

§20. Поле точечного заряда. Поле массивной точки

Обсудите в группах и ответьте на вопросы:

1. Что является источником гравитационного и электрического поля?
2. Как обнаруживается наличие гравитационного и электрического поля?
3. Почему к пробнику предъявляется требование точности?
4. Какие еще требования предъявляются к пробнику?
5. Изменится ли сила взаимодействия источника и пробника при перемещении их из одной среды в другую?



§15

§19



Формулируя закон **Кулона**, большинство учебников проявляют удивительное единодушие: «Сила взаимодействия двух точечных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними».

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

или:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Казалось бы, аналогичная ситуация должна быть и в случае закона всемирного тяготения, который имеет похожую форму математической записи (без учета знака):

$$F \sim \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{или:} \quad F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Однако разные авторы расходятся в характеристике условий, при которых можно говорить о точном соблюдении этого закона:

1. Размеры обоих тел должны быть пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между телами (требование точечности массивных тел);
2. Тела должны иметь шарообразную форму и быть однородными (иногда требование однородности заменяют требованием сферически симметричного распределения вещества);
3. Одно из тел должно иметь шарообразную форму и быть значительно больше и массивнее второго тела; второе тело может быть любой формы, но должно находиться вблизи поверхности шара.



Предположите, зачем в учебниках вводится третий случай. Прочитайте и оцените обоснование второго случая:

«Одна замечательная особенность этого закона – обратно пропорциональная зависимость силы тяготения от квадрата расстояния позволяет использовать его и в случае сферически симметричного распределения вещества».



Оцените мнения ребят, выскажите аргументы «за» и «против» каждой точки зрения.

Антон считает, что закон всемирного тяготения справедлив только в первом случае, что необходимо добавить условие неподвижности частиц в вакууме.

Борис считает, что закон всемирного тяготения можно формулировать для любых тел, так как коэффициент пропорциональности G очень мал.

Вера утверждает, что закон **Кулона** также должен допускать аналогичные три случая.

Один точечный заряд закреплен в начале координат, а другой движется к нему из удаленной точки сначала слева, затем справа.

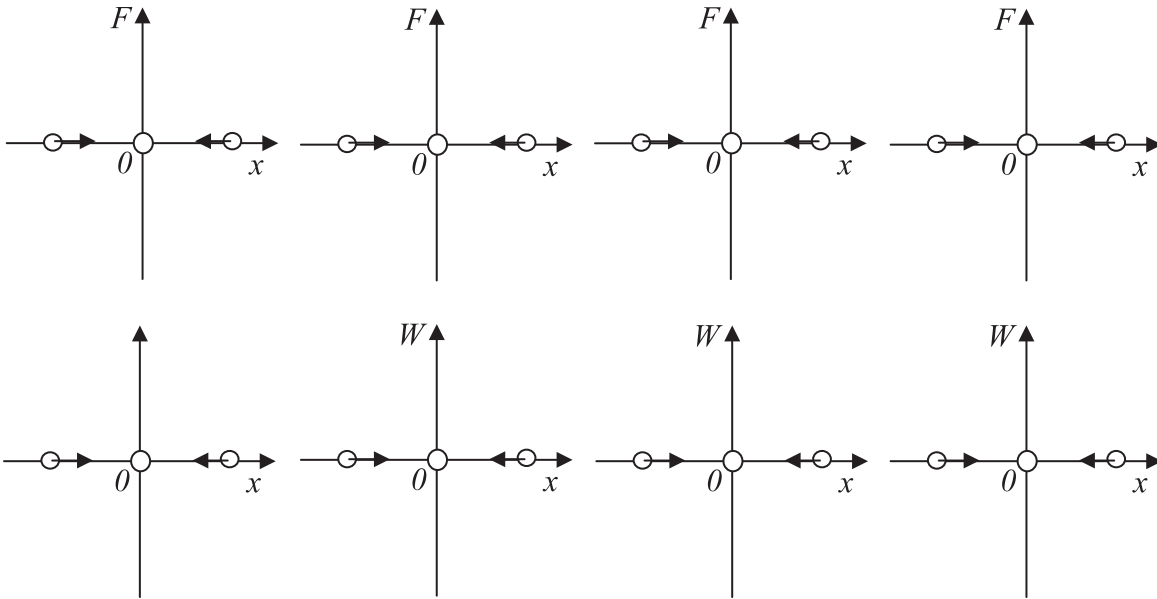


Рассмотрите четыре случая:

- 1) в начале координат положительный заряд, к которому приближается положительный заряд;
- 2) в начале координат положительный заряд, к которому приближается отрицательный заряд;
- 3) в начале координат отрицательный заряд, к которому приближается положительный заряд;
- 4) в начале координат отрицательный заряд, к которому приближается отрицательный заряд.



В соответствии с законом **Кулона** постройте качественно графики зависимости $F(x)$. Предположите примерный ход графика $W_k(x)$ и постройте $W_n(x)$ в предположении, что полная механическая энергия сохраняется (на бесконечности потенциальную энергию взаимодействия удобно принять за 0).



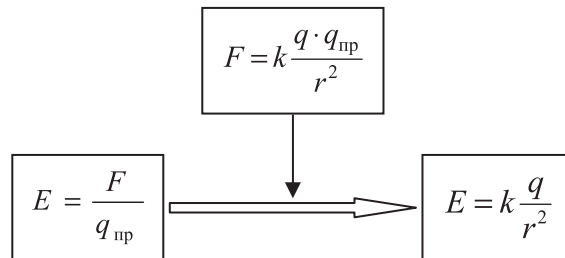
Найдите на графиках (W, x) зоны отталкивания и притяжения. Сравните их с зонами отталкивания и притяжения на графиках (F, x) . При необходимости поупражняйтесь на аналогичных заданиях.



Потенциальную энергию взаимодействия двух точечных зарядов рассчитывают по следующей формуле (принимая без вывода):

$$W_n = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

Найдем формулу, определяющую силовую характеристику электрического поля – напряженность (q – заряд, создающий поле; $q_{пр}$ – пробный заряд):



Так же как и сила, напряженность – векторная величина. Ее направление совпадает с направлением действия силы на положительный пробный заряд. Напряженность электрического поля измеряется в Н/Кл.

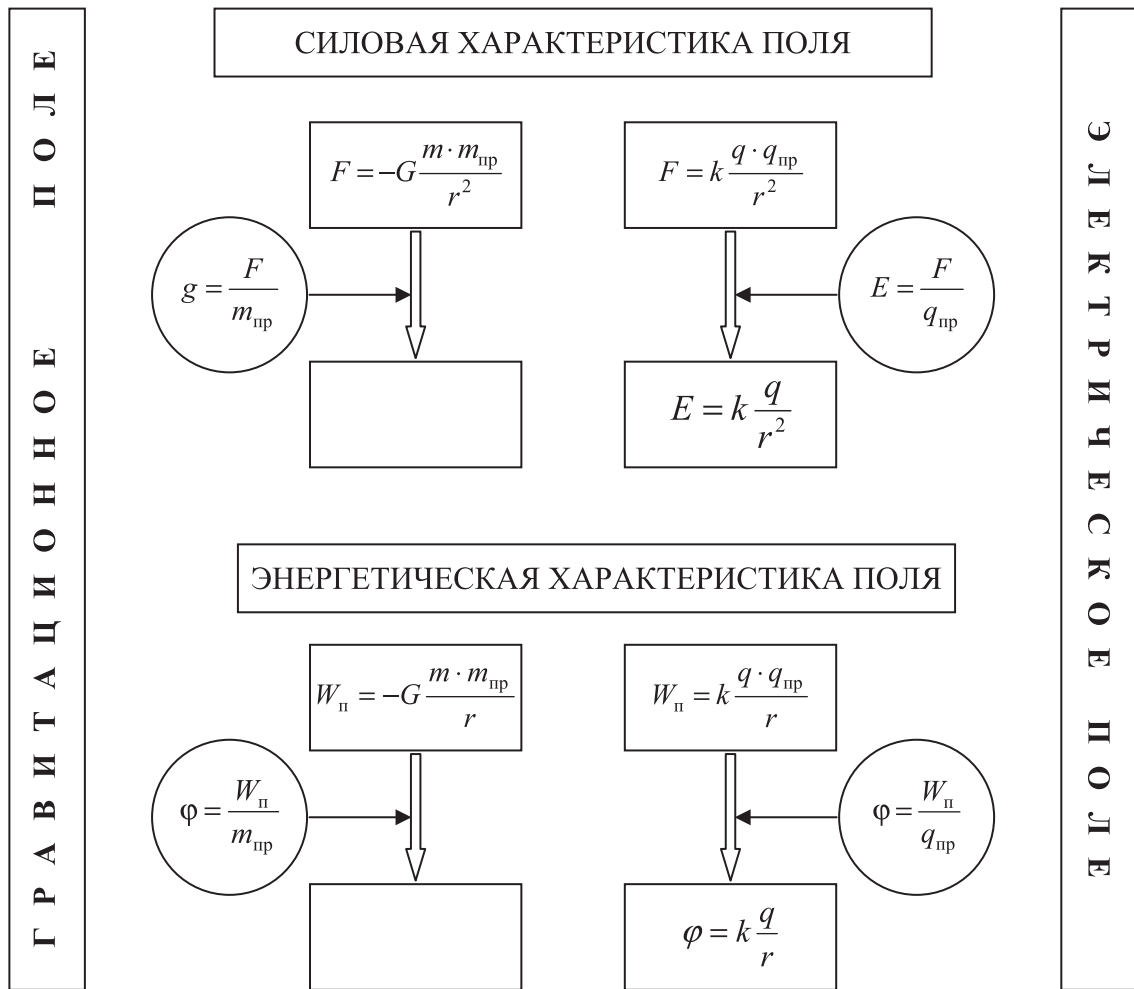
Покажите самостоятельно, что потенциал электрического поля равен: $\varphi = k \frac{q}{r}$. Потенциал измеряется в Дж/Кл. Эта единица получила особое название – ее назвали вольт (именно в этих единицах измеряется напряжение, об этом мы поговорим позднее). И так, $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$. Покажите, что $1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = 1 \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

Вокруг любого массивного тела создается гравитационное поле, однако закон всемирного тяготения справедлив для точечных масс (для тел, размеры которых можно не учитывать). Приблизительно его записывают и для тел шарообразной формы.

Математическая форма записи закона всемирного тяготения и закона **Кулона** очень похожи.



Воспользуйтесь этой аналогией и запишите формулы для напряженности g и потенциала φ гравитационного поля.



Найдем формулы для напряженности и потенциала гравитационного поля Земли. Подставляя в соответствующие уравнения $m = M_3$, получим (без учета знака):

$$g = G \frac{M_3}{r^2} \quad (1); \quad \varphi = G \frac{M_3}{r} \quad (2)$$

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2} \quad (1'); \quad \varphi = G \frac{M_3}{R_3} \quad (2')$$

Из формул (1) и (2) видно, что и силовая, и энергетическая характеристики поля Земли убывают с расстоянием.

Но вот на поверхности Земли ($r = R_3$) они принимают постоянное значение. Подставим в формулы (1') и (2') значения универсальной гравитационной постоянной, массы и радиуса Земли:

$$g \approx \frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6 \cdot 6,4 \cdot 10^6} \approx 9,8 \left(\frac{\text{Н}}{\text{кг}} \right) \quad \varphi \approx \frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6} \approx 6,3 \cdot 10^7 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right)$$

Итак, напряженность гравитационного поля Земли вблизи ее поверхности – это ускорение свободного падения $9,8 \text{ м/с}^2$. А что означает число $6,3 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$? Это та энергия, которую надо сообщить телу массой 1 кг, чтобы удалить из поля притяжения Земли.



Узнайте о второй космической скорости; покажите, что она равна $\sqrt{2\varphi} \approx 11 \text{ (км/с)}$.