

**Задания для самостоятельной работы студентов в
8 модуле**

Тема 1. Тепловое излучение и его законы.....	3
Тема 2. Внешний фотоэффект	7
Тема 3. Давление света. Фотоны	12
Тема 4. Эффект Комптона	16
Тема 5. Тормозное рентгеновское излучение. Коротковолновая граница.....	17
Тема 6. Гипотеза де Бройля.....	18
Тема 7. Соотношения неопределенностей Гейзенберга	20

Таблица вариантов

№ вар	Номера задач										
1	8.1	8.51	8.101	8.140	8.164	8.175	8.207	8.6	8.59	8.81	8.220
2	8.2	8.52	8.102	8.141	8.165	8.176	8.208	8.7	8.60	8.82	8.221
3	8.3	8.53	8.103	8.142	8.166	8.177	8.209	8.8	8.61	8.83	8.222
4	8.4	8.54	8.104	8.143	8.167	8.178	8.210	8.9	8.62	8.84	8.223
5	8.5	8.55	8.105	8.144	8.168	8.179	8.211	8.10	8.63	8.85	8.224
6	8.6	8.56	8.106	8.145	8.169	8.180	8.212	8.11	8.64	8.86	8.225
7	8.7	8.57	8.107	8.146	8.170	8.181	8.213	8.12	8.65	8.87	8.226
8	8.8	8.58	8.108	8.147	8.171	8.182	8.214	8.13	8.66	8.88	8.227
9	8.9	8.59	8.109	8.148	8.172	8.183	8.215	8.14	8.67	8.89	8.228
10	8.10	8.60	8.110	8.149	8.173	8.184	8.216	8.15	8.68	8.90	8.214
11	8.11	8.61	8.111	8.150	8.174	8.185	8.217	8.16	8.69	8.91	8.215
12	8.12	8.62	8.112	8.151	8.164	8.186	8.218	8.17	8.70	8.92	8.216
13	8.13	8.63	8.113	8.152	8.165	8.187	8.219	8.18	8.71	8.93	8.217
14	8.14	8.64	8.114	8.153	8.166	8.188	8.220	8.19	8.72	8.94	8.218
15	8.15	8.65	8.115	8.154	8.167	8.189	8.221	8.20	8.73	8.95	8.219
16	8.16	8.66	8.116	8.155	8.168	8.190	8.222	8.1	8.74	8.96	8.145
17	8.17	8.67	8.117	8.156	8.169	8.191	8.223	8.2	8.75	8.97	8.146
18	8.18	8.68	8.118	8.157	8.170	8.192	8.224	8.3	8.130	8.98	8.147
19	8.19	8.69	8.119	8.158	8.171	8.193	8.225	8.4	8.131	8.99	8.148
20	8.20	8.70	8.120	8.159	8.172	8.194	8.226	8.5	8.132	8.100	8.149
21	8.21	8.71	8.121	8.160	8.173	8.195	8.227	8.51	8.133	8.207	8.150
22	8.22	8.72	8.122	8.161	8.174	8.196	8.228	8.52	8.134	8.208	8.151
23	8.23	8.73	8.123	8.162	8.164	8.197	8.207	8.53	8.135	8.209	8.152
24	8.24	8.74	8.124	8.163	8.165	8.198	8.208	8.54	8.136	8.210	8.153
25	8.25	8.75	8.125	8.140	8.166	8.199	8.209	8.55	8.137	8.211	8.154
26	8.26	8.76	8.126	8.141	8.167	8.200	8.210	8.56	8.138	8.212	8.155
27	8.27	8.77	8.127	8.142	8.168	8.201	8.211	8.57	8.139	8.213	8.156
28	8.28	8.78	8.128	8.143	8.169	8.202	8.212	8.58	8.110	8.214	8.157
29	8.29	8.79	8.129	8.144	8.170	8.203	8.213	8.59	8.111	8.215	8.158
30	8.30	8.80	8.130	8.145	8.171	8.204	8.214	8.60	8.112	8.216	8.159
31	8.31	8.81	8.131	8.146	8.172	8.204	8.215	8.61	8.113	8.217	8.160
32	8.32	8.82	8.132	8.147	8.173	8.205	8.216	8.101	8.114	8.218	8.161
33	8.33	8.83	8.133	8.148	8.174	8.206	8.217	8.102	8.115	8.219	8.101
34	8.34	8.84	8.134	8.149	8.164	8.175	8.218	8.103	8.116	8.220	8.102
35	8.35	8.85	8.135	8.150	8.165	8.176	8.219	8.104	8.117	8.221	8.103
36	8.36	8.86	8.136	8.151	8.166	8.177	8.220	8.105	8.118	8.222	8.104
37	8.37	8.87	8.137	8.152	8.167	8.178	8.221	8.106	8.119	8.223	8.105
38	8.38	8.88	8.138	8.153	8.168	8.179	8.222	8.107	8.120	8.224	8.106
39	8.39	8.89	8.139	8.154	8.169	8.180	8.223	8.108	8.51	8.225	8.107
40	8.40	8.90	8.110	8.155	8.170	8.181	8.224	8.109	8.52	8.226	8.108
41	8.41	8.91	8.111	8.156	8.171	8.182	8.225	8.110	8.53	8.227	8.109
42	8.42	8.92	8.112	8.157	8.172	8.183	8.226	8.111	8.54	8.228	8.110
43	8.43	8.93	8.113	8.158	8.173	8.184	8.227	8.112	8.55	8.207	8.111
44	8.44	8.94	8.114	8.159	8.174	8.185	8.228	8.113	8.56	8.208	8.112
45	8.45	8.95	8.115	8.160	8.164	8.186	8.214	8.114	8.57	8.209	8.113
46	8.46	8.96	8.116	8.161	8.165	8.187	8.215	8.115	8.58	8.210	8.114
47	8.47	8.97	8.117	8.162	8.166	8.188	8.216	8.116	8.59	8.211	8.115
48	8.48	8.98	8.118	8.163	8.167	8.189	8.217	8.117	8.60	8.212	8.116
49	8.49	8.99	8.119	8.140	8.168	8.190	8.218	8.118	8.61	8.213	8.117
50	8.50	8.100	8.120	8.141	8.169	8.191	8.219	8.119	8.62	8.214	8.118

Тема 1. Тепловое излучение и его законы

- 8.1. Определить температуру T , при которой энергетическая светимость R_ϵ черного тела равна 10 кВт/м^2 .
- 8.2. Мощность излучения P из смотрового окошка плавильной печи равна 34 Вт . Определить температуру T печи, если площадь отверстия $S = 6 \text{ см}^2$.
- 8.3. Определить энергию W , излучаемую за время $t = 1 \text{ мин}$ из смотрового окошка, площадью $S = 8 \text{ см}^2$ плавильной печи, если ее температура $T = 1,2 \text{ кК}$.
- 8.4. Температура T верхних слоев звезды Сириус равна 10 кК . Определить мощность, излучаемый с поверхности площадью $S = 1 \text{ км}^2$ этой звезды.
- 8.5. Определить относительное увеличение $\Delta R_\epsilon/R_\epsilon$ энергетической совместимости абсолютно черного тела при увеличении его температуры на 1% .
- 8.6. Во сколько раз надо увеличить термодинамическую температуру абсолютно черного тела, чтобы его энергетическая светимость R_ϵ возросла в два раза?
- 8.7. Определить установившуюся температуру T зачерненной металлической пластинки, расположенной перпендикулярно солнечным лучам вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца. Солнечная постоянная $C = 1,4 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{с)}$.
- 8.8. Энергетическая светимость абсолютно черного тела возросла в 4 раза. Во сколько раз при этом увеличилась его термодинамическая температура?
- 8.9. Принимая коэффициент нечерности α_T угля при температуре $T = 600 \text{ К}$ равным $0,8$, определить: 1) энергетическую светимость R_ϵ угля; 2) энергию W , излучаемую с поверхности угля с площадью $S = 5 \text{ см}^2$ за время $t = 10 \text{ мин}$.
- 8.10. С поверхности сажи площадью $S = 2 \text{ см}^2$ при температуре $T = 400 \text{ К}$ за время $t = 5 \text{ мин}$ излучается энергия $W = 83 \text{ Дж}$. Определить коэффициент нечерности α_T сажи.
- 8.11. Муфельная печь потребляет мощность $P = 1 \text{ кВт}$. Температура T ее внутренней поверхности при открытом отверстии площадью $S = 25 \text{ см}^2$ равна $1,2 \text{ кК}$. Считая, что отверстие печи излучает как абсолютно черное тело, определить какая часть ω мощности рассеивается стенками.
- 8.12. Можно условно принять, что Земля излучает как серое тело, находящееся при температуре $T = 280 \text{ К}$. Определить коэффициент нечерности α_T Земли, если энергетическая светимость R_ϵ ее поверхности равна $325 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{ч)}$.
- 8.13. Мощность P излучения шара радиусом $R = 10 \text{ см}$ при некоторой постоянной температуре T равна 1 кВт . Найти эту температуру, считая шар серым телом с коэффициентом нечерности $\alpha_T = 0,05$.
- 8.14. На какую длину волны λ_m приходится максимум спектральной плотности энергетической совместимости $(R_{\lambda,T})_{max}$ абсолютно черного тела при температуре $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$?

8.15. Температура верхних слоев Солнца равна 5,3 кК. Считая Солнце черным телом, определить длину волны λ_m , которой соответствует максимальная спектральная плотность энергетической светимости $(R_{\lambda, T})_{max}$ Солнца.

8.16. Определить температуру T абсолютно черного тела, при которой максимум спектральной плотности энергетической светимости $(R_{\lambda, T})_{max}$ приходится на красную границу видимого спектра ($\lambda_1 = 750$ нм); на фиолетовую ($\lambda_2 = 380$ нм).

8.17. Максимум спектральной плотности энергетической светимости $(R_{\lambda, T})_{max}$ яркой звезды Арктур приходится на длину волны $\lambda_m = 580$ нм. Принимая, что звезда излучает как абсолютно черное тело, определить температуру T поверхности звезды.

8.18. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности $(R_{\lambda, T})_{max}$ сместился с $\lambda_1 = 2,4$ мкм на $\lambda_2 = 0,8$ мкм. Как и во сколько раз изменились энергетическая светимость R_{λ} тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

8.19. При увеличении термодинамической температуры T абсолютно черного тела в два раза длина волны λ_m , на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости $(R_{\lambda, T})_{max}$, уменьшилось на $\Delta\lambda = 400$ нм. Определить начальную и конечную температуру T_1 и T_2 .

8.20. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости $(R_{\lambda, T})_{max}$ абсолютно черного тела равна $4,16 \cdot 10^{11}$ (Вт/м²). На какую длину волны λ_m она приходится?

8.21. Температура T абсолютно черного тела равна 2 кК. Определить: 1) спектральную плотность энергетической светимости $(R_{\lambda, T})$ для длины волн $\lambda = 600$ нм; 2) энергетическую светимость R_{λ} в интервале длин волн от $\lambda_1 = 590$ нм до $\lambda_2 = 610$ нм. Принять, что средняя спектральная плотность энергетической светимости тела в этом интервале равна значению, найденному для длины волны $\lambda = 600$ нм.

8.22. Найти температуру T печи, если известно, что излучение из отверстия в ней площадью $S = 6,1$ см² имеет мощность $N = 34,6$ Вт. Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.

8.23. Какую мощность излучения N имеет Солнце? Излучение солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела. Температура поверхности Солнца $T = 5800$ К.

8.24. Какую энергетическую светимость R_{λ} имеет затвердевающий свинец? Отношение энергетических светимостей свинца и абсолютно черного тела для данной температуры $k = 0,6$.

8.25. Мощность излучения абсолютно черного тела $N = 40$ кВт. Найти температуру T этого тела, если известно, что его поверхность $S = 0,6$ м².

8.26. Мощность излучения раскаленной металлической поверхности $N' = 0,67$ кВт. Температура поверхности $T = 2500$ К, ее площадь $S = 10$ см². Какую мощность излучения N имела бы эта поверхность, если бы она была абсолютно черной? Найти отношение k энерге-

тических светимостей этой поверхности и абсолютно черного тела при данной температуре.

8.27. Диаметр вольфрамовой спирали в электрической лампочке $d = 0,3$ мм, длина спирали $l = 5$ см. При включении лампочки в сеть напряжением $U = 127$ В через лампочку течет ток $I = 0,31$ А. Найти температуру T спирали. Считать, что по установлении равновесия все выделяющееся в нити тепло теряется в результате излучения. Отношение энергетических светимостей вольфрама и абсолютно черного тела для данной температуры $k = 0,31$.

8.28. Температура вольфрамовой спирали в 25-ваттной электрической лампочке $T = 2450$ К. Отношение ее энергетической светимости к энергетической светимости абсолютно черного тела при данной температуре $k = 0,3$. Найти площадь S излучающей поверхности спирали.

8.29. Найти солнечную постоянную K , т.е. количество лучистой энергии, посылаемой Солнцем в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярно к солнечным лучам и находящуюся на таком же расстоянии от него, как и Земля. Температура поверхности Солнца $T = 5800$ К. Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

8.30. Какую энергетическую светимость R_{λ} имеет абсолютно черное тело, если максимум спектральной плотности его энергетической светимости приходится на длину волны $\lambda = 484$ нм?

8.31. Мощность излучения абсолютно черного тела $N = 10$ кВт. Найти площадь S излучающей поверхности тела, если максимум спектральной плотности его энергетической светимости приходится на длину волны $\lambda = 700$ нм.

8.32. На рис. дана кривая зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела r_{λ} от длины волны λ при некоторой температуре. К какой температуре T относится эта кривая? Какой процент излучаемой энергии приходится на долю видимого спектра при этой температуре?

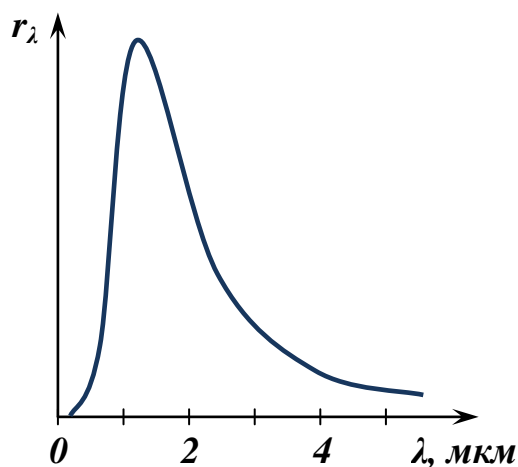


Рис. к задаче 8.32

- 8.33. При нагревании абсолютно черного тела длина волны λ , на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась от 690 до 500 нм. Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость тела?
- 8.34. На какую длину волны λ приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, имеющего температуру, равную температуре $t = 37^\circ\text{C}$ человеческого тела?
- 8.35. Температура T абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1000 до 3000 К. Во сколько раз увеличилась при этом его энергетическая светимость R_Σ ? На сколько изменилась длина волны λ , на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости? Во сколько раз увеличилась его максимальная спектральная плотность энергетической светимости r_λ ?
- 8.36. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 2900$ К. В результате остывания тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda = 9$ мкм. До какой температуры T_2 охладилось тело?
- 8.37. Поверхность тела нагрета до температуры $T = 1000$ К. Затем одна половина этой поверхности нагревается до $\Delta T = 100$ К, другая охлаждается на $\Delta T = 100$ К. Во сколько раз изменится энергетическая светимость R_Σ поверхности этого тела?
- 8.38. Зачерненный шарик остывает от температуры $T_1 = 300$ К до $T_2 = 293$ К. На сколько изменилась длина волны λ , соответствующая максимуму спектральной плотности его энергетической светимости?
- 8.39. На сколько уменьшится масса Солнца за год вследствие излучения? За какое время τ масса Солнца уменьшится вдвое? Температура поверхности Солнца $T = 5800$ К. Излучение Солнца считать постоянным.
- 8.40. Определить, во сколько раз необходимо уменьшить термодинамическую температуру черного тела, чтобы его энергетическая светимость R_Σ ослабилась в 16 раз.
- 8.41. Температура внутренней поверхности муфельной печи при открытом отверстии площадью 30 см^2 равна $1,3\text{ кК}$. Принимая, что отверстие печи излучает как черное тело, определить, какая часть мощности рассеивается стенками, если потребляемая печью мощность составляет $1,5\text{ кВт}$.
- 8.42. Энергетическая светимость черного тела $R_\Sigma = 10\text{ кВт/м}^2$. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости этого тела.
- 8.43. Определить, как и во сколько раз изменится мощность излучения черного тела, если длина волны, соответствующая максимуму его спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с $\lambda_1 = 720\text{ нм}$ до $\lambda_2 = 400\text{ нм}$.
- 8.44. Черное тело находится при температуре $T_1 = 3\text{ кК}$. При остывании тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda = 8\text{ мкм}$. Определить температуру T_2 , до которой тело охладилось.

8.45. Черное тело нагрели от температуры $T_1 = 600$ К до $T_2 = 2400$ К. Определить: 1) во сколько раз увеличилась его энергетическая светимость; 2) как изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости.

8.46. Площадь, ограниченная графиком спектральной плотности энергетической светимости $r_{\lambda,T}$ черного тела, при переходе от термодинамической температуры T_1 к температуре T_2 увеличилась в 5 раз. Определить, как изменится при этом длина волны λ_{max} , соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости черного тела.

8.47. В результате нагревания черного тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с $\lambda_1 = 2,7$ мкм до $\lambda_2 = 0,9$ мкм. Определить во сколько раз увеличилась: 1) энергетическая светимость тела; 2) максимальная спектральная плотность энергетической светимости тела. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости черного тела возрастает согласно закону $r_{\lambda,T} = CT^5$, где $C = 1,3 \cdot 10^{-5}$ Вт/(м³·К⁵).

8.48. Считая никель черным телом, определить мощность, необходимую для поддержания температуры расплавленного никеля 1453 °С неизменной, если площадь его поверхности равна $0,5$ см². Потерями энергии пренебречь.

8.49. Принимая солнце за черное тело и учитывая, что его максимальной спектральной плотности энергетической светимости соответствует длина волны $\lambda = 550$ нм, определить: 1) температуру поверхности Солнца; 2) энергию, излучаемую Солнцем в виде электромагнитных волн за 10 мин; 3) массу, теряемую Солнцем за это время за счет излучения.

8.50. Определить температуру тела, при которой оно при температуре окружающей среды $t_0 = 23$ °С излучало бы энергии в 10 раз больше, чем поглощало.

8.51. Считая, что тепловые потери обусловлены только излучением, определить, какую мощность необходимо подводить к свинцовому шариком диаметром $d = 2$ см, чтобы при температуре окружающей среды $t_0 = -13$ °С поддерживать его температуру равной $t = 17$ °С. Принять поглощающую способность меди $\alpha_T = 0$.

Тема 2. Внешний фотоэффект

8.52. Определить работу выхода A электронов из натрия, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 500$ нм.

8.53. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовое излучение с длиной волны $\lambda = 300$ нм?

8.54. Какая доля энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 307$ нм и максимальная кинетическая энергия T_{max} фотоэлектрона равна 1 эВ?

8.55. На поверхность лития падает монохроматический свет ($\lambda = 310$ нм). Чтобы прекратить эмиссию электронов, нужно приложить задерживающую разность потенциалов U не менее 1,7 В. Определить работу выхода A .

8.56. Для прекращения фотоэффекта, вызванного облучением ультрафиолетовым светом платиновой пластинки, нужно приложить задерживающую разность потенциалов $U_1 = 3,7$ В. Если платиновую пластинку заменить другой пластинкой, то задерживающую разность потенциалов придется увеличить до 6 В. Определить работу A выхода электронов с поверхности этой пластинки.

8.57. На цинковую пластинку падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 220$ нм. Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов.

8.58. Определить длину волны λ ультрафиолетового излучения, падающего на поверхность некоторого металла, при максимальной скорости фотоэлектронов, равной 10 Мм/с. Работой выхода электронов из металла пренебречь.

8.59. Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла под действием γ -излучения с длиной волны $\lambda = 0,3$ нм.

8.60. Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении γ -фотонами с энергией $\varepsilon = 1,53$ МэВ.

8.61. Максимальная скорость v_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении его γ -фотонами, равна 291 Мм/с. Определить энергию ε γ -фотонов.

8.62. Найти длину волны λ_0 света, соответствующую красной границе фотоэффекта, для лития, натрия, калия и цезия.

8.63. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта, для некоторого металла $\lambda_0 = 275$ нм. Найти минимальную энергию ε фотона, вызывающего фотоэффект.

8.64. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта, для некоторого металла $\lambda_0 = 275$ нм. Найти работу выхода A электрона из металла, максимальную скорость v_{max} электронов, вырываемых из металла светом с длиной волны $\lambda = 180$ нм, и максимальную кинетическую энергию W_{max} электронов.

8.65. Найти частоту ν света, вырывающего из металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов $U = 3$ В. Фотоэффект начинается при частоте света $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Найти также работу выхода A электрона из металла.

8.66. Найти задерживающую разность потенциалов U для электронов, вырываемых при освещении калия светом с длиной волны $\lambda = 330$ нм.

8.67. При фотоэффекте с платиновой поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов $U = 0,8$ В. Найти длину волны λ применяемого облучения и предельную длину волны λ , при которой ещё возможен фотоэффект.

8.68. Фотоны с энергией $\varepsilon = 4,9$ эВ вырывают электроны из металла с работой выхода $A = 4,5$ эВ. Найти максимальный импульс P_{max} , передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.

8.69. Найти постоянную Планка h , если известно, что электроны, вырываемые из металла светом с частотой $\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15}$ Гц, полностью задерживаются разностью потенциалов $U_1 = 6,6$ В, а вырываемые светом с частотой $\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{15}$ Гц – разностью потенциалов $U_2 = 16,5$ В.

8.70. Определить максимальную скорость фотоэлектронов вырываемых с поверхности металла, если фототок прекращается при приложении задерживающего напряжения $U_0 = 3,7$ В.

8.71. Освещая поочередно фотокатод двумя разными монохроматическими источниками, находящимися на одинаковых расстояниях от катода, получили две зависимости (1 и 2) фототока от напряжения между катодом и анодом (см. рис.). Объяснить, в чем отличие этих источников.

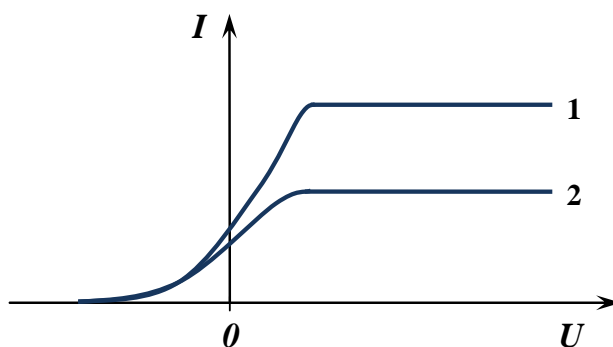


Рис. к задаче 8.71

8.72. «Красная граница» фотоэффекта для некоего металла равна 500 нм. Определить минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект.

8.73. На рис. схематически представлены вольт–амперные характеристики (кривые 1,2 и 3) фотоэффекта для одного и того же металла. Объяснить причину отличия этих кривых.

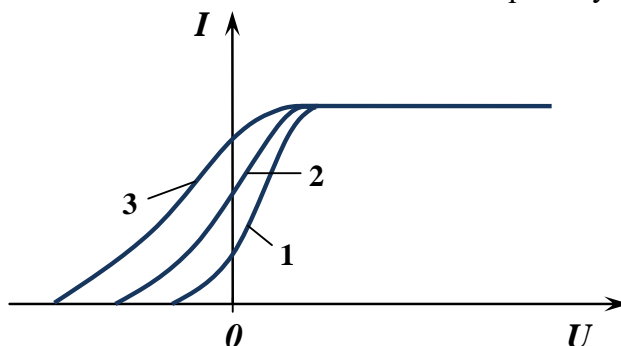


Рис. к задаче 8.73

8.74. Фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла, полностью задерживаются при приложении обратного напряжения $U_0 = 3$ В. Фотоэффект для этого металла начинается при частоте падающего монохроматического света $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить: 1) работу выхода электронов из этого металла; 2) частоту применяемого облучения.

8.75. Определить работу выхода A электронов из вольфрама, если «красная граница» фотоэффекта для него $\lambda_0 = 275$ нм.

8.76. Калий освещается монохроматическим светом с длиной волны 400 нм. Определить наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится. Работа выхода электронов из калия равна 2,2 эВ.

8.77. «Красная граница» фотоэффекта для некоторого металла равна 500 нм. Определить: 1) работу выхода электронов из этого металла; 2) максимальную скорость электронов, вырываемых из этого металла светом с длиной волны 400 нм.

8.78. Выбиваемые светом при фотоэффекте электроны при облучении фотокатода видимым светом полностью задерживаются обратным напряжением $U_0 = 1,2$ В. При этом длина волны падающего света $\lambda = 400$ нм. Определить «красную границу» фотоэффекта.

8.79. Задерживающее напряжение для платиновой пластинки (работа выхода 6,3 эВ) составляет 3,7 В. При тех же условиях для другой пластинки задерживающее напряжение равно 5,3 В. Определить работу выхода электронов из этой пластинки.

8.80. Определить, до какого потенциала зарядится уединенный серебряный шарик при облучении его ультрафиолетовым светом длиной волны $\lambda = 280$ нм. Работа выхода электронов из серебра $A = 4,7$ эВ.

8.81. При освещении вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом с длиной волны $\lambda_1 = 0,4$ мкм он заряжается до разности потенциалов $\varphi_1 = 2$ В. Определить, до какой разности потенциалов зарядится фотоэлемент при освещении его монохроматическим светом с длиной волны $\lambda_2 = 0,3$ мкм.

8.82. Плоский серебряный электрод освещается монохроматическим излучением с длиной волны $\lambda = 83$ нм. Определить, на какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряженностью $E = 10$ В/см. «Красная граница» фотоэффекта для серебра $\lambda_0 = 264$ нм.

8.83. Фотоны с энергией $\varepsilon = 5$ эВ вырывают фотоэлектроны из металла с работой выхода $A = 4,7$ эВ. Определить максимальный импульс, передаваемый поверхности этого металла при вылете электрона.

8.84. При освещении катода вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 310$ нм фототок прекращается при некотором задерживающем напряжении. При увеличении длины волны на 25 % задерживающее напряжение оказывается меньше на 0,8 В. Определить по этим экспериментальным данным постоянную Планка.

- 8.85. Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов, вырываемых с поверхности цинка (работа выхода $A = 4$ эВ), при облучении его γ -излучением с длиной волны $\lambda = 2,47$ нм.
- 8.86. Изолированная металлическая пластинка освещается светом с длиной волны $\lambda = 450$ нм. Работа выхода электронов из металла $A_{вых} = 2$ эВ. До какого потенциала φ зарядится пластинка при непрерывном действии света?
- 8.87. Красная граница фотоэффекта для платины лежит около $\lambda_1 = 198$ нм. Если платину прокалить при высокой температуре, то красная граница фотоэффекта станет равной $\lambda_2 = 220$ нм. Насколько прокаливание уменьшает работу выхода электронов?
- 8.88. Плоский алюминиевый электрод освещается ультрафиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 83$ нм. На какое максимальное расстояние l от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряженностью $E = 7,5$ В/см? Красная граница фотоэффекта для алюминия соответствует длине волны $\lambda_0 = 332$ нм.
- 8.89. Максимальная энергия электронов, вырываемых светом с поверхности металла, равна $2,9 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны света, если работа выхода электрона из этого металла равна 2 эВ.
- 8.90. Определите максимальную кинетическую энергию электронов, вырываемых с поверхности металла при облучении его ультрафиолетовым излучением с длиной волны 200 нм, если работа выхода электрона из этого металла равна $4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- 8.91. Вольфрамовый шарик радиусом 10 см, находящийся в вакууме, облучается светом с $\lambda = 200$ нм. Определите установившийся заряд шарика, если работа выхода для вольфрама $A = 4,5$ эВ.
- 8.92. Определите наибольшую длину волны света, облучение которым поверхности меди ещё может вызвать фотоэффект. Работа выхода электрона из меди $A = 4$ эВ.
- 8.93. Катод фотоэлемента освещается монохроматическим светом с длиной волны λ . При отрицательном потенциале на аноде $U_1 = -1,6$ В ток в цепи прекращается. При изменении длины волны света в 1,5 раза для прекращения тока потребовалось подать на анод отрицательный потенциал $U_2 = -1,8$ В. Определите работу выхода материала катода.
- 8.94. Какую задерживающую разность потенциалов надо приложить к фотоэлементу, чтобы «остановить» электроны, испускаемые вольфрамом под действием ультрафиолетовых лучей с длиной волны 130 нм? Работа выхода электрона из вольфрама 4,5 эВ.
- 8.95. При исследовании вакуумного фотоэлемента оказалось, что при освещении катода светом частотой $\nu_0 = 10^{15}$ Гц фототок с поверхности катода прекращается при задерживающей разности потенциалов $U_3 = 2$ В между катодом и анодом. Определите работу выхода материала катода.
- 8.96. Работа выхода электронов для натрия равна $A_{вых} = 2,27$ эВ. Найти красную границу фотоэффекта для натрия.
- 8.97. Работа выхода электрона с поверхности цезия равна $A_{вых} = 1,89$ эВ. С какой максимальной скоростью вылетают электроны из цезия, если металл освещен желтым светом с длиной волны $\lambda = 0,589$ мкм?

8.98. В опыте Столетова заряженная отрицательная цинковая пластинка облучалась светом от вольтовой дуги. До какого максимального потенциала зарядится цинковая пластинка, если она будет облучаться монохроматическим светом длиной волны $\lambda = 324$ нм (ближний ультрафиолетовый свет)? Работа выхода электронов из цинка равна $A_{\text{вых}} = 3,74$ эВ.

8.99. Красная граница фотоэффекта для железа, лития, калия определяется соответственно длинами волн 285, 520, 580 нм. Найти работу выхода электронов из металлов и выразить ее в электрон-вольтах.

8.100. Красная граница фотоэффекта у лития 520 нм. Какую обратную разность потенциалов (задерживающее напряжение) нужно приложить к фотоэлементу (к фотокатоду подключается плюс, к аноду-коллектору – минус источника напряжения), чтобы задержать электроны, испускаемые литием под действием ультрафиолетовых лучей длиной волны 200 нм.

8.101. Для исследования фотоэффекта и измерения постоянной Планка П.И. Лукирский применял фотоэлемент, у которого анодом-коллектором служили посеребренные стенки стеклянного сферического баллона, в центре которого находился фотокатод в виде шарика из исследуемого материала. Найти постоянную Планка, если фотоэлектроны, вырывающиеся из поверхности некоторого металла светом с частотой $1,2 \cdot 10^{15}$ Гц, задерживаются потенциалом 3,1 В, а вырывающиеся светом длиной волны 125 нм – потенциалом 8,1 В.

Тема 3. Давление света. Фотоны

8.102. Определить давление p солнечного излучения на зачерненную пластинку, расположенную перпендикулярно солнечным лучам и находящуюся вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца. Солнечная постоянная $K = C = 1,4$ кДж/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$). (K – количество лучистой энергии, посылаемой Солнцем в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярно к солнечным лучам и находящуюся на таком же расстоянии от него, как и Земля).

8.103. Определить энергию, падающую на единицу поверхности в единицу времени, для зеркальной поверхности, если световое давление p при перпендикулярном падении лучей равно 10 мкПа.

8.104. Мощность излучения электрической лампы, равна 600 Вт. На расстоянии $r = 1$ м от лампы перпендикулярно падающим лучам расположено круглое плоское зеркальце диаметром $d = 2$ см. Принимая, что излучение лампы одинаково во всех направлениях и что зеркальце полностью отражает падающий на него свет, определить силу F светового давления на зеркальце.

8.105. На зеркальце с идеально отражающей поверхностью площадью $S = 1,5$ см^2 падает нормально свет от электрической дуги. Определите импульс p , полученный зеркальцем, если освещенность поверхности равна 0,1 МВт/ м^2 . Продолжительность облучения $t = 1$ с.

8.106. Давление p монохроматического света ($\lambda = 600$ нм) на черную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно 0,1 мкПа. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 1$ с на поверхность площадью $S = 1$ см^2 .

- 8.107. Монохроматическое излучение с длиной волны $\lambda = 500$ нм падает нормально на плоскую зеркальную поверхность и давит на нее с силой $F = 10$ нН. Определить число N_I фотонов, ежесекундно падающих на эту поверхность.
- 8.108. Параллельный пучок монохроматического света ($\lambda = 662$ нм) падает на зачерненную поверхность и производит на нее давление $p = 0,3$ мкПа. Определить концентрацию n фотонов в световом пучке.
- 8.109. Найти световое давление P на стенки электрической 100–ваттной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом $r = 5$ см. Стенки лампы отражают 4 % и поглощают 6 % падающего на них света. Считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение.
- 8.110. На поверхность площадью $S = 0,01$ м² в единицу времени падает световая энергия $W = 1,05$ Дж/с. Найти световое давление P в случаях, когда поверхность полностью отражает и полностью поглощает падающие на нее лучи.
- 8.111. Монохроматический пучок света ($\lambda = 490$ нм), падая по нормали к поверхности, производит световое давление $P = 4,9$ мкПа. Какое число фотонов I падает в единицу времени на единицу площади этой поверхности? Коэффициент отражения света $\rho = 0,25$.
- 8.112. Найти импульс p фотона: а) красных лучей света ($\lambda = 700$ нм); б) рентгеновских лучей ($\lambda = 25$ пм); в) гамма–лучей ($\lambda = 1,24$ пм).
- 8.113. Найти энергию ϵ , импульс p фотона, если соответствующая ему длина волны $\lambda = 1,6$ пм.
- 8.114. С какой скоростью v должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия была равна импульсу фотона с длиной волны $\lambda = 520$ нм?
- 8.115. С какой скоростью v должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона с длиной волны $\lambda = 520$ нм?
- 8.116. Определить для фотона с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм: 1) его энергию; 2) импульс; 3) массу.
- 8.117. Определить энергию фотона, при которой его масса равна массе покоя электрона. Ответ выразить в электрон–вольтах.
- 8.118. Определить, с какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона, длина волны которого $\lambda = 0,5$ мкм.
- 8.119. Определить длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, прошедшего разность потенциалов $U = 9,8$ В.
- 8.120. Определить температуру, при которой средняя энергия молекул трехатомного газа равна энергии фотонов, соответствующих излучению $\lambda = 600$ нм.
- 8.121. Определить, с какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия была равна энергии фотона, длина волны которого $\lambda = 0,5$ мкм.
- 8.122. Определить, с какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона, длина волны которого $\lambda = 2$ пм.

8.123. Давление монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм на зачерненную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно $0,12$ мкПа. Определить число фотонов, падающих каждую секунду на 1 м^2 поверхности.

8.124. На идеально отражающую поверхность площадью $S = 5 \text{ см}^2$ в течение $t = 3$ мин нормально падает монохроматический свет, энергия которого $W = 9$ Дж. Определить: 1) облученность поверхности; 2) световое давление, оказываемое на поверхность.

8.125. Определить давление света на стенки электрической 150 -ваттной лампочки, принимая, что вся потребляемая мощность идет на излучение и стенки лампочки отражают 15% падающего на них света. Считать лампочку сферическим сосудом радиуса 4 см.

8.126. Давление монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм на зачерненную поверхность, расположенную перпендикулярно падающему излучению, равно $0,15$ мкПа. Определить число фотонов, падающих на поверхность площадью 40 см^2 за одну секунду.

8.127. Давление p монохроматического света с длиной волны 600 нм на зачерненную поверхность, расположенную перпендикулярно падающему излучению, составляет $0,1$ мкПа. Определить: 1) концентрацию n фотонов в световом пучке; 2) число N фотонов, падающих каждую секунду на 1 м^2 поверхности.

8.128. На идеально отражающую плоскую поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны $0,55$ мкм. Мощность излучения составляет $0,45$ Вт. Определить: 1) число N фотонов, падающих на поверхность за время $t = 3$ с; 2) силу давления, испытываемую этой поверхностью.

8.129. Определить энергию E , массу m и импульс p фотона рентгеновских лучей с длиной волны $\lambda = 100$ пм.

8.130. При какой температуре T средняя кинетическая энергия теплового движения молекул одноатомного газа равна энергии фотонов рентгеновских лучей с длиной волны $\lambda = 0,1$ нм?

8.131. Найти массу, импульс и энергию фотона красных лучей света, для которых $\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$ см.

8.132. Определите энергию γ -кванта, если соответствующая ему длина волны $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-12}$ м.

8.133. Сколько фотонов с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм имеют суммарную энергию, равную энергии неподвижного электрона?

8.134. Сколько квантов излучает за одну секунду гелий-неоновый лазер мощностью $P = 10$ мВт? Длина волны, излучаемая лазером, $\lambda = 0,6$ мкм.

8.135. Свет с длиной волны $\lambda = 0,66$ мкм падает нормально на поверхность. Какой импульс передает этой поверхности световой фотон, если поверхность: а) полностью отражает свет; б) полностью поглощает свет.

8.136. Пучок света с длиной волны $\lambda = 490$ нм, падая перпендикулярно поверхности, производит давление $5 \cdot 10^{-6}$ Па. Коэффициент отражения поверхности $\rho = 0,25$. Сколько фотонов падает каждую секунду на единицу площади этой поверхности?

8.137. Определить энергию и массу фотона, длина волны которого соответствует: а) видимой части спектра ($\lambda = 0,6$ мкм); б) рентгеновскому излучению ($\lambda_1 = 10$ нм); в) γ – излучению ($\lambda_2 = 0,1$ нм).

8.138. Сколько фотонов попадает за 1 мин на 1 см^2 поверхности Земли, перпендикулярной солнечным лучам? Солнечная постоянная $K \approx 1,4 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, средняя длина волны солнечного света $\lambda_{cp} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

8.139. Определить уменьшение массы Солнца в 1 с. Расстояние от Солнца до Земли $R = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$. Определить время, за которое масса Солнца уменьшается на 1 %.

Тема 4. Эффект Комптона

- 8.140. Рентгеновское излучение длиной волны $\lambda = 55,8$ пм рассеивается плиткой графита (комpton-эффект). Определить длину волны λ' света, рассеянного под углом $\Theta = 60^\circ$ к направлению падающего пучка света.
- 8.141. Определить максимальное изменение длины волны при комптоновском рассеянии: 1) на свободных электронах; 2) на свободных протонах.
- 8.142. Определить угол Θ рассеяния фотона, испытывающего соударение со свободным электроном, если изменение длины волны $\Delta\lambda$ при рассеянии равно $3,62$ пм.
- 8.143. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,4$ МэВ рассеялся под углом $\Theta = 90^\circ$ на свободном электроне. Определить энергию ε' рассеянного фотона и кинетическую энергию T электрона отдачи.
- 8.144. Определить импульс p электрона отдачи при эффекте Комптона, если фотон с энергией, равной энергии покоя электрона, был рассеян на угол $\Theta = 180^\circ$.
- 8.145. Какая доля энергии фотона при эффекте Комптона приходится на электрон отдачи, если фотон претерпел рассеяние на угол $\Theta = 180^\circ$? Энергия ε рассеянного фотона равна $0,2$ МэВ. Определить угол рассеяния Θ .
- 8.146. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25$ МэВ рассеялся на свободном электроне. Энергия ε' рассеянного фотона равна $0,2$ МэВ. Определить угол рассеяния Θ .
- 8.147. Угол рассеяния Θ фотона равен 90° . Угол отдачи φ электрона равен 30° . Определить энергию ε падающего фотона.
- 8.148. Фотон ($\lambda = 1$ пм) рассеялся на свободном электроне под углом $\Theta = 90^\circ$. Какую долю своей энергии фотон передал электрону?
- 8.149. Длина волны λ фотона равна комптоновской длине λ_c электрона. Определить энергию ε и импульс p фотона.
- 8.150. Энергия ε падающего фотона равна энергии покоя электрона. Определить долю ω_1 энергии падающего фотона, которую сохранит рассеянный фотон, и долю ω_2 этой энергии, полученную электроном отдачи, если угол Θ равен 60° .
- 8.151. Рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda_0 = 70,8$ пм испытывает комптоновское рассеяние на парафине. Найти длину волны λ рентгеновского излучения, рассеянного в направлениях: а) $\varphi = \pi/2$; б) $\varphi = \pi$.
- 8.152. Какова была длина волны λ_0 рентгеновского излучения, если при комптоновском рассеянии этого излучения графитом под углом $\varphi = 60^\circ$ длина волны рассеянного излучения оказалась равной $\lambda = 25,4$ пм?
- 8.153. Рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda_0 = 20$ пм испытывает комптоновское рассеяние под углом $\varphi = 90^\circ$. Найти изменение $\Delta\lambda$ длины волны рентгеновского излучения при рассеянии, а также энергию W_e и импульс электрона отдачи.
- 8.154. При комптоновском рассеянии энергия падающего фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния $\varphi = \pi/2$. Найти энергию W и импульс p рассеянного фотона.

8.155. Определить длину волны рентгеновского излучения, если при комптоновском рассеянии этого излучения под углом $\theta = 60^\circ$ длина волны рассеянного излучения оказалась равной 57 пм.

8.156. Фотон с энергией $\varepsilon = 1,025$ МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроны. Определить угол рассеяния фотона, если длина волны рассеянного фотона оказалась равной комптоновской длине волны $\lambda_c = 2,43$ пм.

8.157. Узкий пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на рассеивающее вещество. Оказывается, что длины волн рассеянного под углами $\theta_1 = 60^\circ$ и $\theta_2 = 120^\circ$ излучения отличаются в 1,5 раза. Определить длину волны падающего излучения, предполагая, что рассеяние происходит на свободных электронах.

8.158. Фотон с длиной волны $\lambda = 5$ пм испытал комптоновское рассеяние под углом $\theta = 90^\circ$ на первоначально покоившемся свободном электроны. Определить: 1) изменение длины волны при рассеянии; 2) энергию электрона отдачи; 3) импульс электрона отдачи.

8.159. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25$ МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроны. Определить кинетическую энергию электрона отдачи, если длина волны рассеянного фотона изменилась на 20 %.

8.160. Фотон с энергией 0,3 МэВ рассеялся под углом $\theta = 180^\circ$ на свободном электроны. Определить долю энергии фотона, приходящуюся на рассеянный фотон.

8.161. Фотон с энергией 100 кэВ в результате комптоновского эффекта рассеялся при соударении со свободным электроны на угол $\theta = \pi/2$. Определить энергию фотона после рассеяния.

8.162. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25$ МэВ рассеялся под углом $\theta = 120^\circ$ на первоначально покоившемся свободном электроны. Определить кинетическую энергию электрона отдачи.

8.163. Фотон рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 2,4 \cdot 10^{-11}$ м при рассеянии на электроны передал ему 20% своей энергии. Определите частоту рассеянного излучения.

Тема 5. Тормозное рентгеновское излучение. Коротковолновая граница

8.164. Определить скорость v электронов, падающих на анод рентгеновской трубки, если минимальная длина λ_{min} в сплошном спектре рентгеновского излучения равна 1 нм.

8.165. Определить коротковолновую границу λ_{min} сплошного спектра рентгеновского излучения, если рентгеновская трубка работает под напряжением $U = 30$ кВ.

8.166. Рентгеновская трубка работает под напряжением $U = 1$ МВ. Определить наименьшую длину волны λ_{min} рентгеновского излучения.

8.167. Определить напряжение U , под которым работает рентгеновская трубка, если коротковолновая граница λ_{min} в спектре тормозного рентгеновского излучения оказалась равной 15,5 пм.

8.168. Найти длину волны λ , определяющую коротковолновую границу сплошного рентгеновского спектра, для случаев, когда к рентгеновской трубке приложена разность потенциалов U , равная: 30, 40, 50 кВ.

8.169. Найти длину волны λ , определяющую коротковолновую границу сплошного рентгеновского спектра, если известно, что уменьшение приложенного к рентгеновской трубке напряжения на $\Delta U = 23$ кВ увеличивает искомую длину волны в 2 раза.

8.170. Длина волны гамма-излучения радия $\lambda = 1,6$ пм. Какую разность потенциалов U надо приложить к рентгеновской трубке, чтобы получить рентгеновское излучение с этой длиной волны?

8.171. Определить наименьшую длину волны рентгеновского излучения, если рентгеновская трубка работает при напряжении $U = 150$ кВ.

8.172. Минимальная длина волны рентгеновских лучей, полученных от трубки, работающей при напряжении $U = 60$ кВ, равна 20,7 пм. Определить по этим данным постоянную Планка.

8.173. Определить длину волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра, если скорость v электронов, бомбардирующих анод рентгеновской трубки, составляет 0,8 с.

8.174. Определить длину волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра, если при увеличении напряжения на рентгеновской трубке в два раза она изменилась на 50 пм.

Тема 6. Гипотеза де Бройля

8.175. Определить длину волны де Бройля λ , характеризующую волновые свойства электрона, если его скорость $v = 1$ Мм/с. Сделать такой же подсчет для протона.

8.176. Электрон движется со скоростью $v = 200$ Мм/с. Определить длину волны де Бройля λ , учитывая изменение массы электрона в зависимости от скорости.

8.177. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля λ была равна 0,1 нм?

8.178. Определить длину волны де Бройля λ электрона, если его кинетическая энергия $T = 1$ кэВ.

8.179. Найти длину волны де Бройля λ протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U : 1) 1 кВ; 2) 1 МВ.

8.180. Найти длину волны де Бройля λ для электрона, движущегося по круговой орбите атома водорода, находящегося в основном состоянии.

8.181. Определить длину волны де Бройля λ электрона, находящегося на второй орбите атома водорода.

8.182. С какой скоростью движется электрон, если длина волны де Бройля λ электрона равно его комптоновской длине волн λ_c ?

8.183. Определить длину волны де Бройля λ электронов, бомбардирующих анод рентгеновской трубки, если граница сплошного рентгеновского спектра приходится на длину волны $\lambda = 3$ нм.

- 8.184. Электрон движется по окружности радиусом $r = 0,5$ см в однородном магнитном поле с индукцией $B = 8$ мТл. Определить длину волны де Бройля λ электрона.
- 8.185. На грань некоторого кристалла под углом $\alpha = 60^\circ$ к ее поверхности падает параллельный пучок электронов, движущихся с одинаковой скоростью. Определить скорость v электронов, если они испытывают интерференционное отражение первого порядка. Расстояние d между атомными плоскостями кристаллов равно $0,2$ нм.
- 8.186. Параллельный пучок электронов, движущихся с одинаковой скоростью $v = 1$ Мм/с, падает нормально на диафрагму с длинной щелью шириной $a = 1$ мкм. Проходя через щель, электроны рассеиваются и образуют дифракционную картину на экране, расположенном на расстоянии $l = 50$ см от щели и параллельном плоскости диафрагмы. Определить линейное расстояние x между первыми дифракционными минимумами.
- 8.187. Найти длину волны де Бройля λ для электронов, прошедших разность потенциалов $U_1 = 1$ В и $U_2 = 100$ В.
- 8.188. Найти длину волны де Бройля λ для протонов, прошедших разность потенциалов $U_1 = 1$ В и $U_2 = 100$ В.
- 8.189. Найти длину волны де Бройля λ для: а) электрона, движущегося со скоростью $v = 10^6$ м/с; б) атома водорода, движущегося со средней квадратичной скоростью при температуре $T = 300$ К; в) шарика массой $m = 1$ г, движущегося со скоростью $v = 1$ см / с.
- 8.190. Найти длину волны де Бройля λ для электрона, имеющего кинетическую энергию: а) $W_1 = 10$ кэВ; б) $W_2 = 1$ МэВ.
- 8.191. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов $U = 200$ В, имеет длину волны де Бройля $\lambda = 2,02$ пм. Найти массу m частицы, если ее заряд численно равен заряду электрона.
- 8.192. α -частица движется по окружности радиусом $r = 8,3$ мм в однородном магнитном поле, напряженность которого $H = 18,9$ кА. Найти длину волны де Бройля λ для α -частицы.
- 8.193. Найти длину волны де Бройля λ для атома водорода, движущегося при температуре $T = 293$ К с наиболее вероятной скоростью.
- 8.194. Определить импульс и энергию: 1) рентгеновского фотона; 2) электрона, если длина волны того и другого равна 10^{-10} м.
- 8.195. Определить длину волны де Бройля для электрона, находящегося в атоме водорода на третьей боровской орбите.
- 8.196. Определить длину волны де Бройля для нейтрона, движущегося со средней квадратичной скоростью при $T = 290$ К.
- 8.197. Протон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 15$ мТл по окружности радиусом $R = 1,4$ м. Определить длину волны де Бройля для протона.
- 8.198. Определить, какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля λ для него была равна 1 нм.

- 8.199. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов $U = 500$ В, имеет длину волны де Бройля $\lambda = 1,282$ пм. Принимая заряд этой частицы равным заряду электрона, определить ее массу.
- 8.200. Кинетическая энергия электрона равна 1 кэВ. Определить длину волны де Бройля.
- 8.201. Кинетическая энергия электрона равна 0,6 МэВ. Определить длину волны де Бройля.
- 8.202. Определить, при каком числовом значении скорости длина волны де Бройля для электрона равна его комптоновской длине волны.
- 8.203. Определить, при каком числовом значении кинетической энергии T длина волны де Бройля электрона равна его комптоновской длине волны.
- 8.204. Вывести связь между длиной круговой электронной орбиты и длиной волны де Бройля.
- 8.205. Определить, как изменится длина волны де Бройля электрона атома водорода при переходе его с четвертой боровской орбиты на вторую.
- 8.206. Найти импульс p и энергию W : а) рентгеновского фотона с длиной волны $\lambda = 1$ А; б) электрона, длина волны де Бройля которого 0,1 нм.

Тема 7. Соотношения неопределенностей Гейзенберга

- 8.207. Определить неточность Δx в определении координаты электрона, движущегося в атоме водорода со скоростью $v = 1,5 \cdot 10^6$ м/с, если допустимая неточность Δv в определении скорости составляет 10 % от ее величины. Сравнить полученную неточность с диаметром d атома водорода, вычисленным по теории Бора для основного состояния, и указать, примерно ли понятие траектории в данном случае.
- 8.208. Электрон с кинетической энергией $T = 15$ эВ находится в металлической пылинке диаметром $d = 1$ мкм. Определить относительную неточность Δv , с которой может быть определена скорость электрона.
- 8.209. Во сколько раз дебройлевская длина волны λ частицы меньше неопределенности Δx ее координаты; последняя соответствует относительной неопределенности импульса в 1 %.
- 8.210. Предполагая, что неопределенность координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны, определить относительную неточность $\Delta p/p$ импульса этой частицы.
- 8.211. Используя соотношение неопределенностей $\Delta x \Delta p_x \geq h$, найти выражение, позволяющее оценить минимальную энергию E электрона, находящегося в одномерном потенциальном ящике шириной l .
- 8.212. Используя соотношение неопределенностей $\Delta x \Delta p_x \geq h$, оценить низший энергетический уровень электрона в атоме водорода. Принять линейные размеры атома $l \approx 0,1$ нм.
- 8.213. Приняв, что минимальная энергия E нуклона в ядре равна 10 МэВ, оценить, исходя из соотношения неопределенностей, линейные размеры ядра.

8.214. Рассмотрим следующий мысленный эксперимент. Пусть моноэнергетический пучок электронов ($T = 10$ эВ) падает на щель шириной a . Можно считать, что если электрон прошёл через щель, то его координата известна с неточностью $\Delta x = a$. Оценить получаемую при этом относительную неточность в определении импульса $\Delta p/p$ электрона при $a = 10$ нм.

8.215. Пылинки массой $m = 10^{-12}$ г взвешены в воздухе и находятся в тепловом равновесии. Можно ли установить, наблюдая за движением пылинок, отклонение от законов классической механики? Принять, что воздух находится при нормальных условиях, пылинки имеют сферическую форму. Плотность вещества, из которого состоят пылинки, равна $2 \cdot 10^3$ кг/м³.

8.216. Используя соотношение неопределенности $\Delta E \Delta t \geq h$, оценить ширину Γ энергетического уровня в атоме водорода, находящегося: 1) в основном состоянии; 2) в возбужденном состоянии (время t жизни атома в возбужденном состоянии равно 10^{-8} с).

8.217. Оценить относительную ширину $\Delta \omega / \omega$ спектральной линии, если известны время жизни атома в возбужденном состоянии ($t \approx 10^{-8}$ с) и длина волны излучаемого фотона ($\lambda = 0,6$ мкм).

8.218. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов $U = 0,5$ кВ. Принимая, что неопределенность импульса равна 0,1 % от его числового значения, определить неопределенность координаты электрона. Являются ли в данных условиях электроны квантовыми или классическими частицами?

8.219. Параллельный пучок моноэнергетических электронов направлен нормально на узкую щель шириной $a = 1$ мкм. Определить скорость этих электронов, если на экране, отстоящем на расстоянии $l = 20$ см от щели, ширина центрального дифракционного максимума составляет $\Delta x = 48$ мкм.

8.220. Параллельный пучок электронов, ускоренный разностью потенциалов $U = 50$ В, направлен нормально на две параллельные, лежащие в одной плоскости, щели, расстояние d между которыми равно 10 мкм. Определить расстояние между центральным и первым максимумами дифракционной картины на экране, который расположен от щелей на расстоянии $l = 0,6$ м.

8.221. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов $U = 10$ кВ. Известно, что неопределенность скорости составляет 0,5 % от ее числового значения. Определить неопределенность координаты электрона. Являются ли электроны в данных условиях квантовыми или классическими частицами?

8.222. Определить отношение неопределенностей скоростей электрона и пылинки, если координата электрона установлена с точностью до 10^{-5} м, а координата пылинки массой $m = 10^{-12}$ кг установлена с такой же точностью.

8.223. Электронный пучок выходит из электронной пушки под действием разности потенциалов $U = 200$ В. Определить, можно ли одновременно измерить траекторию электрона с точностью до 100 пм (эта точность того же порядка, что и диаметр атома) и его скорость с точностью до 10 %.

8.224. Электрон движется в атоме водорода по первой боровской орбите. Принимая, что допускаемая неопределенность скорости составляет 10 % от ее числового значения, определить неопределенность координаты электрона. Применимо ли в данном случае для электрона понятие траектории?

8.225. Используя соотношение неопределенностей в форме $\Delta p_x \Delta x \geq h$, оценить минимально возможную полную энергию электрона в атоме водорода. Принять неопределенность координаты равной радиусу атома. Сравнить полученный результат с теорией Бора.

8.226. Объяснить физический смысл соотношения неопределенностей для энергии E и времени t : $\Delta E \Delta t \geq h$.

8.227. Длина волны λ излучаемого атомом фотона составляет 0,6 мкм. Принимая время жизни возбужденного состояния $\Delta t = 10^{-8}$ с, определить отношение естественной ширины энергетического уровня, на который был возбужден электрон, к энергии, излученной атомом.

8.228. Принимая, что электрон находится внутри атома диаметром 0,3 нм, определить (в электрон-вольтах) неопределенность энергии этого электрона.