

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Институт информационных технологий»
Кафедра физико-математических дисциплин

Тараканов А.Н., Махнач В.В.

Задачи по физике
для самостоятельного решения

Электростатика и постоянный ток, магнитное поле, волновая оптика,
введение в квантовую физику

Для студентов следующих специальностей ИИТБГУИР
заочной формы обучения

1-58 01 01 Инженерно-психологическое обеспечение информационных технологий
1-40 01 01 Программное обеспечение информационных технологий
1-40 05 01- XX Информационные системы и технологии (по направлениям)

Минск 2019

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ КУРСА

Раздел 1. Электрическое поле в вакууме		
1.	Электростатика	Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции полей. Напряженность поля точечного заряда и системы зарядов. Поток и дивергенция векторного поля.
2.	Электрическое поле диполя	Потенциал поля точечного заряда и системы зарядов. Электрический момент диполя. Момент сил, действующих на диполь в электростатическом поле. Потенциальная энергия диполя в электростатическом поле. Сила, действующая на диполь в неоднородном электростатическом поле.
Раздел 2. Электростатическое поле в веществе		
3.	Электрическое поле в диэлектриках	Диэлектрики. Связанные и сторонние заряды. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость. Вектор электрического смещения. Диэлектрическая проницаемость. Теорема Гаусса для вектора электрического смещения. Условия на границе двух диэлектриков. Сегнетоэлектрики и их применение для хранения информации.
4.	Электрическое поле в проводниках	Проводники. Проводники в электростатическом поле. Поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение заряда в проводнике. Электроемкость уединенного проводника. Емкость системы проводников. Конденсаторы. Потенциальная энергия системы зарядов. Энергия электростатического поля. Плотность энергии.
Раздел 3. Электрический ток		
5.	Теория проводимости Друде – Лоренца	Сила и плотность тока. Уравнение непрерывности. Сопротивление проводника. Закон Ома для однородного проводника. Сторонние силы. ЭДС. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Закон Джоуля – Ленца.
Раздел 4. Магнитное поле в вакууме		
6.	Магнитная индукция. Закон Био –Савара – Лапласа. Релятивистская природа магнетизма	Поле равномерно движущегося заряда. Релятивистская природа магнетизма. Магнитная индукция B . Сила Лоренца. Принцип суперпозиции полей. Закон Био – Савара – Лапласа. Магнитный поток. Теорема Гаусса для магнитного поля (в интегральной и локальной формах). Теорема о циркуляции вектора B . Вихревой характер магнитного поля.
7.	Магнитный момент и работа в магнитном поле	Магнитный момент контура с током. Сила, действующая на контур с током в магнитном поле. Работа сил магнитного поля при перемещении контура с током. Потенциальная механическая энергия контура с током в магнитном поле.
Раздел 5. Магнитное поле в веществе		
8.	Вектор напряженности магнитного поля H . Теорема о циркуляции	Намагниченность. Токи намагничивания. Циркуляция намагниченности. Вектор напряженности магнитного поля H . Теорема о циркуляции вектора H .

	вектора H	
10.	Диаманетики, парамагнетики, ферромагнетики. Хранение и запись информации	Диаманетики, парамагнетики, ферромагнетики. Доменная структура и петля гистерезиса (ферро, ферри-, антиферромагнетики). Кристаллическая структура ферромагнетиков. Материалы с колоссальным магнетосопротивлением (новые магнитоактивные композиты и материалы для магнитной записи, спинтроника). Устройства записи и хранения информации на основе сегнетоэлектриков и ферромагнетиков.
Раздел 6. Явление электромагнитной индукции		
11.	Опыты Фарадея. Правило Ленца. Передача информации	Опыты Фарадея. Правило Ленца. Полный магнитный поток (потокосцепление). Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея). Явление самоиндукции. Индуктивность. ЭДС самоиндукции. Взаимная индуктивность. Энергия магнитного поля. Плотность энергии магнитного поля.
Раздел 7. Уравнения Максвелла		
12.	Ток смещения. Уравнения Максвелла. Свет как электромагнитная волна	Вихревое электрическое поле. Электромагнитное поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла. Закон сохранения энергии в электродинамике. Плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Волновые уравнения для электромагнитной волны.
Раздел 8. Волновая оптика		
13.	Геометрическая оптика. Интерференция света	Законы геометрической оптики. Принцип суперпозиции волн. Закон сложения интенсивностей при суперпозиции двух волн. Условия возникновения интерференции. Понятие когерентности. Оптическая длина пути и оптическая разность хода. Условия интерференционных максимумов и минимумов. Время и длина когерентности. Способы наблюдения интерференции. Опыт Ллойда. Интерференция при отражении от тонких пленок. Просветление оптики.
14.	Дифракция света	Принцип Гюйгенса–Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера. Зоны Френеля. Дифракция Френеля от круглого отверстия и диска. Дифракция Фраунгофера от щели. Дифракционная решетка. Угловое распределение интенсивности света в дифракционной картине от решетки.
15.	Поляризация света	Естественный и поляризованный свет. Виды поляризации. Поляризаторы и анализаторы. Закон Малюса. Степень поляризации. Поляризация при отражении и преломлении света. Формулы Френеля. Угол Брюстера и закон Брюстера. Вращение плоскости поляризации.
16.	Дисперсия света	Элементарная теория дисперсии. Групповая скорость. Взаимодействие излучения с веществом. Поглощение света. Рассеяние света. Эффект Вавилова-Черенкова.
Раздел 9. Введение в квантовую физику		

17.	Трудности и недостаточность классической физики	Равновесное тепловое излучение. Внешний фотоэффект. Атом водорода. Эффект Комптона.
18.	Основные принципы квантовой механики	Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов. Волновая функция и ее свойства. Операторы и уравнение Шредингера.

Электростатика. Постоянный ток

1. Два шарика одинаковых радиуса и массы подвешены на нитях так, что их поверхности соприкасаются. После сообщения шарикам заряда $q = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл они оттолкнулись друг от друга и разошлись на угол $\alpha = 60^\circ$. Найти массу шариков, если расстояние от точки подвеса до центра шарика равно $l = 20$ см.

2. По тонкой нити, изогнутой по длине окружности радиуса $R = 10$ см, равномерно распределён заряд $q = 20$ нКл. Определить напряжённость E поля, создаваемого этим зарядом в точке, совпадающей с центром кривизны дуги, если длина нити равна четверти длины окружности.

3. На тонком кольце равномерно распределён заряд с линейной плотностью заряда $\tau = 0,2$ нКл/см. Радиус кольца $R = 15$ см. На срединном перпендикуляре к плоскости кольца находится точечный заряд $q = 10$ нКл. Определить силу F , действующую на точечный заряд со стороны заряженного кольца, если он удалён от центра кольца на: а) $a_1 = 20$ см; б) $a_2 = 10$ см.

4. Точечный заряд $Q = 25$ нКл находится в поле, созданном прямым бесконечным цилиндром радиуса $R = 1$ см, равномерно заряженным с поверхностной плотностью $\sigma = 0,2$ нКл/м². Определить силу F (мкН), действующую на заряд, если его расстояние от оси цилиндра $r = 10$ см.

5. Шарик, заряженный до потенциала $\varphi = 792$ В, имеет поверхностную плотность заряда $\sigma = 333$ нКл/м². Найти радиус шарика.

6. Найти потенциал φ точки поля, находящейся на расстоянии $r = 10$ см от центра заряженного шара радиусом $R = 1$ см. Задачу решить, если: а) задана поверхностная плотность заряда на шаре $\sigma = 0,1$ мкКл/м²; б) задан потенциал шара $\varphi_0 = 300$ В.

7. Напряжение между обкладками плоского конденсатора $U = 300$ В, расстояние между обкладками $d = 4$ мм. В конденсатор вдвигают диэлектрик, который полностью заполняет объем конденсатора. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика $\epsilon = 6$. Определить поляризуемость диэлектрика (нКл/м²).

8. Найти скорость упорядоченного движения электронов в проводнике сечением $S = 5$ мм² при силе тока $I = 10$ А, если концентрация электронов проводимости $n = 5 \cdot 10^{28}$ м⁻³.

9. При включении батареи на сопротивление $R_1 = 10$ Ом сила тока в цепи составляет $I_1 = 3$ А. Если ту же батарею включить на сопротивление $R_2 = 20$ Ом, то сила тока будет $I_2 = 1,6$ А. Найти э.д.с. E и внутреннее сопротивление r батареи.

10. Сила тока I в проводнике сопротивлением $R = 5$ Ом изменяется со временем t по закону $I = I_0 e^{-\alpha t}$, где $I_0 = 2$ А и $\alpha = 10$ с⁻¹. Найти тепло Q , выделившееся в проводнике за $\Delta t = 1$ с.

Магнитное поле

1. Определите магнитную индукцию на оси тонкого проволочного кольца радиусом $R = 5$ см, по которому течёт ток $I = 10$ А, в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии $d = 10$ см от центра кольца.

2. Прямой провод длины $l = 40$ см, по которому течёт ток силы $I = 100$ А, движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5$ Тл. Какую работу A совершат силы, действующие на провод со стороны поля, переместив его на расстояние $s = 40$ см, если направление перемещения перпендикулярно линиям индукции и проводу?

3. Тонкое заряженное кольцо равномерно вращается с частотой $n = 15$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр. Масса кольца $m = 10$ г, радиус $R = 8$ см, линейная плотность заряда $\tau = 10$ нКл/м. Определите магнитный момент кругового тока p_m , создаваемый кольцом, и отношение магнитного момента к моменту импульса кольца p_m / L .

4. Два параллельных бесконечных длинных провода, по которым в одном направлении текут электрические токи силой $I = 60$ А, расположены на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого проводниками в точке, отстоящей от оси одного проводника на расстояние $r_1 = 5$ см, от оси другого – на $r_2 = 12$ см.

5. Постоянный ток силой 12 А течёт по тонкому проводнику, который имеет вид, показанный на рис. 1. Радиус изогнутой части проводника равен 0,30 м, прямолинейные участки проводника считать очень длинными. Определить модуль индукции магнитного поля этого тока в точке О.

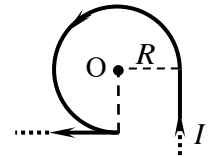


Рис. 1

6. Два бесконечно длинных параллельных проводника, по которым текут токи в одном направлении и одинаковой силы $I = 1$ А, находятся на расстоянии $R = 10$ см друг от друга. Какую работу, отнесённую к единице длины проводников, надо совершить, чтобы раздвинуть проводники на расстояние $\Delta R = 4$ см? Определить, какими силами совершается работа: внешними или силами электромагнитного поля?

7. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 2$ кВ, влетает в однородное магнитное поле, направление которого перпендикулярно направлению его движения. Индукция магнитного поля $B = 1,2$ мТл. Найти радиус окружности R , по которой движется электрон, период обращения T и момент импульса L электрона.

8. α -частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 104$ В и влетела в скрещённые под прямым углом электрическое ($E = 10$ кВ/м) и магнитное ($B = 0,1$ Тл) поля. Найти отношение заряда альфа-частицы к её массе q/m (Кл/кг), если двигаясь перпендикулярно обоим полям, частица не испытывает отклонений от прямолинейной траектории.

9. Рамка сопротивлением $R = 1$ Ом помещена в магнитное поле, индукция которого меняется по закону $B = B_0 \sin \omega t$, где $\omega = 2\pi / T$, $B_0 = 0,01$ Тл, $T = 0,02$ с. Площадь рамки $S = 25$ см². Найти зависимость от времени t : а) магнитного потока Φ , пронизывающего рамку; б) э.д.с. индукции ε , возникающей в рамке; в) силы тока I , текущего по рамке. Определить значение этих величин в момент времени $t = 0,02$ с. Найти максимальные значения каждой величины.

10. В соленоиде сечением $S = 5$ см² создан магнитный поток $\Phi = 20$ мкВб. Определить объёмную плотность w энергии магнитного поля соленоида. Сердечник отсутствует. Магнитное поле во всём объёме соленоида считать однородным.

11. Тонкий провод в виде кольца массы $m = 5 \text{ г}$ свободно подвешен на неупругой нити в однородном магнитном поле. По кольцу течёт ток силы $I = 6 \text{ А}$. Период малых крутильных колебаний относительно вертикальной оси равен $T = 2,2 \text{ с}$. Найти индукцию B магнитного поля.

12. Электромагнитная волна с частотой $\nu = 5 \text{ МГц}$ переходит из немагнитной среды с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$ в вакуум. Определите приращение длины волны $\Delta\lambda$.

13. Какова должна быть напряжённость однородного электрического поля E , чтобы оно обладало такой же плотностью энергии, что и однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,5 \text{ Тл}$?

Волновая оптика

14. Расстояние между двумя когерентными источниками, излучаемых свет длиной волны $\lambda = 600 \text{ нм}$, равно $d = 1 \text{ мм}$, а расстояние от источников до экрана $l = 3 \text{ м}$. Определить 1) положение 1-ой светлой полосы, 2) положение 4-ой тёмной полосы, 3) расстояние между вторыми светлыми полосами, 4) ширину светлой полосы Δx .

15. Точечный источник света ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$) расположен на расстоянии $a = 1 \text{ м}$ перед диафрагмой с круглым отверстием диаметром $d = 2 \text{ мм}$. Определить расстояние b от диафрагмы до точки наблюдения, если отверстие открывает три зоны Френеля.

16. На клин с показателем преломления $n = 1,45$ нормально падает монохроматический свет длиной волны $\lambda = 460 \text{ нм}$. Определить угол α (в радианах) между поверхностями клина, если расстояние между двумя соседними минимумами в отражённом свете равно $l = 1,8 \text{ мм}$.

17. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны $R = 0,5 \text{ м}$ лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. На линзу нормально падает монохроматический свет длины волны $\lambda = 500 \text{ нм}$. Определить радиус r_{10} 10-го светлого кольца Ньютона и радиус r_2 2-го тёмного кольца.

18. Монохроматический свет длины волны $\lambda = 450 \text{ нм}$ падает перпендикулярно на узкую щель шириной $a = 0,1 \text{ мм}$. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном на расстоянии $l = 2 \text{ м}$ от щели. Определить расстояние b между дифракционными максимумами 5-го порядка, расположенными симметрично по обе стороны центрального дифракционного максимума. На сколько миллиметров изменится это расстояние (Δb , мм), если ширина щели увеличится на 40%?

19. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 620 \text{ нм}$ нормально падает на дифракционную решётку. Угол дифракции для максимума 4-го порядка равен 30° . Минимальная разность длин волн, разрешаемая решёткой, составляет $\delta\lambda = 0,2 \text{ нм}$. Определить: 1) постоянную решётки d , 2) общее число главных максимумов M , которые можно наблюдать в спектре, 3) разрешающую способность решётки R , 4) длину решётки l .

20. На поляризатор падает естественный свет. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора составляет $\alpha = 20^\circ$. Анализатор поворачивают на угол $\Delta\alpha = 35^\circ$. Определить отношение интенсивностей света, прошедшего через систему до поворота и после поворота анализатора I_1 / I_2 .

21. При отражении от алмазной пластинки естественный свет оказался максимально поляризованным при угле падения $\alpha = 67,4^\circ$. Определите отношение скорости света в алмазе к скорости света в вакууме V / c .

Квантовая природа излучения

22. При нагревании абсолютно чёрного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с $\lambda_1 = 3,4 \text{ мкм}$ до $\lambda_2 = 1,7 \text{ мкм}$. Во сколько раз при этом увеличилась максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

23. Длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела, равна $\lambda_{\max} = 600 \text{ нм}$, а мощность излучения составляет $P = 10 \text{ кВт}$. Найдите площадь излучающей поверхности тела $S \text{ (см}^2\text{)}$.

24. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500 \text{ нм}$ падает вертикально на зачернённую поверхность площадью $S = 0,5 \text{ см}^2$. За время $t = 1 \text{ с}$ на поверхность падает $N = 2 \cdot 10^{17}$ фотонов. Определите давление света p на эту поверхность. Ответ дать в микропаскалях.

25. На медный шарик падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,165 \text{ мкм}$. Какой заряд $q \text{ (нКл)}$ накопится на шарике при его длительном облучении, если работа выхода электрона из меди равна $A = 4,5 \text{ эВ}$. Радиус шарика $R = 3 \text{ см}$.

26. Фотоэффект наблюдается при облучении металла светом с длиной волны $\lambda = 245 \text{ нм}$. Какое задерживающее напряжение $U \text{ (В)}$ надо приложить к металлу, чтобы максимальная скорость вырванных электронов уменьшилась в 2 раза? Работа выхода электрона из этого металла равна $A = 2,4 \text{ эВ}$.

27. Фотон с длиной волны $\lambda = 2 \text{ пм}$ испытал комптоновское рассеяние под углом 90° на первоначально покоившемся свободном электроне. Определите: 1) изменение длины волны при рассеянии, 2) энергию электрона отдачи (кэВ), 3) импульс электрона отдачи.

28. Определите длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, прошедшего разность потенциалов $9,8 \text{ В}$.

Основы физики атома, элементы квантовой механики, физика атомного ядра

29. Электрон в атоме водорода перешёл с уровня $m = 4$ на уровень $n = 2$. Определите:

- 1) радиус n -ой орбиты $r_n \text{ (пм)}$;
- 2) скорость электрона, находящегося на n -ой орбите $V_n \text{ (Мм/с)}$;
- 3) орбитальный магнитный момент электрона $p_m \text{ (А} \cdot \text{м}^2\text{)}$, движущегося по n -ой орбите;
- 4) длину волны $\lambda \text{ (нм)}$, излучённую атомом при переходе с уровня m на уровень n ;
- 5) энергию излучения $E \text{ (в электрон-вольтах)}$.

30. Определить максимальную энергию ε_{\max} фотона серии Бальмера в спектре излучения атомарного водорода.

31. 1) Определите длину волны деБройля для электрона в атоме водорода, находящемся на 3-ей боровской орбите; 2) какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти свободный электрон, чтобы длина волны де-Бройля для него была такой же, как рассчитанная в пункте 1).

32. Электрон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной $l = 1,0 \text{ нм}$ в возбуждённом состоянии. Определите:

- 1) минимальное значение энергии электрона;
- 2) вероятность нахождения электрона в интервале $0 < x < \frac{l}{3}$ второго энергетического уровня.

33. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов $U = 1,2 \text{ кВ}$. Определите неопределённость координаты электрона $\Delta x \text{ (нм)}$, если известно, что неопределённость скорости составляет $0,13\%$ от её числового значения.

34. Определить разность первого и второго энергетических уровней (в эВ) для электрона, находящегося в потенциальной яме длиной $l_1 = 0,1 \text{ м}$ и длиной $l_2 = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ (радиус первой боровской орбиты).

Фундаментальные физические константы

Константа	Численное значение
1	2
Гравитационная постоянная	$G = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Нормальное ускорение свободного падения	$g = 9,80665 \text{ м} / \text{с}^2$
Скорость света в вакууме	$c = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м} / \text{с}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} / \text{м};$ $1 / 4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} / \text{м} =$ $= 12,5663706144 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} / \text{м}$
Элементарный заряд	$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Отношение заряда электрона к его массе	$e / m_e = 1,7588047 \cdot 10^{11} \text{ Кл} / \text{кг}$
Постоянная Планка	$h = 2\pi\hbar = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$ $\hbar = 1,05458866 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Нормальные условия для идеального газа:	
объем 1 моля газа	$V_0 = 22,41383 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{моль};$
нормальное давление	$P_0 = 101325 \text{ Па};$
нормальная температура	$T_0 = 273,15 \text{ К}$
концентрация молекул	$n_0 = \frac{P_0}{kT_0} = 2,688 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,380622 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31441 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Фарадея	$F = eN_A = 96,48456 \cdot 10^3 \text{ Кл} / \text{моль}$

1	2
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,6696 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Вина	$b = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Ридберга	$R = m_e c^2 \alpha^2 / 2h = 3,289842 \cdot 10^{15} \text{ Гц};$ $R' = R / c = 1,097373 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1};$ $R'' = 2\pi R = 2,0670687 \cdot 10^{16} \text{ Гц}$
Постоянная тонкой структуры	$\alpha = e^2 / 4\pi\epsilon_0 \hbar c = 7,29729 \cdot 10^{-3};$ $\alpha^{-1} = 137,0371$
Первый борковский радиус	$r_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = \frac{\hbar}{\alpha m_e c} = 5,29173 \cdot 10^{-11} \text{ м}$

Классический радиус электрона	$a = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2} = \frac{\hbar\alpha}{m_e c} = 2,81751 \cdot 10^{-15} \text{ м}$
Комптоновская длина волны электрона	$\lambda_e = h / m_e c = 2,42627 \cdot 10^{-12} \text{ м},$ $\tilde{\lambda}_e = \hbar / m_e c = 3,86153 \cdot 10^{-13} \text{ м}$
Магнетон Бора	$\mu_B = e\hbar / 2m_e = 9,27334 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Энергия ионизации атома водорода	$E_H = 13,527 \text{ эВ} = 2,16728 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$