный момент этой системы имеет как орбитальную,

так и спиновую составляющие.

в) Если электрон водородоподобной системы находится в s -оболочке, то магнитный момент этой системы имеет только спиновое происхождение.

г) Если электрон водородоподобной системы находится в L -слое, то магнитный момент этой системы имеет только спиновое происхождение.

д) Если электрон водородоподобной системы находится в K -слое, то магнитный момент этой системы имеет и орбитальную, и спиновую составляющие.

41. Тонкая структура термов атома водорода...

- а) обусловлена спин-орбитальным взаимодействием;
- б) проявляется в расщеплении энергетических уровней;
- в) определяется внутренним квантовым числом J ;
- г) обусловлена действием внешнего магнитного поля;
- д) проявляется в расщеплении по квантовому числу m_J .

42. В тонкой структуре термов атома водорода ...

- а) содержится одинаковое число компонентов расщепления для всех термов;
- б) число компонентов расщепления зависит от квантового числа J ;
- в) величина расщепления не зависит от квантового числа n ;
- г) величина расщепления уменьшается при увеличении квантового числа n ;
- д) числовое значение терма не зависит от квантового числа l .

43. При образовании тонкой структуры термов атома водорода снимается вырождение ...

- а) ... по орбитальному квантовому числу L ;
- б) ... по спиновому квантовому числу S ;
- в) ... по внутреннему квантовому числу J ;
- г) ... по главному квантовому числу n ;
- д) ... по квантовому числу m_J .

44. Если спин-орбитальное взаимодействие учтено, то энергия электрона в атоме водорода определяется квантовыми числами...

- а) n и l ; б) n, l и s ; в) n и j ; г) n, l и j ; д) n, J и m_J .

45. При увеличении главного квантового числа n величина расщепления термов атома водорода, обусловленного спин-орбитальным взаимодействием, ...

- а) ... возрастает;

- б) ... уменьшается;
- в) ... остается неизменной.

46. При увеличении порядкового номера Z в периодической системе химических элементов величина расщепления термов водородоподобных систем, обусловленного спин-орбитальным взаимодействием, ...

- а) ... увеличивается.
- б) ... уменьшается.
- в) ... остается неизменной.

47. Энергия спин-орбитального взаимодействия в водородоподобной системе определяется ...

- а) ... значением спинового магнитного квантового числа m_s ;
- б) ... значением орбитального квантового числа l ;
- в) ... значениями внутреннего квантового числа j и главного квантового числа n ;
- г) ... значением угла между направлениями орбитального и спинового моментов электрона;
- д) ... только значением главного квантового числа n .

48. Число компонентов тонкой структуры терма T_4 в атоме водорода равно