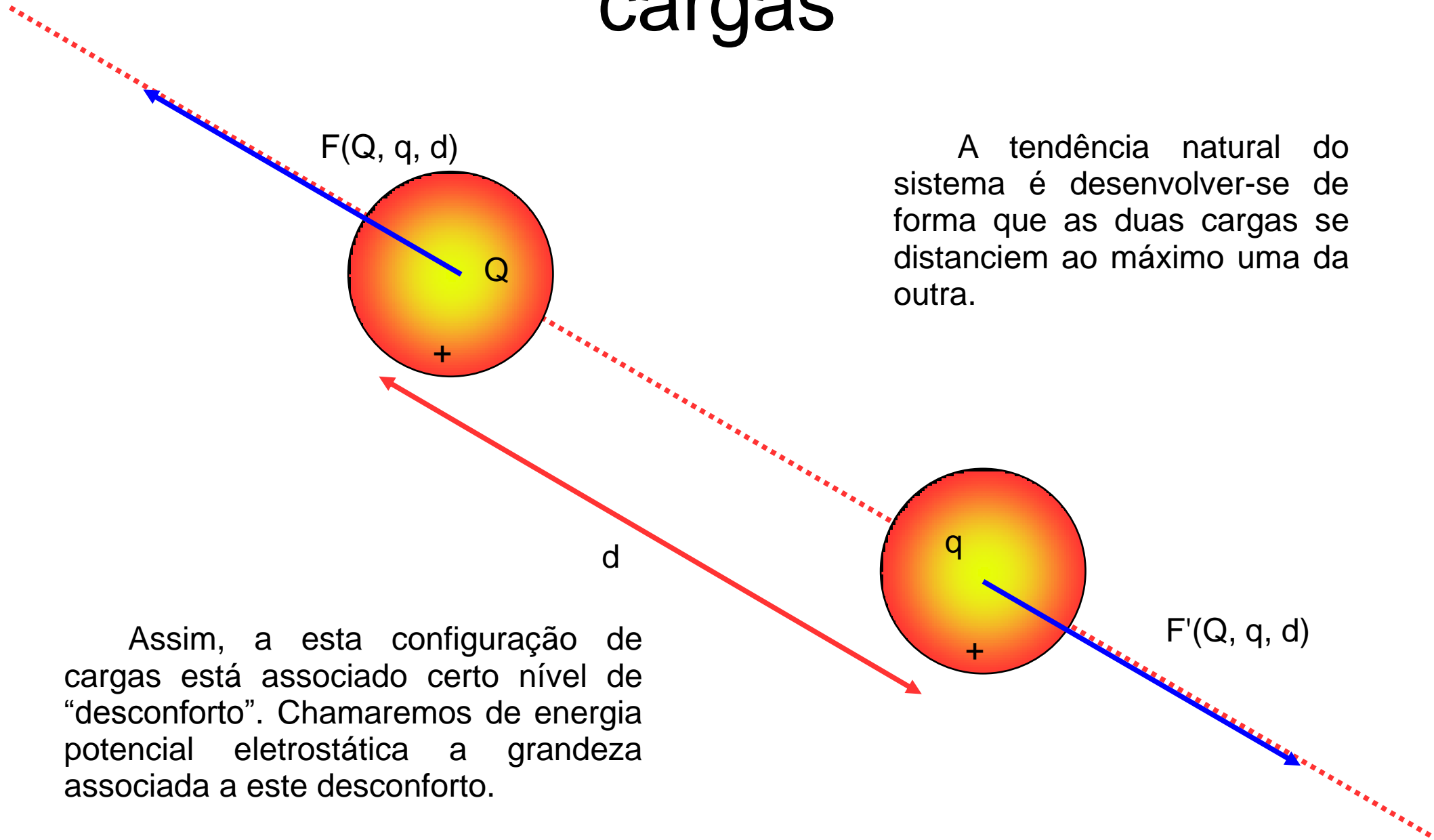


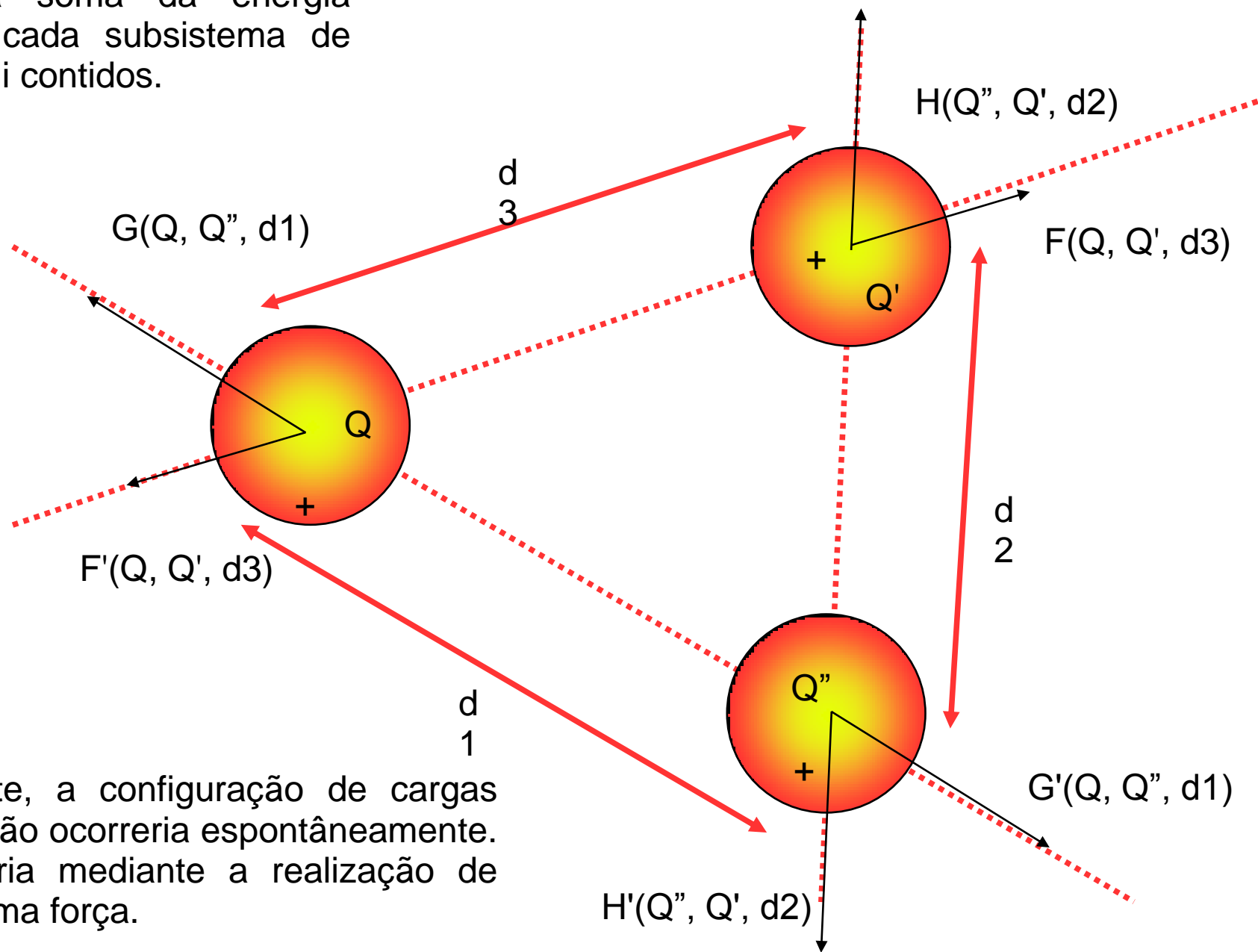
Montagem de uma configuração de cargas



A tendência natural do sistema é desenvolver-se de forma que as duas cargas se distanciem ao máximo uma da outra.

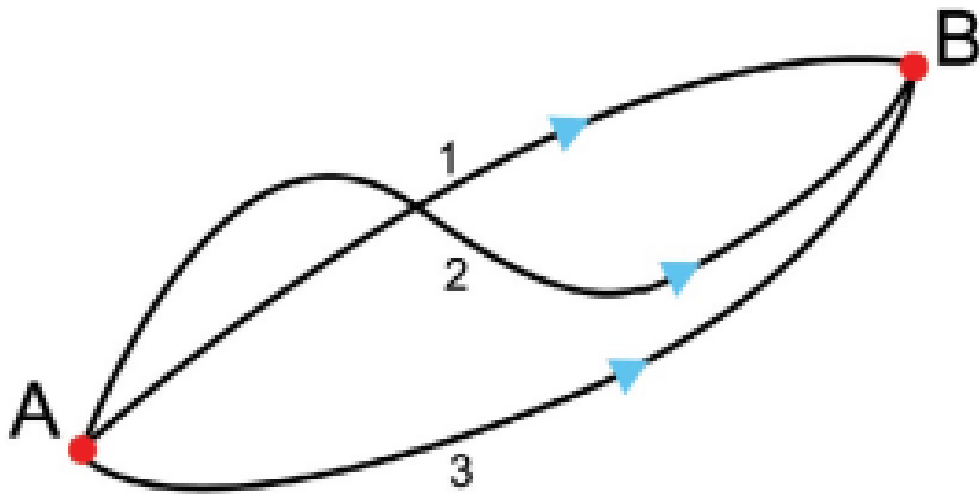
Assim, a esta configuração de cargas está associado certo nível de “desconforto”. Chamaremos de energia potencial eletrostática a grandeza associada a este desconforto.

A energia potencial de um sistema formado por muitas cargas será igual a soma da energia potencial de cada subsistema de duas cargas ali contidos.



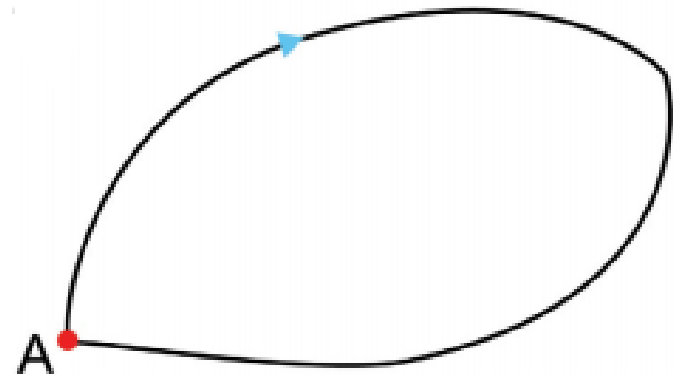
Novamente, a configuração de cargas apresentada não ocorreria espontaneamente. Antes, ocorreria mediante a realização de trabalho por uma força.

Força conservativa e força não conservativa



O trabalho realizado por uma força conservativa que atua em um corpo quando ele se move de A até B independe do caminho de A até B. No caso de forças não conservativas, esse trabalho depende do caminho.

Assim o trabalho realizado por uma força conservativa em um caminho fechado, podemos dizer que $W=0$.



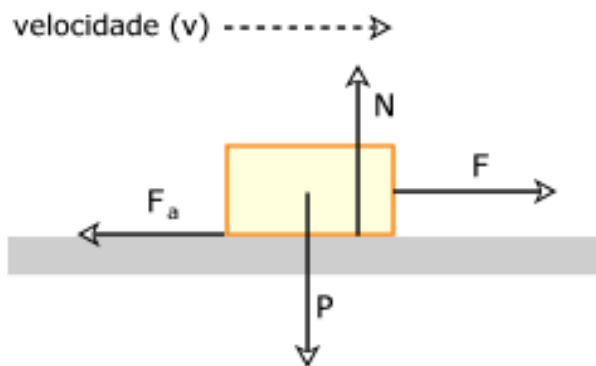
O trabalho realizado por uma força que age sobre uma partícula, ao longo de uma trajetória de A até B, é dado pela integral de linha ao longo desse caminho, ou seja,

$$W_{A \rightarrow B} = U(\vec{r}_A) - U(\vec{r}_B) = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Sendc \vec{F} a força que atua na partícula quando ela está em um trecho infinitesimal do percurso.

Força atrito – força não conservativa

Podemos considerar o deslocamento de um objeto sobre uma superfície horizontal. Ao analisar, podemos concluir que, ao deixarem de realizar trabalho, o sistema não volta à configuração inicial.

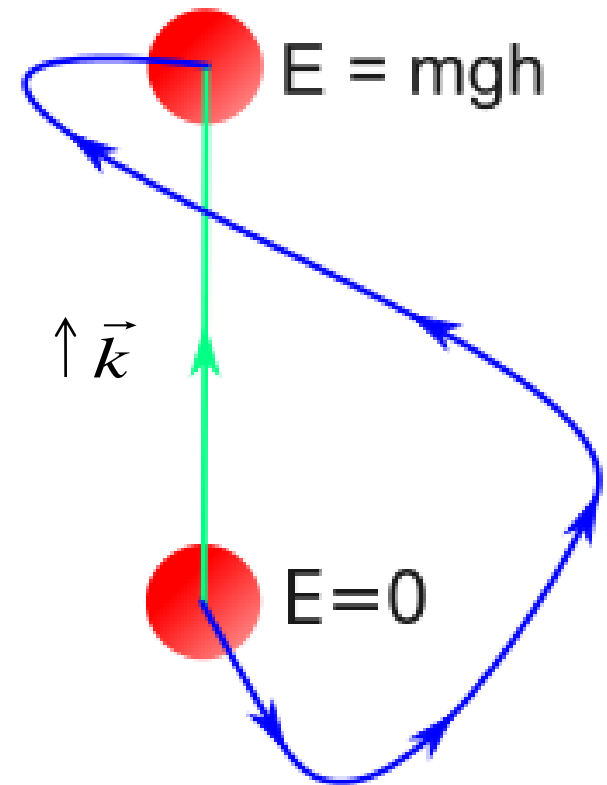


$$\vec{F} = -\mu P \left(\frac{d\vec{l}}{dl} \right)$$

Força peso – força conservativa

O trabalho realizado pela força gravitacional apenas dependerá da posição inicial e final do corpo, qualquer que seja o caminho por ele percorrido.

$$\vec{F} = -P\vec{k}$$



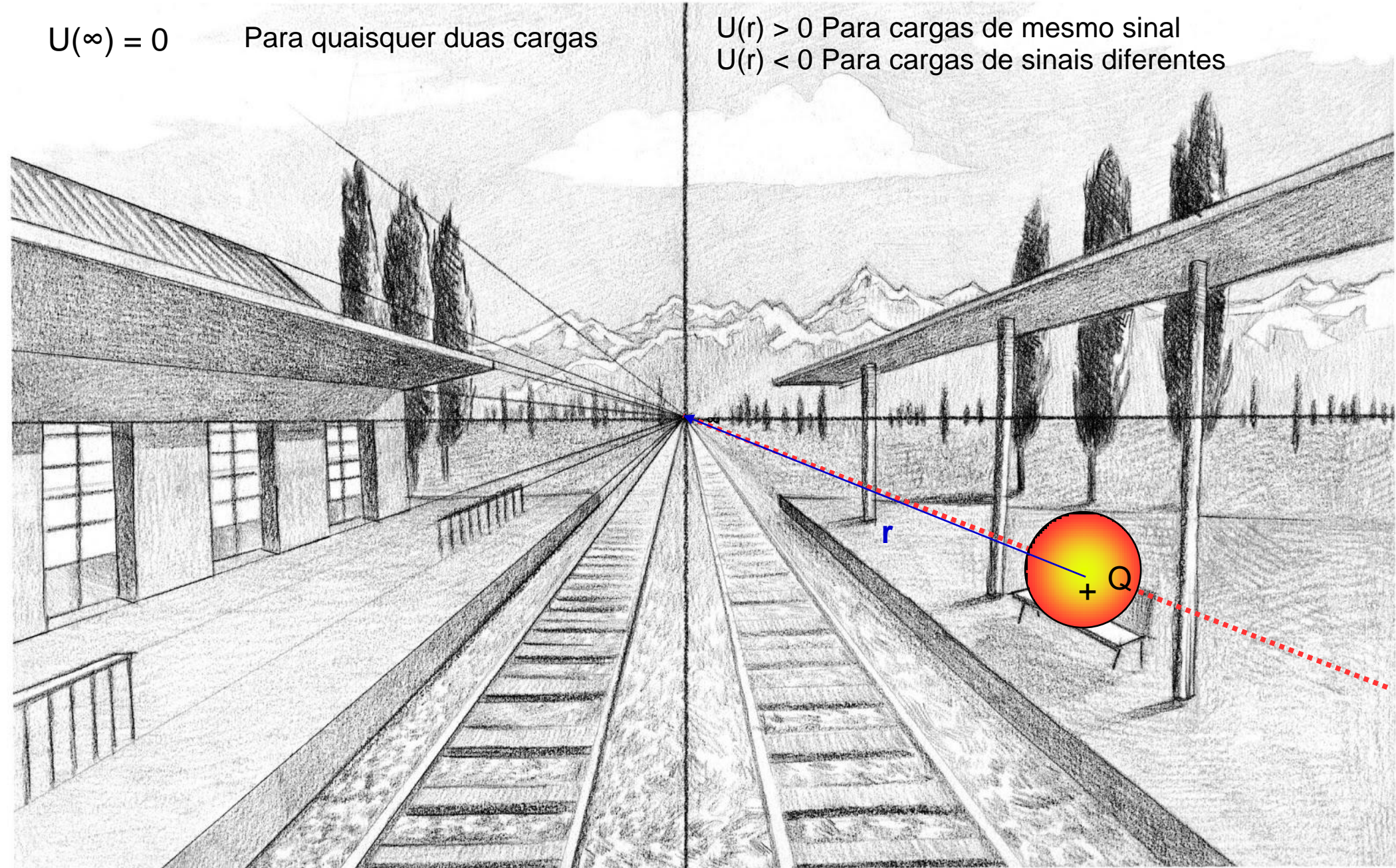
Energia potencial e convenções

$$U(\infty) = 0$$

Para quaisquer duas cargas

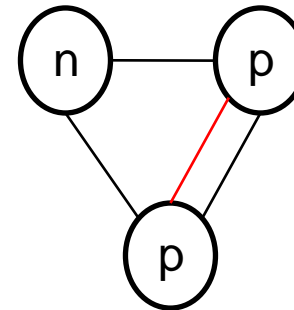
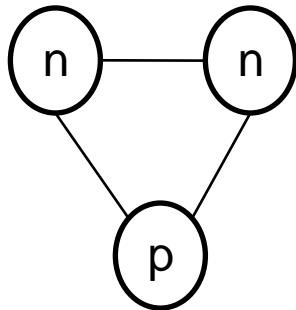
$U(r) > 0$ Para cargas de mesmo sinal

$U(r) < 0$ Para cargas de sinais diferentes



Energia de sistemas carregados

- Exemplos do Trítio e Hélio – 3:



A massa de cada núcleo depende das várias energias contidas em seu interior, logo:

$$M_{\text{trítio}} \cdot c^2 = E + T + W$$

$$M_{\text{hélio-3}} \cdot c^2 = E + T + W + U$$

Onde $E = m \cdot c^2$, T = energia cinética, W = energia potencial, U = energia potencial eletrostática

Linha preta – interações fortes e linha vermelha – interação eletrostática

Supondo que T+W seja o mesmo nos dois casos, podemos eliminá-lo das equações.

Logo, temos,

$$U = (M_{He} - M_{3H} - m_p + m_n) \cdot c^2$$

Substituindo por

$$m_p = 1,672623 \times 10^{-27} \text{ kg}, m_n = 1,674928 \times 10^{-27} \text{ kg}, M_{3H} = 5,007360 \times 10^{-27} \text{ kg}, \\ M_{He} = 5,006416 \times 10^{-27} \text{ kg e } c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{Obtemos } U = 1,224063 \text{ J}$$

Supondo que a distância média que separa os dois prótons seja r, podemos obter a partir de

$$U = \frac{(q_p)^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$r = 0,8 \times 10^{-15} \text{ m}$$

Lei de Faraday: campo elétrico conservativo e não conservativo

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

A integral de linha do campo conservativo em um caminho fechado é nula. Esse campo é conservativo.

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\Phi \frac{\partial B}{\partial t}$$

O campo elétrico que aparece nessa expressão é não conservativo.
(Essa lei será discutida em outra aula)

Potencial e energia potencial

- Considere uma distribuição de cargas qualquer. Existe uma relação muito simples entre o potencial associado à esta distribuição e a energia potencial de um sistema formado por essa distribuição e uma carga Q situada no ponto $P(x, y, z)$:

$$U(x, y, z) = Q.V(x, y, z)$$

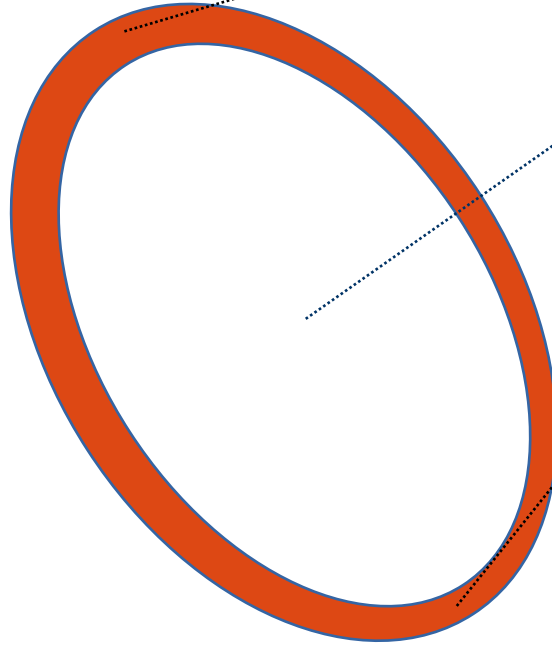
- Se no espaço vazio há uma carga puntiforme, nesse espaço há campo elétrico e potencial elétrico. Não há força e não há energia potencial elétrica.
 - Se no espaço houver um conjunto de cargas, haverá forças entre elas e o sistema terá energia potencial elétrica.
- **Cuidado! A energia potencial não é atribuída à carga Q , em evidência na equação, mas ao sistema formado pela carga Q e a distribuição de cargas!**

A energia potencial calculada a partir desta análise é a energia do sistema anel – carga Q.

Esta energia não é a total do sistema de cargas, mas é aquela que apresenta maior interesse no estudo do movimento relativo entre anel e carga.

Anel e carga Q

$$dQ / dl = c$$



$$U(x, y, z) = Q \cdot V(x, y, z)$$

Pela simetria do problema podemos afirmar que campo elétrico no eixo do anel uniformemente carregado tem direção de uma reta que passe pelo centro do anel e é perpendicular ao plano do mesmo. A força entre o anel e uma carga colocada nesse eixo também tem direção do campo elétrico pois

$$\vec{F} = Q\vec{E}$$

Atividade 1

Suponha que duas configurações de cargas sejam montadas através dos seguintes procedimentos:

- a) Uma carga positiva Q é fixada em um ponto do espaço e, em seguida, quatro cargas Q' , também positivas, são deslocadas desde o infinito até posições que distam d da carga previamente fixada.
- b) Quatro cargas positivas iguais (Q') são fixadas sobre uma circunferência de raio d e, em seguida, uma carga Q de mesmo sinal é deslocada desde o infinito até o centro da circunferência.

Discuta com seus colegas e responda:

- As montagens *a* e *b* de configurações de cargas possuem a mesma energia potencial eletrostática? Por quê? Discuta a necessidade de novos pressupostos para sustentar esta afirmação.

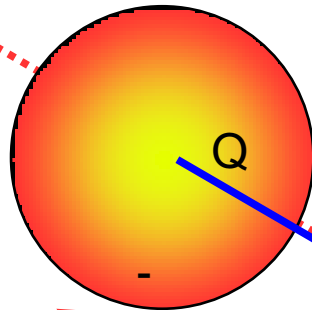
Atividade 2

O que faz um sistema de partículas possuir energia potencial? Por que essa energia tem relação com as posições dessas partículas no espaço?

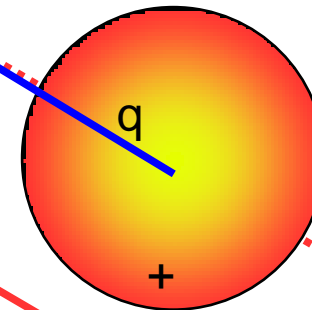
Atividade 3

Adote inicialmente a configuração de cargas abaixo e defina $U(d) = 0$ para quaisquer duas cargas. Através do método utilizado nos casos anteriores estude o sinal da energia potencial e sua relação com os fenômenos de atração e repulsão entre duas cargas. Considere os casos em que as cargas são aproximadas e o caso em que são afastadas.

$F(Q, q, d)$



d pequeno



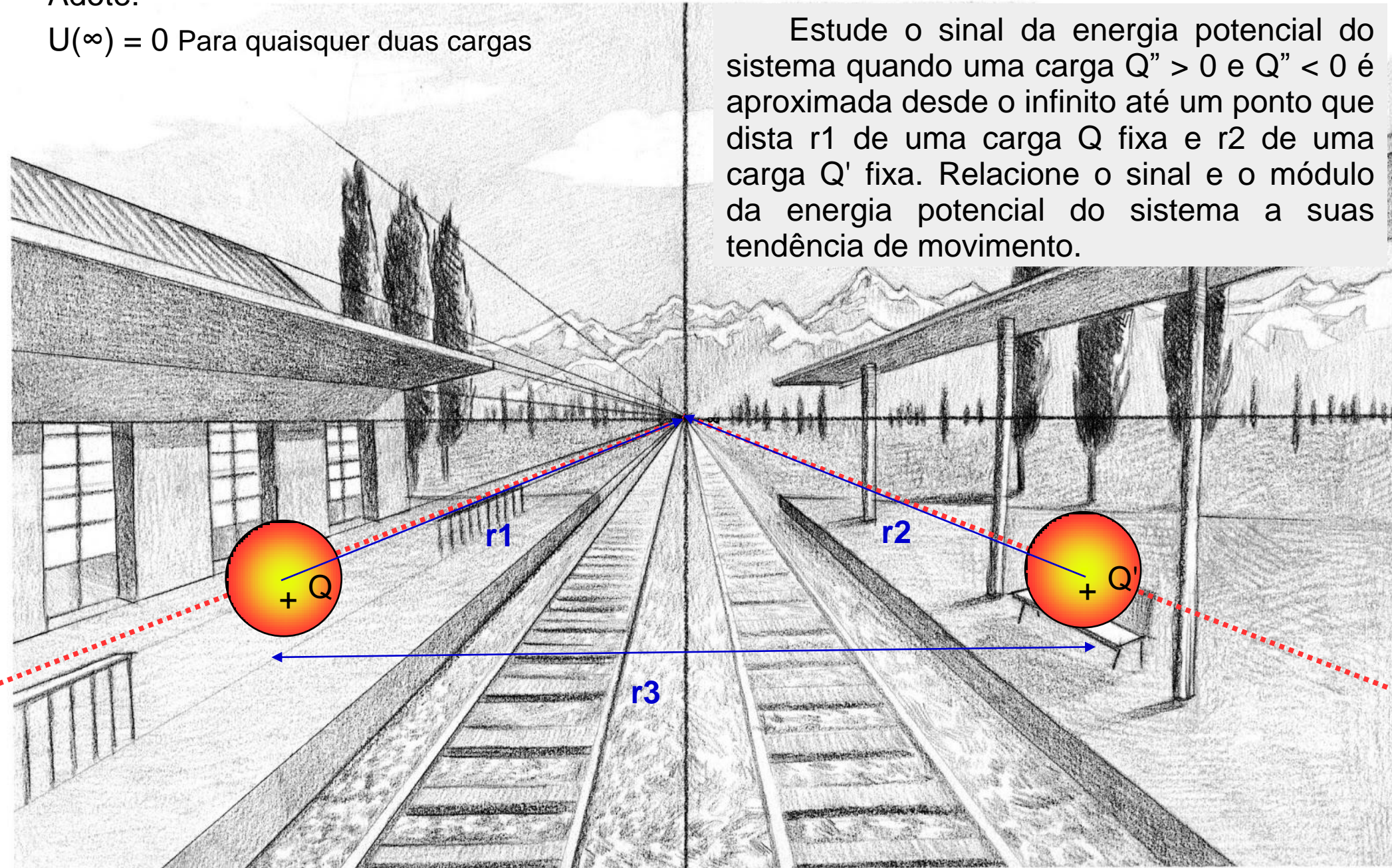
$F'(Q, q, d)$

Atividade 4

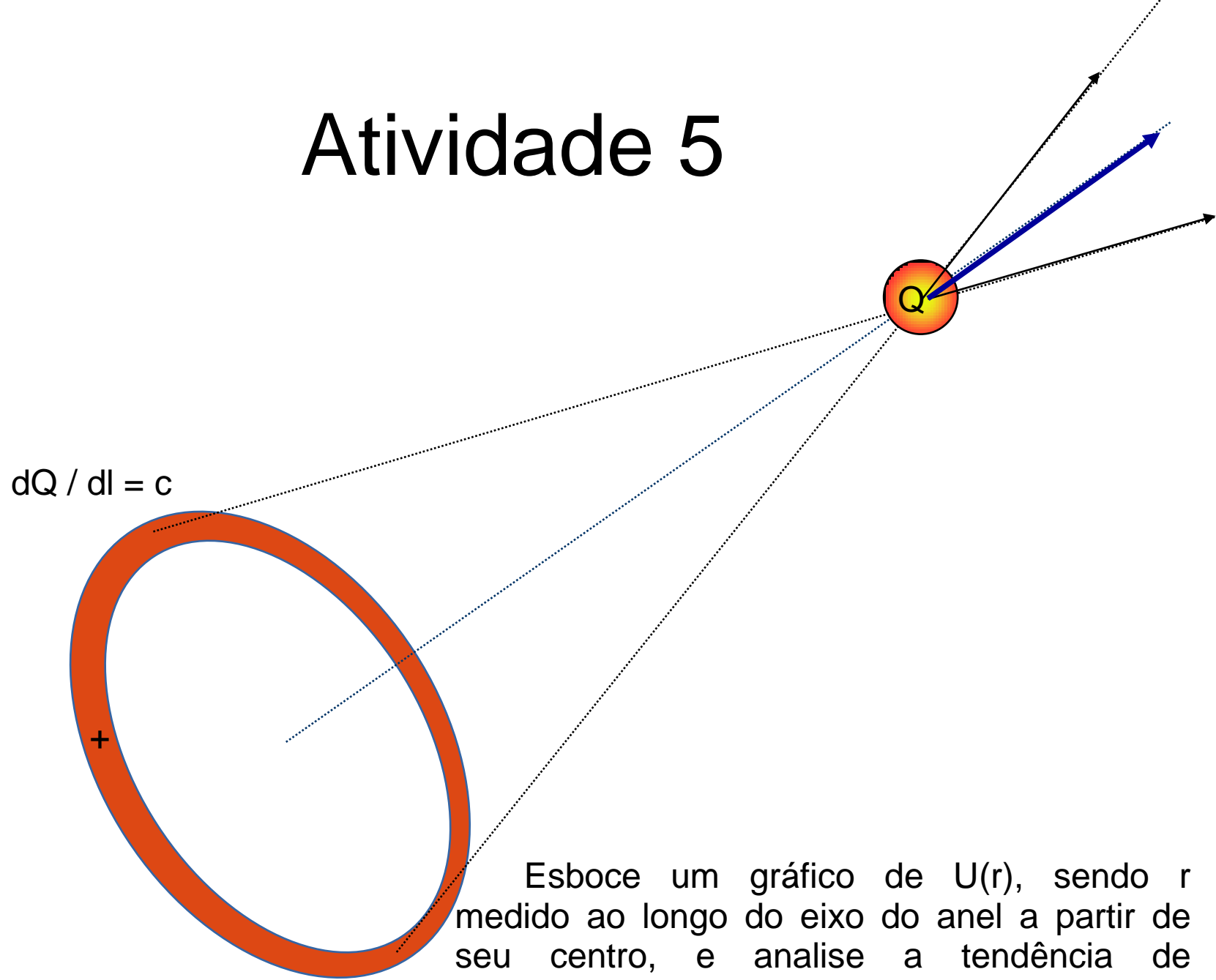
Adote:

$U(\infty) = 0$ Para quaisquer duas cargas

Estude o sinal da energia potencial do sistema quando uma carga $Q'' > 0$ e $Q'' < 0$ é aproximada desde o infinito até um ponto que dista r_1 de uma carga Q fixa e r_2 de uma carga Q' fixa. Relacione o sinal e o módulo da energia potencial do sistema a suas tendências de movimento.



Atividade 5



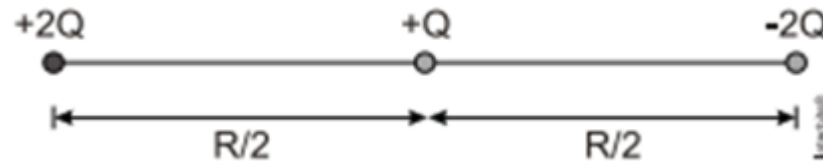
Esboce um gráfico de $U(r)$, sendo r medido ao longo do eixo do anel a partir de seu centro, e analise a tendência de movimento do sistema anel – carga Q para $Q > 0$ e $Q < 0$, considerando o anel uniformemente carregado com carga positiva e fixo no espaço.

Atividade 6

(Espcex (Aman)) Duas esferas metálicas de R_A e R_B , com $R_A < R_B$, estão no vácuo e isoladas eletricamente uma da outra. Cada uma é eletrizada com uma mesma quantidade de carga positiva. Posteriormente, as esferas são interligadas por meio de um fio condutor de capacitância desprezível e, após atingir o equilíbrio eletrostático, a esfera A possuirá uma carga Q_A e um potencial V_A , e a esfera B uma carga Q_B e um potencial V_B . Baseado nas informações anteriores, o que podemos dizer a respeito dos potenciais e cargas de A e B?

Atividade 7

(Ufrgs) Considere que U é a energia potencial elétrica de duas partículas com cargas $+2Q$ e $-2Q$ fixas a uma distância R uma da outra. Uma nova partícula de carga $+Q$ é agregada a este sistema entre as duas partículas iniciais, conforme representado na figura a seguir.



Qual será a energia potencial elétrica desta nova configuração do sistema?