

Использование сравнительно-сопоставительной таблицы при формировании и обобщении понятия поля в школьном курсе физики

¹Сортыяков Евгений Дмитриевич (sed98@yandex.ru),

²Лукиянова Ирина Владимировна (luk2058@yandex.ru)

¹ – МАОУ Видновская гимназия, г. Видное, Московская область,

² - ШО №2 ГБОУ СОШ №113, г. Москва, ЧУ СОШ «XXI век»,
г. Москва

Ранее, в работе [1], нами были выделены и кратко сформулированы основные этапы обобщения понятий силовых характеристик полей и силовых линий на примерах гравитационного, электростатического и магнитного полей.

Цель такого обобщения – поэтапное построение и формирование сравнительно-сопоставительной таблицы для силовых физических полей: гравитационного, электростатического и магнитного. На основе построенной таблицы, элементы которой представлены частично в таблицах 1-4, обучающиеся самостоятельно сформулировали определения силовой характеристики поля и его силовой линии.

В данной работе рассматривается расширение и возможности использования данной таблицы для дальнейшего формирования понятия поля, в частности, вихревого электрического поля на уроках физики в 11 классе средней школы.

Основные этапы

I. Выделение источника поля (причина появления поля)

Таблица 1

Физическое поле	Источник поля	Параметр источника поля
Гравитационное	Физическое тело	Масса M
Электростатическое	Физическое тело, обладающее электрическим зарядом Q	Электрический заряд Q
Магнитное	Физическое тело, обладающее магнитными свойствами (постоянный магнит)	-
	Физическое тело, в котором создан электрический ток (проводник длиной l в котором создан электрический ток силой I) – опыт Эрстеда	Элемент тока \vec{l}
	Движущееся со скоростью \vec{v} физическое тело, обладающее электрическим зарядом Q	$Q\vec{v}$
Вихревое электрическое	Изменяющийся магнитный поток $\Phi(t)$ – опыты Фарадея	$\Delta\Phi(t)$

II. Определение объекта воздействия поля

Таблица 2

Физическое поле	Объект воздействия поля	Параметр объекта воздействия поля
Гравитационное	Физическое тело	Масса m
Электростатическое	Физическое тело, обладающее электрическим зарядом q_0	Электрический заряд q_0
Магнитное	Физическое тело, обладающее магнитными свойствами (постоянный магнит – магнитная стрелка)	-
	Физическое тело, в котором создан электрический ток (проводник длиной l_0 в котором создан электрический ток силой I_0) – опыт Ампера	Элемент тока $I_0 \vec{l}_0$
	Движущееся со скоростью \vec{v}_0 физическое тело, обладающее электрическим зарядом q_0	$q_0 \vec{v}_0$
Вихревое электрическое	Физическое тело, обладающее электрическим зарядом q_0	Электрический заряд q_0

При этом подчеркиваем, что параметры объектов воздействия должны быть намного меньше, чем параметры источника поля, чтобы их собственные поля (поля объектов воздействия) были значительно слабее по сравнению с исследуемыми полями. Так мы исключаем влияние полей объектов воздействия на исследуемые поля.

III. Определение меры взаимодействия поля и объекта его воздействия

Таблица 3

Физическое поле	Сила (мера взаимодействия)	Величина силы
Гравитационное	Всемирного тяготения (Ньютон)	$F = G \frac{Mm}{r^2}$
Электростатическое	Электрическая (Кулон)	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{Qq_0}{r^2}$
Магнитное	Магнитная (Ампер)	$F = I_0 l_0 B \sin \alpha$
	Магнитная (Лоренц)	$F = q_0 v_0 B \sin \alpha$
Вихревое электрическое	Электрическая (Фарадей, Максвелл)	?

«Сила – это мера взаимодействия».

IV. Определение силовой характеристики поля и единицы её измерения

Таблица 4

Физическое поле	Сила и её направление	Силовая характеристика поля
Гравитационное	Для тела на поверхности планеты массой $M_{пл}$ и радиуса $R_{пл}$ – сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$, где $g = G \frac{M_{пл}}{R_{пл}^2}$, \vec{g} – в центр планеты	Так как $\vec{F} = m\vec{g}$, то $\vec{g} \left[\frac{M}{c^2} \right]$ – ускорение свободного падения
Электростатическое	Для точечных зарядов Q и q_0 сила Кулона $F_{кл} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{Qq_0}{r^2}$ или $\vec{F}_{кл} = q_0\vec{E}$, где $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{Q}{r^2}$, \vec{E} – от положительного заряда Q или к отрицательному $-Q$	Так как $\vec{F}_{кл} = q_0\vec{E}$, то $\vec{E} \left[\frac{B}{m} \right]$ – напряженность электростатического поля
Магнитное	Сила Ампера $F_A = I_0 l_0 B \sin \alpha$, +правило левой руки	*Так как $\vec{F}_A = [I_0 \vec{l}_0 \times \vec{B}]$ и $\vec{F}_л = [q_0 \vec{v}_0 \times \vec{B}]$, то \vec{B} [Тл] – индукция магнитного поля
	Сила Лоренца $F_л = q_0 v_0 B \sin \alpha$, +правило левой руки	
Вихревое электрическое	Для точечного заряда q_0 электрическая сила $\vec{F}_{\dot{y}\ddot{e}} = q_0 \vec{E}^*$, направление \vec{E}^* определяется правилом Ленца, а величина (по аналогии с однородным электростатическим полем $E = \frac{U}{d}$), $E^* = \frac{\epsilon_l}{l}$, где l длина контура, охватывающего площадку в которой произошло изменение магнитного потока	Так как $\vec{F}_{\dot{y}\ddot{e}} = q_0 \vec{E}^*$, то $\vec{E}^* \left[\frac{B}{m} \right]$ – напряженность вихревого электрического поля

*учащиеся профиля знакомы с понятиями скалярного и векторного произведения векторов

V. Самостоятельное формулирование общего определения силовой линии

Анализируя таблицы (1-4), учащиеся самостоятельно формулируют обобщенного определения силовой характеристики (векторной величины)

определяющей силу воздействия поля на объект его влияния) и силовой линии поля. При этом они отмечают:

- силовые линии воображаемы, реально не существуют и служат только для графического изображения в пространстве силового поля;
- силовые линии имеют направление (касательные к ним в любой точке, совпадают по направлению с силовой характеристикой поля);
- чем чаще расположены силовые линии, тем поле сильнее и его силовая характеристика больше по величине.

Силовые линии поля определяют также и его однородность (для однородного поля они изображаются параллельными и на одинаковых расстояниях друг от друга, что отражает постоянство направления и величины силовой характеристики поля).

На этом этапе важно отметить, что, так как в природе существуют «гравитационные» (m), «электрические» заряды (q) двух родов (положительные и отрицательные), то силовые линии этих полей – гравитационного и электростатического – начинаются на зарядах (положительном электрическом) и уходят в бесконечность или приходят из бесконечности и оканчиваются на них (гравитационном и отрицательном электрическом). Так как, в природе нет «магнитных зарядов», а источником вихревого электрического поля является изменяющийся во времени магнитный поток, то силовые линии этих полей нигде не начинаются и нигде не заканчиваются, то есть их силовые линии замкнуты.

VI. Энергетические характеристики полей

Для полного формирования понятия поля необходимо рассмотреть и энергетические характеристики полей. «Энергия - это способность совершить работу».

Для гравитационного поля в школьном курсе физики вводится понятие потенциальной энергии тела массой m в «поле тяжести планеты» находящегося на высоте H от ее поверхности. Изменение этой величины определяет работу гравитационного поля по перемещению объекта воздействия $A_{\text{гравит. пол.}} = mg\Delta H$, ($m = \text{const}$, $g = \text{const}$).

Для электростатического поля вводится понятие напряжения U , которое определяет работу электростатического поля по перемещению объекта воздействия поля - тела с зарядом q_0 , из одной точки поля с потенциалом $\varphi_{\text{нач}}$ в другую точку поля с потенциалом $\varphi_{\text{кон}}$ ($U = \varphi_{\text{н}} - \varphi_{\text{к}}$):
 $A_{\text{элект. пол.}} = q_0 U$.

Как видно, что работа этих полей по замкнутому контуру равна нулю, такие поля называют потенциальными.

В электродинамике школьного курса физики, в 10 классе, для определения работы электрического тока по замкнутому контуру, вводится понятие электродвижущей силы \mathcal{E} (ЭДС). Она определяет работу сторонних сил в источнике питания по перемещению «заряда» $+q_0$ от отрицательного полюса источника питания к положительному полюсу внутри источника (в

частности химических сил в гальваническом элементе, аккумуляторе): $A_{\text{стоп.сил}} = q_0 \mathcal{E}$. Эта работа и равна по величине работе электростатического поля, созданного, например, источником питания во внешней цепи, при перемещении электрического заряда q_0 .

Для вихревого электрического поля в 11 классе так же вводится ЭДС $\mathcal{E}_{\text{индукции}} = \mathcal{E}_i$. Она определяет работу вихревого электрического поля по перемещению положительного заряда q_0 по замкнутому контуру, охватывающего площадку ΔS , в которой и произошло изменение магнитного потока $\Delta \Phi$ за время Δt : $A_{\text{вихр.эл.поля}} = q_0 \mathcal{E}_i$. Величина \mathcal{E}_i была определена Фарадеем как быстрота изменения этого потока и, с учетом правила Ленца, школьникам знакома как закон электромагнитной индукции (ЭМИ) Фарадея: $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta \Phi(t)}{\Delta t}$. Работа вихревого поля по перемещению заряда q_0 по замкнутому контуру уже не равна нулю, поэтому поле не является потенциальным, его называют вихревым и его силовые линии замкнуты.

Работа магнитного поля в школьном курсе физики рассматривается как механическая работа A силы \vec{F} (Ампера или Лоренца) при перемещении \vec{s} объекта воздействия магнитного поля (элемента тока или «электрического» заряда): $A = \vec{F} * \vec{s} = F s \cos \alpha$. Энергетическая характеристика магнитного поля не вводится.

Таблица 5

Физическое поле	Работа поля	Энергетическая характеристика
Гравитационное (потенциальное)	Для тела массой m перемещенного над поверхностью планеты с высоты $H_{\text{нач}}$ на высоту $H_{\text{кон}}$: $A_{\text{гравит}} = mg(H_{\text{нач}} - H_{\text{кон}})$	Потенциальная энергия $W_{\text{пот}} = mgh \quad (gh)$
Электростатическое (потенциальное)	Для точечного заряда q_0 перемещенного из точки с потенциалом $\varphi_{\text{нач}}$ в другую точку поля с потенциалом $\varphi_{\text{кон}}$: $A_{\text{элст п}} = q_0(\varphi_{\text{нач}} - \varphi_{\text{кон}}) = q_0 U$	Потенциальная энергия $W_{\text{пот}} = q_0 \varphi, (\varphi)$ где φ – потенциал поля*, а $U = (\varphi_{\text{н}} - \varphi_{\text{к}})$ – напряжение между двумя точками. *Потенциал поля определяет работу поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки поля в бесконечность и для поля созданного зарядом Q в точке на расстоянии r от него определяется как $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{Q}{r}$

Магнитное (вихревое)	В средней школе рассматривается как механическая работа A силы \vec{F} при перемещении \vec{s} объекта: $A = \vec{F} * \vec{s} == Fs \cos \alpha$	В средней школе не изучается
Вихревое электрическое (вихревое)	Для точечного заряда q_0 по замкнутому контуру $A_{\text{вихр.эл.поля}} = q_0 \mathcal{E}_i$	ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi(t)}{\Delta t}$ - закон ЭМИ (электромагнитной индукции Фарадея)

Необходимо подчеркнуть, что обучающиеся должны усвоить:

- вихревое электрическое поле возникает в любой среде при изменении магнитного потока. Но если контур проводящий, то возникнет индукционный ток, направление которого и определяется правилом Ленца, следствием закона сохранения энергии. Этот ток и является индикатором появления вихревого электрического поля;

- по определению магнитного потока, $\Phi = \vec{B} * \vec{S} = BS \cos \alpha$, причинами появления вихревого электрического поля могут быть: а) изменение индукции магнитного поля (усиление или ослабление поля) $B(t)$; б) изменение площади контура (деформация контура) $S(t)$; в) изменение ориентации контура относительно магнитного поля (поворот контура) $\alpha(t)$.

В качестве методических рекомендаций: фрагмент, приведенный в таблице 5, желательно заполнить обучающимся самостоятельно на уроке в ходе обобщения понятия поля (можно задать названия строк и столбцов таблицы).

Данная методика формирования понятия вихревого электрического поля и обобщения понятия физического силового поля была апробирована авторами на уроках физики в 11 классах: БОУ Республиканского классического лицея Республики Алтай в 2011/12, 2012/13 учебных годах (профили: физмат, естественнонаучный, физмат с углубленным изучением ин.яз.), МАОУ Видновской гимназии г. Видное Московской области (социально-технический профиль), ЧУ СОШ «XXI век» (физмат профиль) г. Москвы и ГБОУ СОШ №113 (ШО №2) г. Москвы в 2013/14 учебном году и дала положительный результат.

Библиографический список:

1. Обобщение понятий силовых характеристик и силовых линий полей в школьном курсе физики [текст] / Сортыяков Е.Д. // Информация и образование: границы коммуникаций INFO'11: сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции / Горно-Алтайск; РИО ГАГУ, 2011. №3. с.315-317.