РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ, НАПРЯЖЕНИЕ, ЭДС, ЗАКОН ОМА.

КАРАСИК В.Д., заслуженный Учитель Украины
учитель-методист, отличник народного образования,
дважды Сороссовский учитель

СШ№ 23,г. Днепропетровск

Корректность введения основных понятий, компактное, блочное изложение материала - первый этап активизации обучения в курсе физики средней школы.

Активизация учебного процесса и повышение качества образования в плане гуманизации и гуманитаризации обучения требует от учителя бережного отношения к личности учащихся,к затратам времени на обучение, к максимально быстрому созданию в сознании учащихся прочного каркаса знаний, к уменьшению путаницы в понятиях и терминах, что приводит к стойкому непониманию и, еще хуже, потере уверенности в себе.

При этом у ребенка происходит психологический стресс, возникает комплекс невозможности изучить данный предмет и ученик переходит к механическому зазубриванию отдельных кусков темы исключительно с целью получения оценки.

Во многом в этом виноваты мы, учителя и та учебная литература, которой мы пользуемся. Сказанное очень наглядно проявляется при изложении темы: Разность потенциалов, напряжение, ЭДС. Закон Ома.

Автор предпримет попытку изложить данную тему корректно, компактно и, как он надеется, понятно.

В практике преподавания разделов электростатика и электродинамика наблюдается разнобой в употреблении терминов. Поэтому стоит сначала остановиться на определениях.

Для усвоения физики важно, чтобы ученики сознательно и правильно употребляли термины.

Итак, ***Разность потенциалов*** - это величина, равная разности между потенциалом начальной точки $\mathbf{T_1}$ - φ_1, и потенциалом конечной точки $\mathbf{T_2}$ - φ_2.

$$\mathbf{U_{1-2}} = \varphi_1 - \varphi_2 \qquad (1),$$

Изменение потенциала или ***приращение потенциала*** при переходе из точки $\mathbf{T_1}$ в $\mathbf{T_2}$ $\Delta\varphi_{\mathbf{1-2}}$ по определению равно разности между потенциалом конечной точки и начальной **:**

$$\Delta\varphi_{\mathbf{1-2}} = \varphi_2 - \varphi_1$$

(Индексы внизу указывают направление перехода $\Delta\varphi_{\mathbf{1-2}}$; $\Delta\varphi_{\mathbf{A-B}}$; $\mathbf{U_{1-2}}$) и позволяют избежать ошибок в знаке при вычислении работы).

Следует обратить внимание учащихся на то, какую работу необходимо вычислить - работу поля или внешних сил по перемещению заряда из $\mathbf{T_1}$ в $\mathbf{T_2}$ или из $\mathbf{T_2}$ в $\mathbf{T_1}$.

Нечеткость (1 стр.118,2 стр.200) приводят к недопониманию, к путанице и к дальнейшим ошибкам.

Учащийся должен четко знать, что ***работа поля*** по перемещению заряда из точки (1) в точку (2) определяется выражением***:***

$$\overset{\text{поля}}{\mathbf{A_{1-2}}} = \mathbf{q}(\varphi_1 - \varphi_2) = \mathbf{qU_{1-2}} \qquad (2),$$

а ***работа внешних сил:***

$$A_{1-2}^{\text{внш.сил}} = q(\varphi_2 - \varphi_1) = q\,\Delta\varphi_{1-2} \qquad (3),$$

Как и положено $A_{1-2}^{\text{поля}} = -A_{1-2}^{\text{внш.сил}}$ (4),

(разумеется, это при условии, что кинетические энергии зарядов в начальный и конечный момент времени равны.)

Обилие индексов, которые, на первый взгляд, усложняют запись, на самом деле облегчают решение и заставляют учащегося осмыслить физическую сущность задачи.

Учащийся должен четко знать , что в формулах (2) - (4) заряд берется со своим знаком, т.е. если, например, в условии сказано , что заряд отрицательный и равен $3*10^{-8}$ Кл, то учащийся в данных записывает $q = -3*10^{-8}$ Кл., и именно это значение со знаком "-" подставляет в формулу при расчете.

1.Определение понятий разность потенциалов и напряжение.

Разность потенциалов между точками (1) и (2) определяется выражением

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1-2}^{\text{поля}}}{q} \qquad (5),$$

Здесь нужно обратить внимание учащихся на то, что такое определение можно ввести только потому, что электростатическое поле относится к классу консервативных (потенциальных) полей, так как работа поля по перемещению заряда не зависит от формы траектории.

Поэтому $U_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2$ также не зависит от траектории при переходе из T_1 в T_2. И, так как $A_{1-2} \sim q$, то $\varphi_1 - \varphi_2$ не зависит от q (ни от его величины, ни от его знака). Поэтому φ зависит от координат и является характеристикой поля. Определяется с точностью до произвольной постоянной.

2. Электродвижущая сила.

На участке 1-2 кроме электростатических сил работу по перемещению заряда могут совершать и другие силы, например, магнитные, механические, химические.

Эти силы называют сторонними и их наличие говорит о том, что на участке цепи есть источники тока. Эти источники могут быть распределены как непрерывно в пространстве, например, в случае, когда виток проводника находится в изменяющимся магнитном поле, так и локализованы - гальванический элемент, аккумулятор, динамомашина.

Энергетической характеристикой этих сил на участке цепи является Э.Д.С. По определению:

$$E_{1-2} = \frac{A_{1-2}^{\text{стор.}}}{q} \qquad (6),$$

Так как, $\mathbf{A_{1-2}} \sim \mathbf{q}$, то $\mathcal{E}_{1-2}$ не зависит от величины перемещенного заряда.

Особо следует обратить внимание на то, что сторонние силы не консервативные, поэтому $\mathcal{E}_{1-2}$ зависит от ***формы траектории*** и не является функцией координат (положение точек $\mathbf{T_1}$ и $\mathbf{T_2}$). Например, для цепи (рис.1)

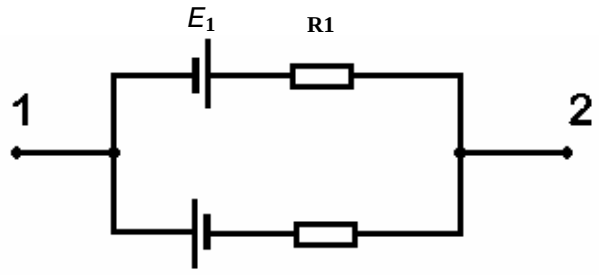


рис. 1

$\mathbf{U_{1-2}} = \varphi_1 - \varphi_2$ не зависит от траектории, а

$$\mathcal{E}_{1-R1-2} \neq \mathcal{E}_{1-R2-2} \qquad (7),$$

хотя $$\mathbf{U}_{1-R1-2} = \mathbf{U}_{1-R2-2} \qquad (8).$$

3. Напряжение на участке цепи.

Напряжение на участке цепи определяется выражением:

$$u_{1-2} = \frac{\mathbf{A}^{\text{тока}}_{1-2}}{\mathbf{q}} \qquad (9),$$

Под $\mathbf{A}^{\text{тока}}_{1-2}$ имеется в виду полная работа, совершенная электрическим током при перемещении заряда **q** из точки $\mathbf{T_1}$ в точку $\mathbf{T_2}$ по данной конкретной траектории (участку цепи). Эта работа складывается из работы поля и работы сторонних сил:

$$\mathbf{A}^{\text{тока}}_{1-2} = \mathbf{A}^{\text{поля}}_{1-2} + \mathbf{A}^{\text{стор.}}_{1-2} \qquad (10).$$

Следовательно, так как $\mathbf{A}^{\text{тока}}_{1-2} \sim \mathbf{q}$,то u_{1-2} не зависит от **q,** но зависит от формы траектории (способа перехода из $\mathbf{T_1}$ в $\mathbf{T_2}$)

Используя (5),(6),(9) и (10), легко получить следующее выражение:

$$u_{1-2} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{1-2} \qquad (11)$$

Это выражение должно стать для учащихся определяющим для понимания связи между напряжением u_{1-2}, разностью потенциалов $\mathbf{U_{1-2}} = \varphi_1 - \varphi_2$ и Э.Д.С. - $\mathcal{E}_{1-2}$.

Преподавателю нужно уделить достаточное внимание этому выражению и его физической сути.

Выражение (11) имеет универсальный смысл: оно справедливо как для электростатических полей (электростатика), так и для электрических цепей (электродинамика).

а) В электростатике при наличии только электростатического поля - $\mathcal{E}_{1-2} = 0$ и

$$u_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2 = \mathbf{U_{1-2}} \qquad (12)$$

Напряжение и разность потенциалов равны друг другу.

б) На однородных участках электрических цепей, где отсутствуют сторонние силы $E_{1-2} = 0$ и (см. рис. 2)

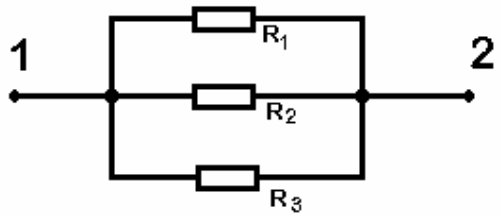


рис. 2

$$u_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2 = u_{1-R1-2} = u_{1-R2-2} = u_{1-R3-2} \qquad (13)$$

Напряжение равно разности потенциалов.

Выражение (13) обычно трактуется как закон параллельного соединения:

при параллельном соединении напряжения на всех участках равны.

Учителю следует быть осторожным с этим высказыванием, т.к. оно справедливо только для однородных участков.

в) Неоднородные участки.

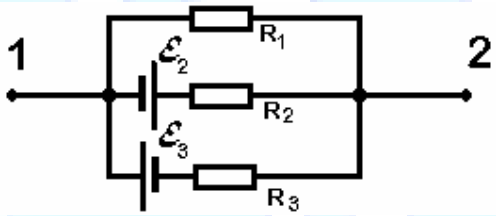


рис. 3

На рис.3 изображены три параллельных участка. Участок R_1 - однородный, а R_2 и R_3 - неоднородные.

Учащиеся должны твердо усвоить, что напряжения на этих участках разные. Действительно, из (11)

$$\begin{aligned} u_{1-R1-2} &= \varphi_1 - \varphi_2 + E_{1-R1-2} = \varphi_1 - \varphi_2 \\ u_{1-R2-2} &= \varphi_1 - \varphi_2 + E_{1-R2-2} = \varphi_1 - \varphi_2 + E_2 \\ u_{1-R3-2} &= \varphi_1 - \varphi_2 + E_{1-R3-2} = \varphi_1 - \varphi_2 - E_3 \end{aligned} \qquad (14)$$

$E_{1-R2-2} = E_2 > 0$, т.к. в направлении 1-2 сторонние силы E_2, совершают положительную работу.

$E_{1-R3-2} = -E_3 < 0$, т.к. на этом участке сторонние силы E_3, совершают отрицательную работу.

Учащийся должен просто запомнить, что если при “движении сквозь источник” происходит переход от “-” к “+” (потенциал повышается), то $u_{1-2} > 0$, и $E_{1-2} < 0$, если от “+” к “-”.

Из (14) необходимо сделать выводы:

1. В общем случае понятие ***напряжение*** и ***разность потенциалов*** не совпадают.

2.Напряжение отличается от разности потенциалов на величину $\pm E$

3. $\boldsymbol{u_{1-2}} = \varphi_1 - \varphi_2 = \mathbf{U_{1-2}}$ только для однородных участков цепи или в электростатическом поле. Тогда траектория движения от точки T_1 в точку T_2 может быть любой.

4. $E_{1-2} = \pm E$. Знак зависит от расположения источника тока.

5. Напряжение между точками 1 - 2 зависит от траектории перехода из 1 в 2.

6. Напряжения при параллельном соединении участков цепи, в общем случае, не равны друг другу. Равенство $\boldsymbol{u_1} = \boldsymbol{u_2} = \boldsymbol{u_3}$ будет только в случае однородных участков.

7.Разность потенциалов на концах участков при параллельном соединении всегда равны друг другу.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \mathbf{U_1} = \mathbf{U_2} = \mathbf{U_3}.$$

4.Измерение напряжения с помощью вольтметра.

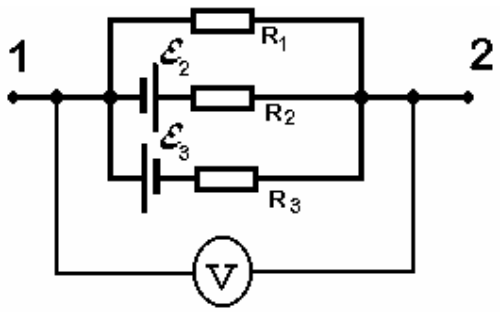


рис.4.

Вольтметр подключается между двумя точками T_1 и T_2.

Что показывает вольтметр?

Ответ на этот вопрос, как показывает опыт, даже многих физиков ставит в тупик.

Электротехники, обычно, отвечают неправильно.

Преподаватель физики должен, исходя из вышеизложенного, четко объяснить детям, что:

1. Как бы ни был подключен вольтметр, он всегда показывает напряжение на участке цепи: точка T_1 - вольтметр - точка T_2, т.е. на самом себе. Так как этот участок цепи однородный, то вольтметр всегда показывает разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = \mathbf{U_{1-2}}$ между точками, к которым он подключен.

2. Если к точкам T_1 и T_2 подключены другие участки (вольтметр подключен параллельно) (см. рис.4), то он показывает разность потенциалов на этих участках и только.

3. Если какой-то из этих участков однородный, то

$\mathbf{U_{1-2}} = \boldsymbol{u_{1-2}}$ и вольтметр показывает напряжение на этом участке (Участок цепи 1-R_1-2)

4. Напряжение же на неоднородном участке, нужно определять либо как $\boldsymbol{u_{1-2}} = \varphi_1 - \varphi_2 \pm E$, либо как падение напряжения

$\mathbf{IR} = \boldsymbol{u_{1-2}}$.

Полезно обсудить с учащимися работу схемы

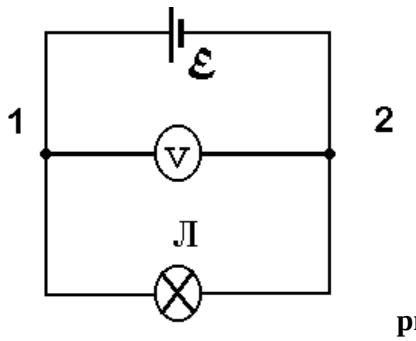


рис. 5

и ответить на вопросы:

1. Что показывает вольтметр?
2. Измеряет ли он внутреннее напряжение источника тока?
3. Как определить $u_{внутр.}$?

Изложение закона Ома в курсе физики средней школы.

На мой взгляд, изложение закона Ома в школьном курсе страдает расплывчатостью и непоследовательностью. Сказанное относится к закону Ома для неоднородного участка цепи и для замкнутой цепи. Следует излагать закон Ома, только после введения понятий u_{1-2}; E_{1-2}; U_{1-2} (см. вышеизложенное), и делать это необходимо единым блоком: ***Закон Ома*** ⇨ ***Закон Ома для однородной цепи*** ⇨ ***Закон Ома для неоднородной цепи*** ⇨ ***Закон Ома для замкнутой цепи.*** В физических классах после этого следует переход к законам Кирхгофа.

Как показал опыт преподавания, только в этом случае можно избежать многих неясностей и заблуждений в этих вопросах.

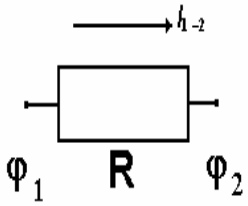
Изложение Закона Ома следует начинать с общей формулировки закона.

$$I_{1-2} = \frac{u_{1-2}}{R_{1-2}} \qquad (15)$$

1 - R_{1-2} - 2 - участок цепи с сопротивлением R_{1-2}.

Этот участок может быть как однородным, так и неоднородным, то есть содержать или не содержать E .

1. Закон Ома для однородного участка цепи.



$E_{1-2} = 0$, $u_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2$ и закон Ома (15) принимает вид:

$$I_{1-2} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_{1-2}} \qquad (16)$$

2. Закон Ома для неоднородного участка цепи.

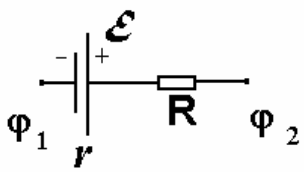


рис а)

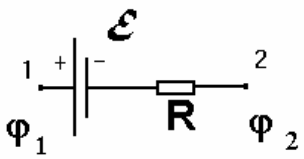


рис б)

$$u_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2 + E_{1-2}$$

$$R_{1-2} = r + R$$

$$I_{1-2} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_{1-2}}{r + R} \qquad (17)$$

а) $E_{1-2} = +E$ ***б)*** $E_{1-2} = -E$

3. Закон Ома для замкнутой цепи.

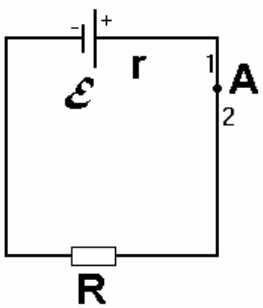


рис.в)

Этот случай сводится к общему выбором точек “начало” - 1 и “конец” - 2 участка цепи. В данном случае они совпадают, например, в точке **А**. Тогда $\varphi_1 = \varphi_2$ и за направление **I** удобно взять направление от “+” к “-” во внешней цепи, тогда $E_{1-2} = E$, а (15) принимает вид закона Ома для замкнутой цепи.

$$I_{1-2} = \frac{E_{1-2}}{R_{1-2}} \qquad (18)$$

Выводы: Рассматриваемый подход к изучению понятий: напряжение, Э.Д.С., разность потенциалов с последующим изложением закона Ома позволяет с единых позиций преподать этот материал школьникам, исключает путаницу понятий, помогает ученику получить цельное, ясное представление об этом важнейшем разделе электричества.

Учителю позволяет компактно и ясно изложить закон Ома для всех видов цепей.

Литература:

1. Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. Учебник физики. 10-й класс.
2. Б.М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. М. “Наука”, 1989 г.
3. Ю. А. Селезнев. Основы элементарной физики. М. “Наука”, 1974 г.