



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ
И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Естественные науки»

Учебно-методическое пособие
для иностранных слушателей дополнительных
общеобразовательных программ

«Физика. Электростатика»

Автор
Цветковская С.М.



Ростов-на-Дону, 2018



Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ по инженерно-технической и технологической, медико-биологической и естественнонаучной направленностям. Содержат краткую теорию, контрольные вопросы; снабжены пояснительными рисунками, таблицами, списком ключевых слов и словосочетаний.

Рекомендуются для практических занятий и самостоятельной работы слушателей.

Автор

К.ф.-м.н., доцент,
доцент кафедры
«Естественные науки»
Цветковская С.М.



Оглавление

1. Силовая характеристика электростатического поля	4
1.1 Напряжённость электрического поля	4
1.2 Принцип суперпозиции	6
1.3 Силовые линии электрического поля	7
1.4 Контрольные вопросы и задания	8
2. Энергетическая характеристика электрического поля ..	8
2.1 Потенциал и разность потенциалов электрического поля	8
2.2 Потенциал в точке поля, которое создают N зарядов	9
2.3 Работа электростатического поля по перемещению электрического заряда	9
2.4 Потенциальная энергия заряда q , который находится в электрическом поле заряда Q	11
2.5 Эквипотенциальные поверхности	12
2.6 Контрольные вопросы и задания	13
3. Электроёмкость	13
3.1 Электроёмкость уединённого проводника	13
3.2 Конденсаторы	14
3.3 Формула для вычисления ёмкости плоского конденсатора	15
3.4 Энергия заряженного конденсатора	16
3.5 Соединение конденсаторов	16
3.6 Контрольные вопросы и задания	17
Приложения	17
Приложение 1	17
Приложение 2	18
Ключевые слова и словосочетания	19
Список литературы	20



1. СИЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Из эксперимента известно, что любой электрический заряд создаёт электрическое поле.

Внимание!

Вокруг каждого заряда существует электрическое поле.

Электростатическое поле – это электрическое поле, которое создаёт неподвижный электрический заряд.

1.1 Напряжённость электрического поля

$$E, \frac{H}{Kл}, \frac{B}{м}$$

Таблица № 1

Физическая величина	Единица измерения	
Напряжённость	$\frac{H}{Kл}$	$\frac{Ньютон}{Кулон}$
	$\frac{B}{м}$	$\frac{Вольт}{метр}$

Пробный заряд – это единичный положительный заряд.

Напряжённость электрического поля в данной точке поля (точка «а») - это физическая векторная величина, которая равна отношению силы, с которой электрическое поле действует на пробный заряд, помещённый в эту точку (в точку «а»), к величине этого заряда.



Физика. Электростатика

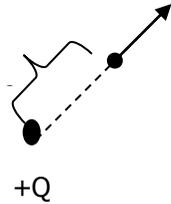


Рис. 1.а

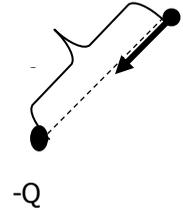


Рис. 1.б

Поле создаёт точечный заряд Q.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$

где

+Q, -Q –это заряды, которые создают электрическое поле;

\vec{E}_a - напряжённость поля в точке «а»;

\vec{F} - сила, с которой электрическое поле действует на пробный заряд;

q – пробный заряд, помещённый в точку «а»;

r_a – расстояние от заряда Q до точки «а».

Напряжённость – это силовая характеристика поля.

Таблица 2

Формулы для вычисления напряжённости точечного заряда	
В вакууме	В среде
$\vec{E}_{a0} = k \cdot \frac{ Q }{r^2} \quad (1.a)$	$\vec{E}_a = k \cdot \frac{ Q }{\varepsilon \cdot r^2} \quad (1.б)$
$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}; \quad k = 9,00 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \quad (1.в)$	
Формула связи	$\vec{E}_a = \frac{\vec{E}_{a0}}{\varepsilon} \quad (1.г)$



где

\vec{E}_{a0} - напряжённость поля в вакууме;

\vec{E}_a - напряжённость поля в среде;

ϵ_0 – электрическая постоянная; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м²;

ϵ – диэлектрическая проницаемость среды.

Значения ϵ представлены в Таблице № 14 [1, стр. 207].

1.2 Принцип суперпозиции

Пусть два заряда $+Q_1$ и $-Q_2$ создают электрическое поле. Напряжённость суммарного поля в точке «а» определяется по формуле:

$$\vec{E}_a = \vec{E}_{a1} + \vec{E}_{a2} \quad (2)$$

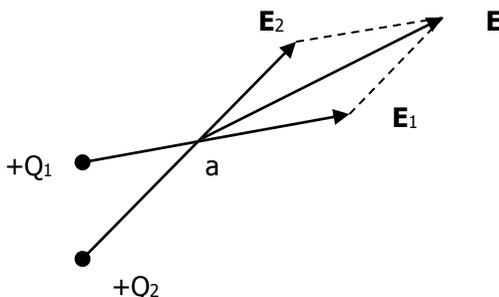


Рис.2

\vec{E} – результирующая напряжённость в точке «а»;

\vec{E}_1 -напряжённость, которую заряд Q_1 создаёт в точке «а»;

\vec{E}_2 -напряжённость, которую заряд Q_2 создаёт в точке «а»;

α – угол между векторами \vec{E}_1 и \vec{E}_2 .

Пусть N зарядов создают поле в данной точке «а», тогда результирующая напряжённость определяется по формуле:



$$\vec{E}_a = \sum_{i=1}^N \vec{E}_{ai} \quad (2.a).$$

$$|E_a| = \sqrt{|E_{a1}|^2 + |E_{a2}|^2 + 2 \cdot |E_{a1}| \cdot |E_{a2}| \cdot \cos \alpha} \quad (3)$$

1.3 Силовые линии электрического поля

Силовые линии или линии напряжённости - это линии, касательная к которым в каждой точке совпадает с вектором напряжённости.

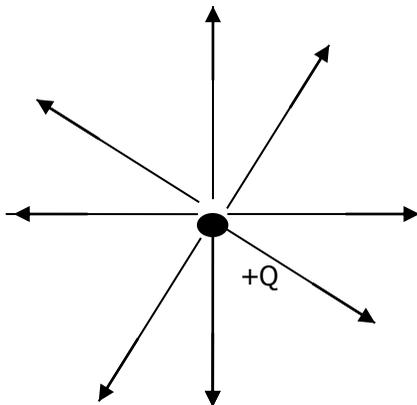


Рис.3а

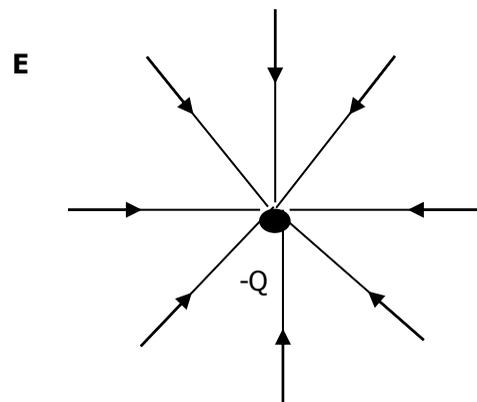


Рис.3б

Силовые линии начинаются на положительных зарядах. Силовые линии оканчиваются на отрицательных зарядах.

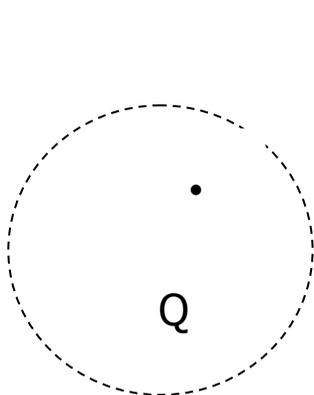


1.4 Контрольные вопросы и задания

1. Что называется пробным зарядом?
2. Что называется напряжённостью электрического поля?
3. В каких единицах измеряется напряжённость электрического поля?
4. Записать формулу для вычисления напряжённости электрического поля.
5. Объяснить физический смысл диэлектрической проницаемости.
6. Что такое силовые линии электрического поля?
7. Показать графически силовые линии одиночного электрического заряда.
8. Показать графически силовые линии поля, которое создают два одноимённых (разноимённых) заряда.
9. Что такое принцип суперпозиции?
10. Чему равна напряжённость в точке поля, которое создают два заряда? Записать формулу для вычисления модуля результирующей напряжённости.

2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

2.1 Потенциал и разность потенциалов электрического поля



$$\boxed{\varphi_a, \text{В}}$$

$$\varphi_a = \frac{W_{\text{пот}}}{q} \quad (4)$$

где

φ_a - потенциал поля в точке «а»;

$W_{\text{пот}}$ - потенциальная энергия пробного заряда q ;

q - величина пробного заряда;

Q - величина заряда, который создаёт поле.

Рис.4



Физика. Электростатика

Потенциал – это энергетическая характеристика поля.

Формула для вычисления потенциала в данной точке поля

$$\varphi_a = k \cdot \frac{Q}{\varepsilon \cdot r_a} \quad (5),$$

где

φ_a – потенциал в точке «а»;

Q – величина заряда, который создаёт поле;

r_a – расстояние от заряда Q до точки поля «а»;

ε – диэлектрическая проницаемость среды.

Таблица 3

Физическая величина		Единица измерения	
Название физической величины	Символ величины	Обозначение единицы	Наименование единицы
Потенциал	φ	В	вольт
Разность потенциалов или напряжение между точками «а» и «b»	$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$	В	вольт

2.2 Потенциал в точке поля, которое создают N зарядов

$$\varphi_a = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^N \varphi_i \quad (6)$$

Условились считать, потенциал поля положительным (со знаком «+»), если поле создаёт положительный заряд;

отрицательным (со знаком «-»), если поле создаёт отрицательный заряд.

2.3 Работа электростатического поля по перемещению электрического заряда

Работа силы электростатического поля по перемещению заряда между двумя произвольными, а точками не зависит от



Физика. Электростатика

формы траектории, зависит лишь от начального и конечного положения заряда.

Силовое поле, которое имеет такое свойство, называется потенциальным. Силы этого поля называются консервативными.

Внимание!

Электростатическое поле – это потенциальное поле.

Сила взаимодействия электрических зарядов – это консервативные силы.

Вспомним раздел «Механика»!

Пусть тело падает вертикально из точки «1» в точку «2» под действием силы тяжести. Как известно, гравитационное поле – это потенциальное поле, сила тяжести – это консервативная сила.

Работа консервативных сил по перемещению тела из точки «1» в точку «2» определяется по формуле:

$$A_{1 \rightarrow 2} = -(W_{\text{пот}2} - W_{\text{пот}1}),$$

где

$W_{\text{пот}2}$ – это потенциальная энергия тела в точке «2»;

$W_{\text{пот}1}$ – это потенциальная энергия тела в точке «1».

Рассмотрим работу электростатического поля по перемещению электрического заряда q из точки «а» в точку «б».

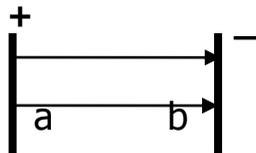


Рис. 5

$$A_{a \rightarrow b} = -(W_{\text{пот}b} - W_{\text{пот}a});$$

$$W_{\text{пот}a} = \varphi_a \cdot q; \quad W_{\text{пот}b} = \varphi_b \cdot q;$$

$$A_{a \rightarrow b} = -q \cdot (\varphi_b - \varphi_a) = -q \cdot \Delta\varphi;$$



Физика. Электростатика

Обозначим $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$,

тогда

$$A_{a \rightarrow b} = -q \cdot U_{ab}, \quad (7)$$

где

$A_{a \rightarrow b}$ - работа электрического поля по перемещению заряда q ;
 q – заряд, который перемещает поле из точки «а» в точку «b»;
 U_{ab} - напряжение электрического поля между точками «а» и «b».

$$U_{ab} = \frac{A_{a \rightarrow b}}{q} \quad (8)$$

Напряжение (разность потенциалов) между двумя точками равно отношению работы поля по перемещению заряда из начальной точки в конечную точку к величине этого заряда.

$$[U]_{СИ} = Дж/Кл = В \text{ (вольт)}$$

Разность потенциалов между двумя точками поля равна одному вольту (1В), если при перемещении заряда в один кулон (1 Кл) электрическое поле совершает работу в один джоуль (1 Дж).

Потенциал электрического поля в данной точке численно равен работе силы по перемещению единичного положительного заряда из данной точки поля в бесконечность.

Считают, что $\varphi_{\infty} = 0$, тогда потенциал в точке «а» определяется по формуле:

$$\varphi_a = \frac{A_{a \rightarrow \infty}}{q} \quad (9)$$

2.4 Потенциальная энергия заряда q , который находится в электрическом поле заряда Q

Пусть точечный заряд q поместили в точку «а» электрического поля, которое создаёт заряд Q . Заряд q в поле заряда Q имеет потенциальную энергию $W_{пот}$.

Из определения потенциала следует:

$$W_{пот} = q \cdot \varphi_a \quad (10)$$



С учётом формулы для вычисления потенциала следует, что

$$W_{\text{пот}} = k \cdot \frac{q \cdot Q}{\varepsilon \cdot r_a} \quad (11),$$

где

$W_{\text{пот}}$ - потенциальная энергия заряда q , который находится в поле заряда Q ,

r_a - расстояние между зарядами,

ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды.

2.5 Эквипотенциальные поверхности

Эквипотенциальные поверхности – это поверхности равного потенциала.

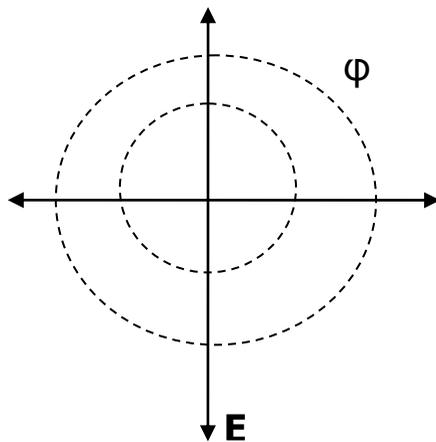


Рис.6

Свойства эквипотенциальных поверхностей:

1. Работа по перемещению электрического заряда вдоль эквипотенциальной поверхности равна нулю ($A=0$).

2. В каждой точке эквипотенциальной поверхности вектор напряжённости \vec{E} перпендикулярен к ней и

направлен в сторону убывания потенциала.



2.6 Контрольные вопросы и задания

1. Что называется потенциалом электрического поля?
2. В каких единицах измеряется потенциал электрического поля?
3. Какой величиной является потенциал? Векторной или скалярной?
4. Чему равен потенциал поля, которое создаёт единичный заряд? Записать формулу.
5. Чему равен потенциал поля, которое создают несколько зарядов?
6. Что такое напряжение электрического поля? В каких единицах измеряется напряжение?
7. Чему равна потенциальная энергия заряда, помещённого в точку поля, потенциал которой известен?
8. Чему равна работа электрического поля по перемещению заряда?
9. Что такое эквипотенциальные поверхности?
10. Свойство эквипотенциальных поверхностей

3. ЭЛЕКТРОЁМКОСТЬ

C, Ф(фарад)

3.1 Электроёмкость уединённого проводника

Электроёмкость уединённого проводника C – это физическая скалярная величина, равная отношению заряда проводника q к потенциалу поля Φ , которое создаёт этот заряд.

$$C = \frac{q}{\Phi} \quad (12)$$

Электроёмкость уединённого проводника характеризует его способность накапливать электрический заряд.

Электроёмкость измеряют в фарадах.

$$1\text{Ф} = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{В}} .$$



Таблица 4

Приставка		Множитель
Название	Обозначение	
микро	Мк	10^{-6}
нано	Н	10^{-9}
пико	П	10^{-12}

Таблица 5

Единица измерения		Множитель
Обозначение	Название	
1Ф	Фарад	1
1мкФ	микрофарад	10^{-6} Ф
1нФ	Нанофарад	10^{-9} Ф
1пФ	Пикофарад	10^{-12} Ф

3.2 Конденсаторы

Конденсаторы – это система двух металлических пластин (обкладок), между которыми находится диэлектрик.

Условное обозначение конденсатора

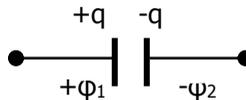


Рис.7

$|+q| = |-q| = q$ - заряд конденсатора;

$+φ_1, -φ_2$ – потенциалы на обкладках конденсатора;

$U_{12} = φ_1 - φ_2$ напряжение на конденсаторе (разность потенциалов).

Емкость конденсатора **C** это физическая ска-



лярная величина, которая равна отношению заряда конденсатора q к **разности** потенциалов на его обкладках

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad \text{или} \quad C = \frac{q}{U_{12}} \quad (13)$$

3.3 Формула для вычисления ёмкости плоского конденсатора

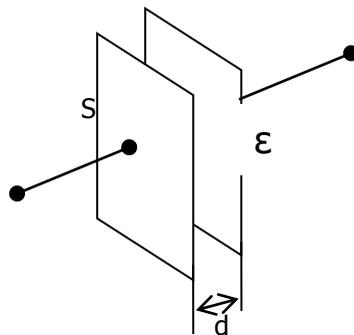


Рис.8

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d} \quad (14),$$

где

C – ёмкость,

ε_0 – электрическая постоянная;

ε – электрическая проницаемость диэлектрика;

S – площадь поверхности одной обкладки;

d – толщина диэлектрика.



3.4 Энергия заряженного конденсатора

Энергия электрического поля, которое находится между обкладками заряженного конденсатора, вычисляется по формуле:

$$W = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q^2}{2C}, \quad (15)$$

где

W - энергия конденсатора, Дж;

q - заряд конденсатора, Кл;

U - напряжение, В;

C - электроёмкость, Ф.

3.5 Соединение конденсаторов

Параллельное соединение конденсаторов

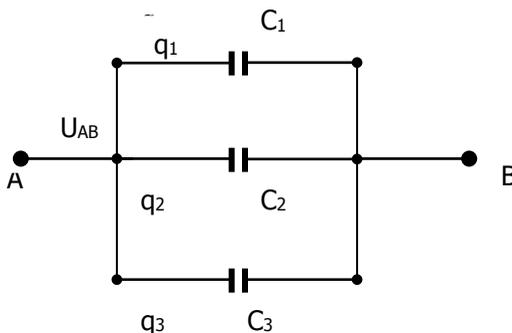


Рис.9

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (16)$$

Последовательное соединение конденсаторов

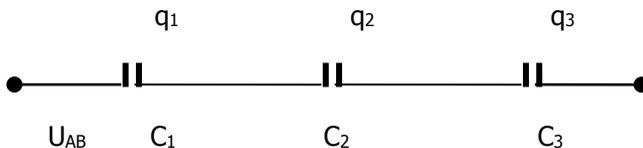


Рис.10



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (17)$$

3.6 Контрольные вопросы и задания

1. Что называется электроёмкостью уединённого проводника?
2. В каких единицах измеряется электроёмкость?
3. Что такое фарад? Выразить фарад через основные единицы системы СИ.
4. Что такое конденсаторы?
5. Покажите условное обозначение конденсатора на электрических схемах
6. Записать формулу для вычисления ёмкости плоского конденсатора, для которого известны геометрические размеры и материал диэлектрика.
7. Как изменится ёмкость конденсатора, если площадь каждой пластины увеличить в два раза?
8. Чему равна энергия заряженного конденсатора?
9. Нарисовать схему параллельного соединения конденсаторов и записать формулу вычисления суммарной ёмкости, если известна величина ёмкости каждого конденсатора.
10. Нарисовать схему последовательного соединения конденсаторов и записать формулу вычисления суммарной ёмкости, если известна величина ёмкости каждого конденсатора.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Вывод формулы для вычисления ёмкости параллельно соединённых конденсаторов

$$q_1 + q_2 + q_3 = q \quad (\text{П1})$$

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_{ab} \quad (\text{П2})$$

Разделить почленно формулу (П1) на значения напряжения из (П2). В результате получим

$$\frac{q_1}{U_{ab}} + \frac{q_2}{U_{ab}} + \frac{q_3}{U_{ab}} = \frac{q}{U_{ab}} \quad (\text{П3})$$



Физика. Электростатика

$$C_1 + C_2 + C_3 = C \text{ (П4)}$$

Вывод формулы для вычисления ёмкости последовательно соединённых конденсаторов

$$q_1 = q_2 = q_3 = q \text{ (П5)}$$

$$U_1 + U_2 + U_3 = U_{ab} \text{ (П6)}$$

Разделить почленно формулу (П6) на значения заряда из (П5). В результате получим

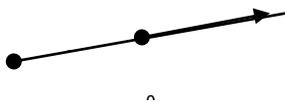
$$\frac{U_1}{q} + \frac{U_2}{q} + \frac{U_3}{q} = \frac{U_{ab}}{q} \text{ (П7)}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \text{ (П8)}$$

Приложение 2

Вывод формулы для вычисления потенциала поля точечного заряда

Потенциал электрического поля φ_a в данной точке численно равен работе силы поля по перемещению единичного положительного заряда q_0 из данной точки поля в бесконечность.



$$\varphi_a = \frac{A_{a \rightarrow \infty}}{q_0}$$

Рис.10

$$\begin{aligned} A_{a \rightarrow \infty} &= \int_a^{\infty} dA = \int_a^{\infty} F_a dr = \int_a^{\infty} q_0 \cdot E_a dr = \int_a^{\infty} k \cdot \frac{q_0 \cdot q}{\varepsilon \cdot r^2} dr = k \cdot \frac{q_0 \cdot q}{\varepsilon} \int_a^{\infty} \frac{dr}{r^2} = k \cdot \frac{q_0 \cdot q}{\varepsilon} \cdot \left(-\frac{1}{r} \right) \Big|_a^{\infty} = \\ &= k \cdot \frac{q_0 \cdot q}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{\infty} \right) = k \cdot \frac{q_0 \cdot q}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{\infty} \right) = k \cdot \frac{q_0 \cdot q}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{r_a}; \end{aligned}$$

$$\varphi_a = k \cdot \frac{q}{\varepsilon \cdot r_a}$$



КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И СЛОВСОЧЕТАНИЯ

1. возрастать-увеличиваться
2. диэлектрик
3. ёмкость
4. заряд отрицательный
5. заряд положительный
6. заряд пробный
7. заряд электрический
8. конденсатор
9. напряжение
10. напряжённость
11. напряжённость результирующая
12. обкладка
13. пластина
14. постоянная электрическая
15. потенциал
16. потенциал суммарный
17. проницаемость
18. проницаемость диэлектрическая
19. пусть
20. разность потенциалов
21. схема
22. схема эквивалентная
23. толщина диэлектрика
24. убывать- уменьшаться
25. эквипотенциальные поверхности
26. электрическое поле
27. электроёмкость
28. электростатическое поле



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика: учеб. пособие для студ.- иностранцев. подгот. фак. вузов/Корочкина Л.Н.; Каурова Л.Д.; Шутенко Л.Д. – М.: Высш. Шк.. 1983. – 392 с.

2. Вердеревская Н.Н., Егорова С.П. Сборник задач и вопросов по физике: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – Высш. школа, 1980. – 216 с.