

3^a

Série

Física

**MATERIAL
DIGITAL**

Força elétrica vs gravidade: o padrão do inverso do quadrado

**1º bimestre
Aula 03**

**Ensino
Médio**

Secretaria da
Educação



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

Conteúdos

- Lei de Coulomb e comparação da força elétrica em diferentes meios.

Objetivos

- Descrever a Lei de Coulomb e sua fórmula;
- Comparar forças elétricas em diferentes meios;
- Calcular a força entre cargas pontuais.

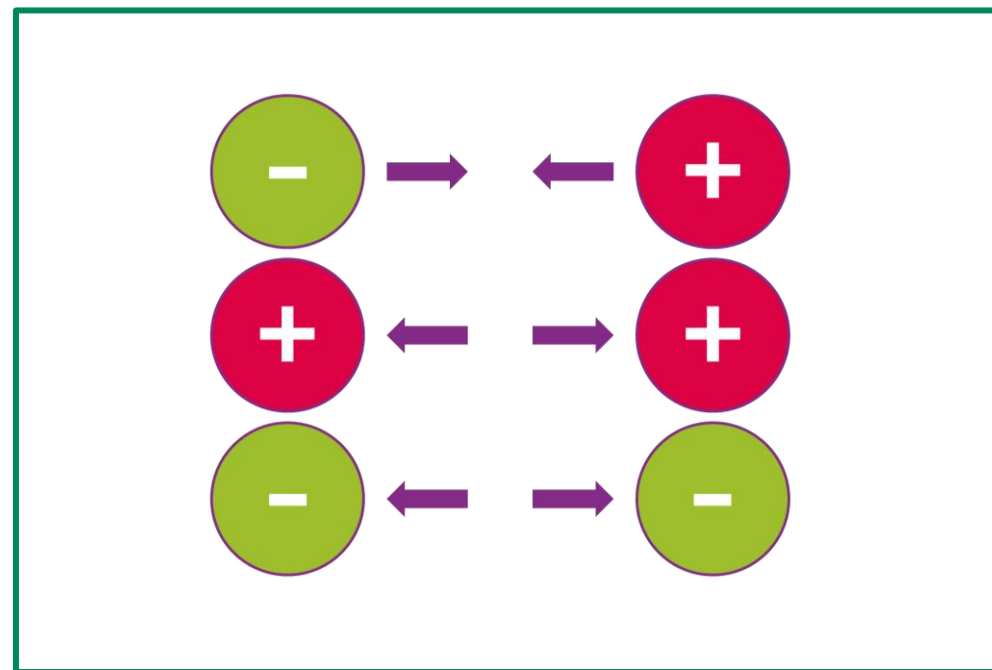


Nas aulas anteriores, analisamos o princípio fundamental da atração e repulsão das cargas elétricas, que estabelece que cargas de mesmo sinal se repelem, enquanto cargas de sinais opostos se atraem.

Essa interação ocorre por meio de uma força eletrostática que as cargas exercem umas sobre as outras, mesmo quando separadas por uma certa distância.

Formem duplas e discutam com seu colega:

Imagine duas cargas elétricas que se repelem. Se você aumentar gradualmente a distância entre elas, o que acontecerá com a força de repulsão?



Produzido pela SEDUC-SP.



A Lei da Gravitação Universal de Newton, formulada no século XVII, afirma que todos os objetos com massa se atraem mutuamente com uma força descrita pela equação:

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

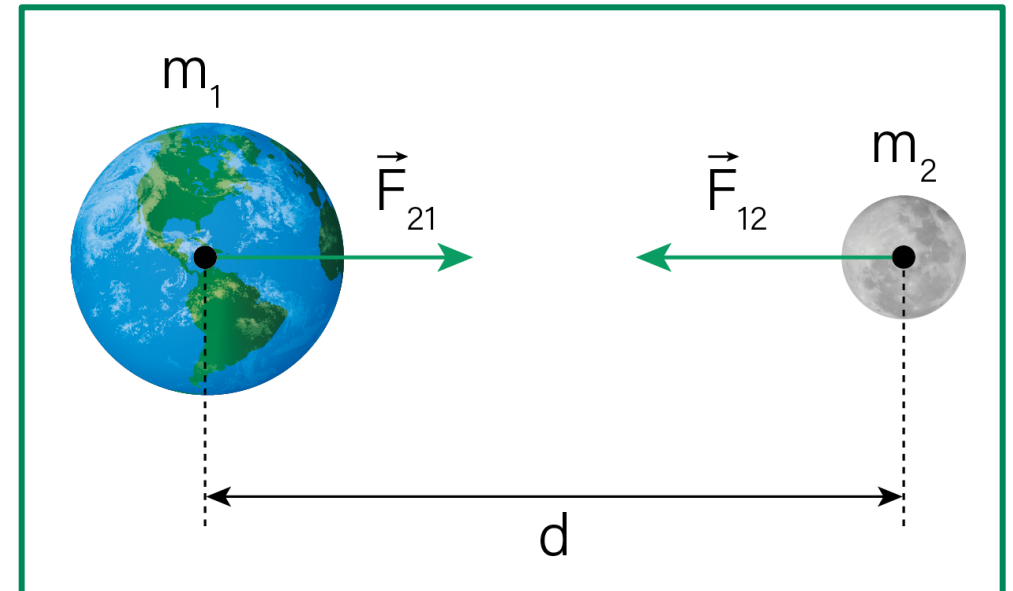
Onde:

F_g é a força gravitacional exercida entre os corpos;

G é a constante da gravitação universal;

m_1 e m_2 são as massas dos corpos; e

d é a distância entre esses corpos.

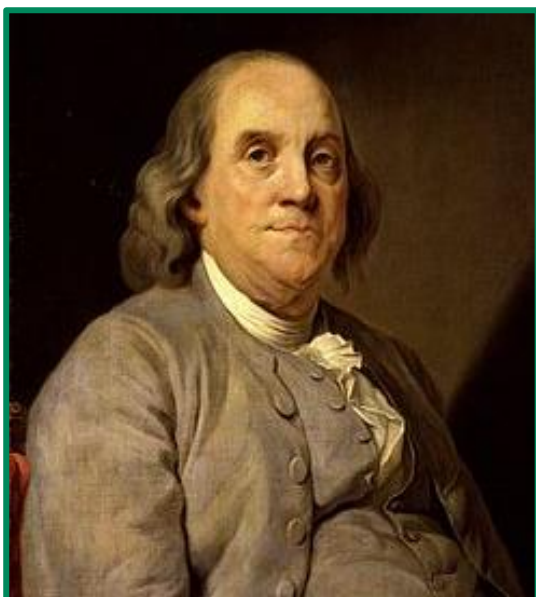


SANTOS, C. A. A. dos. Gravitação Universal de Newton. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Bahia, 11 fev. 2014. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/a-gravitao-universal-de-newton/31077423#1>. Acesso em: 7 ago. 2025.

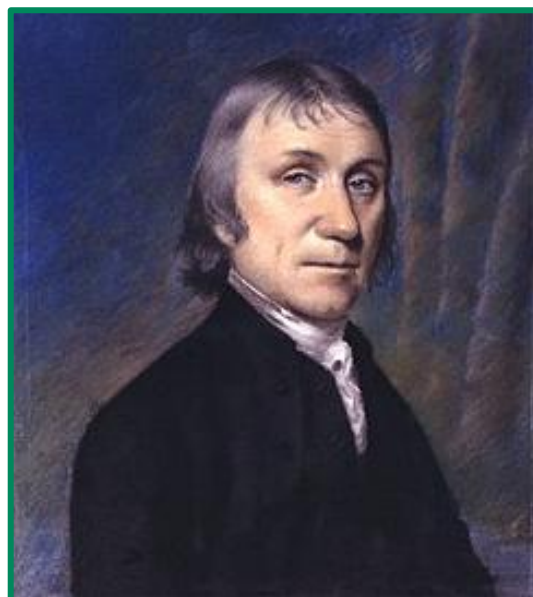
Explique como a força gravitacional atua entre os corpos.

Foco no conteúdo

No final do século XVIII, cientistas como Benjamin Franklin (1706-1790), Joseph Priestley (1733-1804) e Henry Cavendish (1731-1810) descobriram que a força entre corpos eletrizados segue um padrão **semelhante à Lei da Gravitação Universal de Newton**, sugerindo que a força elétrica também pode ser quantificada e estudada de forma sistemática.



Benjamin Franklin. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin. Acesso em: 10 jul. 2025.



Joseph Priestley. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Joseph_Priestley. Acesso em: 10 jul. 2025.



Henry Cavendish. Disponível em: https://www.explicatorium.com/biografias/henry-cavendish.html#google_vignette. Acesso em: 10 jul. 2025.

Continuando os estudos desses cientistas, o físico francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) realizou experimentos precisos entre 1785 e 1789, determinando como a força elétrica atua entre duas cargas.

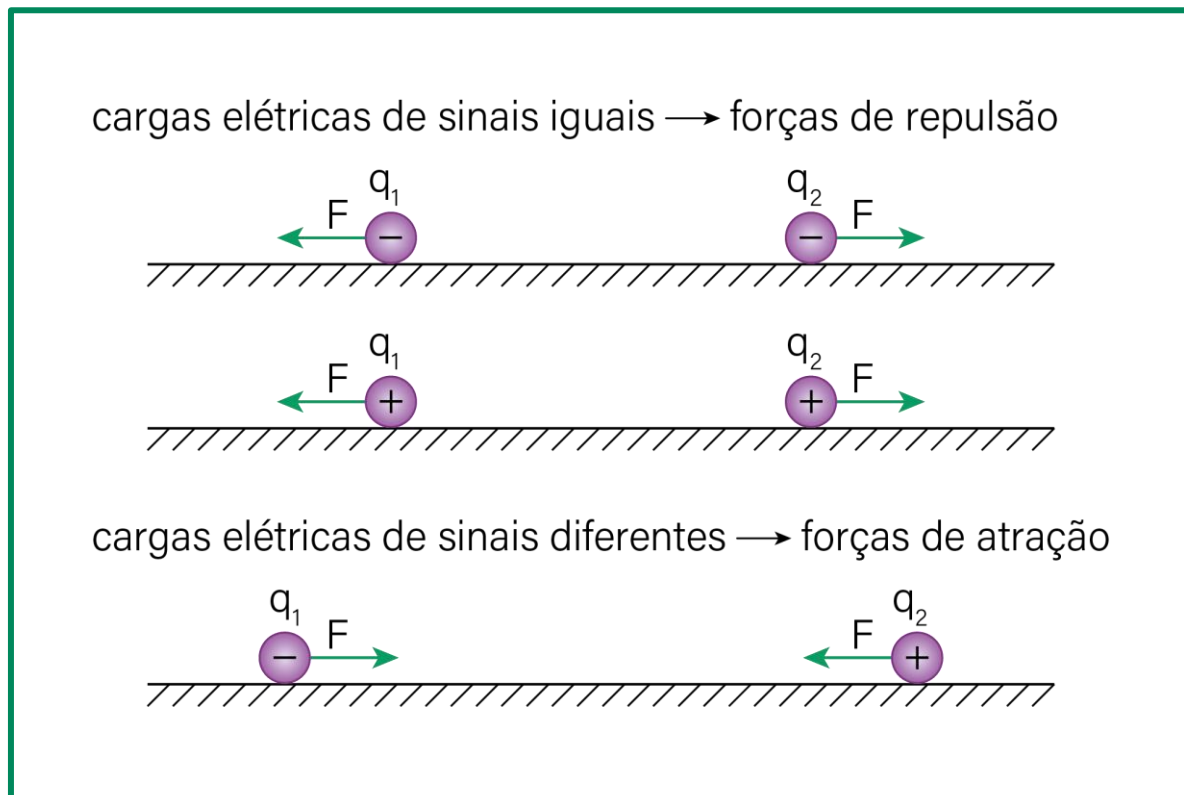


Charles Augustin de Coulomb. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Charles_Augustin_de_Coulomb. Acesso em: 11 jul. 2025.

Lei de Coulomb

A força elétrica entre duas cargas pontuais atua ao longo da linha reta que as conecta e seu sentido será de atração para duas cargas de sinais diferentes e repulsão para duas cargas de mesmo sinal.

Sua intensidade é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.



Produzido pela SEDUC-SP.

Lei de Coulomb

A Lei de Coulomb pode ser mais facilmente entendida quando usamos uma fórmula matemática:

$$F_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Onde:

F_e é a força exercida entre as cargas;

k é a constante eletrostática;

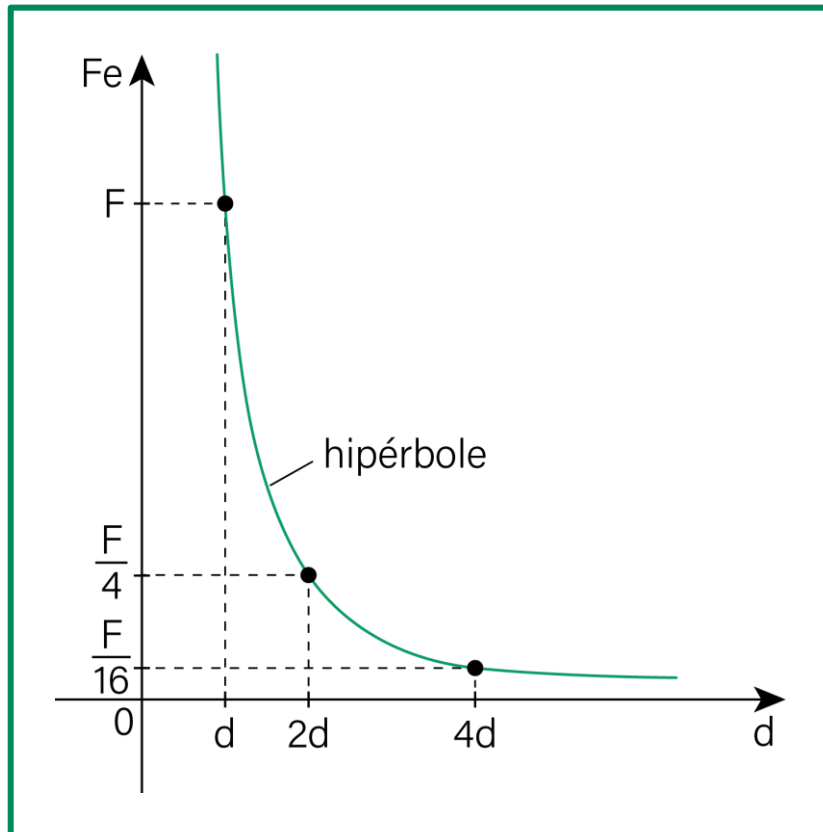
q_1 e q_2 são as cargas elétricas; e

d é a distância entre as cargas.



Gráfico da força elétrica x distância entre as cargas

O gráfico abaixo representa a força elétrica (F_e) em função da distância entre as cargas (d):



SILVA, A. C. da; LIMA, J. da S. G. de; ALMEIDA FILHO, L. A. de. A Natureza Elétrica em Fenômenos Naturais – Eletrostática. IFSP – Cursinho Popular, fev. 2021. Disponível em: <https://cursinhopopular.itp.ifsp.edu.br/site/cursinho/home/materias/eletrostatica.html>. Acesso em: 7 ago. 2025.



Pause e responda

Força elétrica e distância

Duas cargas elétricas idênticas estão separadas por uma distância d e, nessa condição, em cada uma delas atua uma força de intensidade F .

Ao triplicarmos a distância entre as cargas, a nova força que atuará em cada uma delas será:

a mesma.

3 vezes menor.

3 vezes maior.

9 vezes menor.

Continua





Pause e responda

Força elétrica e distância

Quanto maior for a distância entre as cargas, menor será a força entre elas.

Ao triplicarmos a distância, a força diminui 3^2 vezes, ou seja, 9 vezes.



a mesma.

3 vezes menor.



3 vezes maior.

9 vezes menor.



Constante eletrostática (k)

A constante eletrostática k depende do meio material no qual os corpos carregados estão inseridos, e está associada à facilidade ou à dificuldade com que o meio permite a interação entre as cargas elétricas.

Material	Constante eletrostática (k) em $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ (a 20 °C)
Vácuo	$k = 8,99 \cdot 10^9$
Ar	$k = 8,98 \cdot 10^9$
Borracha	$k = 3,00 \cdot 10^9$
Vidro	$k = 1,50 \cdot 10^9$
Etanol	$k = 0,36 \cdot 10^9$
Água	$k = 0,11 \cdot 10^9$



(FAG 2018) Duas partículas de cargas elétricas, $q_1 = 4,0 \cdot 10^{-16} \text{C}$ e $q_2 = 6,0 \cdot 10^{-16} \text{C}$, estão separadas no vácuo por uma distância de $3,0 \cdot 10^{-9} \text{m}$.

A $1,2 \cdot 10^{-5}$

B $1,8 \cdot 10^{-4}$

C $2,0 \cdot 10^{-4}$

D $2,4 \cdot 10^{-4}$

E $3,0 \cdot 10^{-3}$

Sendo $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{N.m}^2/\text{C}^2$, a intensidade da força de interação entre elas, em newtons, é de:



TODO MUNDO ESCREVE



(FAG 2018) Duas partículas de cargas elétricas, $q_1 = 4,0 \cdot 10^{-16} \text{C}$ e $q_2 = 6,0 \cdot 10^{-16} \text{C}$, estão separadas no vácuo por uma distância de $3,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$.

Sendo $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$, a intensidade da força de interação entre elas, em newtons, é de:

- A $1,2 \cdot 10^{-5}$ ✘
- B $1,8 \cdot 10^{-4}$ ✘
- C $2,0 \cdot 10^{-4}$ ✘
- D $2,4 \cdot 10^{-4}$ ✔
- E $3,0 \cdot 10^{-3}$ ✘

Correção

Aplicando a Lei de Coulomb:

$$F_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

$$F_e = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{4,0 \cdot 10^{-16}\text{C} \cdot 6,0 \cdot 10^{-16}\text{C}}{(3,0 \cdot 10^{-9}\text{m})^2}$$

$$F_e = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\cancel{\text{m}^2}/\cancel{\text{C}^2} \cdot \frac{24,0 \cdot 10^{-32}\cancel{\text{C}^2}}{9,0 \cdot 10^{-18}\cancel{\text{m}^2}}$$

$$F_e = \frac{216,0 \cdot 10^{-23}}{9,0 \cdot 10^{-18}} \text{ N} = 24,0 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

$$F_e = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

Aprendemos nesta aula que existem semelhanças entre a Lei de Coulomb e a Lei da Gravitação Universal de Newton:

Lei da Gravitação Universal

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Lei de Coulomb

$$F_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Agora, pense nas diferenças entre essas duas leis e responda:

Qual é a diferença fundamental entre a Lei da Gravitação Universal e a Lei de Coulomb?

Referências

CENTRO UNIVERSITÁRIO-FACULDADE ASSIS GURGACZ (FAG). **Vestibular 2018**, segundo semestre.

GASPAR, A. **Compreendendo a física**: volume 3 – Eletromagnetismo e física moderna. São Paulo: Ática, 2016.

KANTOR, C. *et al.* **Coleção Quanta Física**: 3º ano: Ensino Médio: livro do professor. São Paulo: Editora PD, 2010.

LEMOV, D. **Aula nota 10 3.0**: 63 técnicas para melhorar a gestão da sala de aula. Porto Alegre: Penso, 2023.

ROBORTELLA, J.; AVELINO, A.; OLIVEIRA, E. **Física 7**: Eletrostática. São Paulo: Ática, 1987.

ROSENSHINE, B. **Principles of instruction**: research-based strategies that all teachers should know. *American Educator*, v. 36, n.1, Washington, 2012. pp.12-19. Disponível em: <https://www.aft.org/ae/spring2012>. Acesso em: 29 ago. 2024.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação. **Currículo Paulista**: etapa Ensino Médio, 2020.

TIPLER, P. **Física para cientistas e engenheiros**: volume 3 – Eletricidade e magnetismo. Rio de Janeiro: Moderna, 1995.

Para professores

Slide 2

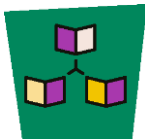


Habilidade: (EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem à sustentabilidade.

Slide 3



Tempo: 5 minutos



Dinâmica de condução: nessa atividade, relembra-se o princípio da atração e repulsão de cargas elétricas (estudado na aula 1) e, com base nele, introduz-se a ideia de que, para que haja atração ou repulsão, deve haver necessariamente uma força atuando. É importante ressaltar aqui que essa força é uma ação que se dá à distância, sem que as cargas tenham contato entre si. A partir dessa introdução, os estudantes se agrupam em duplas e discutem de que forma a distância entre as cargas afeta a força que estas cargas aplicam uma na outra.

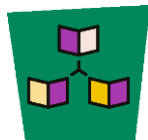


Expectativas de respostas: espera-se que os estudantes, de forma intuitiva, respondam que a força diminuirá conforme as cargas se afastam.

Slide 4



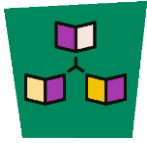
Tempo: 5 minutos



Dinâmica de condução: o objetivo desse slide é relembrar a Lei da Gravitação Universal de Newton, estudada na 1ª série do Ensino Médio. A equação é apresentada e um estudante voluntário é convidado a explicá-la com suas próprias palavras para a turma. O professor avalia a clareza e a coerência da resposta e, se necessário, solicita complementação de outro estudante para garantir a compreensão do conceito.



Expectativas de respostas: espera-se que o aluno expresse a ideia de que a Lei da Gravitação Universal de Newton afirma que dois corpos se atraem com forças cuja intensidade depende diretamente de suas massas e inversamente da distância ao quadrado que há entre eles.

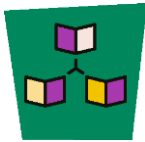


Dinâmica de condução: é de fundamental importância ressaltar, durante a exposição desse slide, que a Lei de Coulomb nos diz que a força elétrica entre as cargas depende da distância que as separa. Quanto mais próximas as cargas estiverem, maior será a força elétrica entre elas. E quanto mais distantes, menor será essa força.

Mas essa não é uma relação simples. A força elétrica diminui muito rapidamente à medida que a distância aumenta. Isso acontece porque a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Em outras palavras, dobrando-se a distância entre as cargas, a força elétrica será quatro vezes menor.

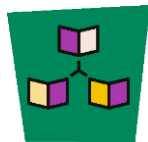
Por outro lado, a equação mostra que a força elétrica é diretamente proporcional às cargas, ou seja, quanto maior for a carga, maior será a força de interação elétrica.

Convém informar aos estudantes, nesse momento, que o significado da constante eletrostática k será discutido com mais profundidade no decorrer desta aula.



Dinâmica de condução: essa é uma pergunta estratégica para verificar se os estudantes entenderam que a intensidade da força elétrica diminui com o quadrado da distância. Nesta atividade, convém ficar atento para verificar se os estudantes realmente entenderam essa ideia.

Caso eles respondam a alternativa de que a força será 3 vezes menor (ao invés de 9 vezes menor), isso significa que eles entenderam que a força diminui com a distância, porém, ainda não entenderam que o fator de variação da força elétrica em relação à distância entre as cargas é quadrático e não linear. Nesse caso, é preciso retomar essa ideia com os estudantes.



Dinâmica de condução: ao apresentar a tabela, o professor pode discutir o efeito do meio na intensidade da interação entre cargas, ressaltando que a interação entre duas cargas elétricas (ou seja, a força elétrica) é a maior possível no vácuo, dado que, de acordo com a Lei de Coulomb, a força elétrica é diretamente proporcional a k . Em qualquer outro meio, o valor da força elétrica será menor, devido à influência do meio.

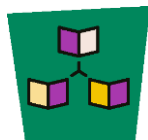
Vale ressaltar aqui que os valores da constante eletrostática k no vácuo e no ar são muito próximos. Geralmente, para a resolução de problemas didáticos, aproxima-se esse valor para $9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$.



Aprofundamento: a constante eletrostática do meio é fundamental para entendermos como as cargas elétricas interagem. Se quisermos que as cargas se atraiam ou se repilam fortemente, o vácuo é a melhor opção, pois tem a maior constante eletrostática. Porém, se quisermos reduzir essa interação, como em capacitores, usamos materiais isolantes (dielétricos) com constantes eletrostáticas menores. A escolha do material certo depende do objetivo: maximizar ou minimizar a interação elétrica.



Tempo: 5 minutos



Dinâmica de condução: nessa atividade, os estudantes aplicarão pela primeira vez a Lei de Coulomb para a resolução de um problema numérico.

Trata-se de um problema simples de aplicação direta da fórmula, porém é importante ficar atento ao uso da notação científica, que muitos estudantes podem ter dificuldade em operacionalizar.

Recomenda-se que a resolução seja feita passo a passo, lembrando as propriedades da notação científica.

É importante também chamar a atenção dos estudantes para o trabalho com as unidades de medida.

Ressaltar que a unidade de força no S.I. é o Newton (N) e que é possível obter essa unidade durante a resolução do problema, conforme mostrado no slide.



Tempo: 5 minutos



Dinâmica de condução: a atividade proposta nesse slide visa promover a compreensão e a reflexão sobre o conteúdo estudado na aula. Encoraje os estudantes a refletir sobre as diferenças fundamentais entre a Lei de Coulomb e a Lei da Gravitação Universal de Newton.



Expectativas de respostas: a principal diferença é que a Lei de Coulomb lida com cargas elétricas, enquanto a Lei da Gravitação Universal lida com massas.

Justamente por conta dessa diferença, **a força gravitacional é sempre atrativa** (pois não existem dois sinais de massa), mas **a força elétrica pode ser atrativa ou repulsiva**, dependendo se as cargas têm o mesmo sinal ou sinais opostos.

Para esta aula, é indicado o exercício **03 do bloco de conteúdo sobre Eletrostática**. Por meio desse, pretende-se **retomar os conceitos principais** sobre operacionalização algébrica da Lei de Coulomb.

Esse exercício poderá ser feito em casa, de forma autônoma pelos estudantes, ou você poderá aplicá-lo em sala de aula.

Espera-se que o estudante, após a aula, seja capaz de expressar a Lei de Coulomb de forma algébrica, substituindo corretamente as variáveis na expressão da Força Elétrica, operacionalizando-a adequadamente.



- **Prezados professores,**
- As aulas de 01 a 10 da terceira série estão dedicadas ao estudo da **Eletricidade estática** e correspondem ao **capítulo 17** do livro do PNLD *Moderna Plus – Física* (Torres & Pecê). De modo geral, o conteúdo do livro contempla quase tudo o que está presente em nossas aulas, tanto no material digital quanto no impresso.
- Apenas um ponto merece atenção: no livro do PNLD **não há abordagem dos conceitos ligados ao potencial elétrico, como energia potencial elétrica, diferença de potencial elétrico e trabalho realizado pela força elétrica.** Esses conceitos aparecem nas **aulas 9 e 10** dos nossos materiais.
- Sempre que possível, faça um bom uso do livro didático para apoiar suas aulas.

CAPÍTULO 17

Eletricidade estática



Reprodução proibida. Art. 170 do Código Penal e art. 181 do Decreto de 1968.

DAVID FARLOW/ALAMY/GETTY IMAGES

Raios no município de Pinhais, PR, 2019.

As manifestações elétricas na atmosfera, como raios, relâmpagos e trovões, sempre fascinaram a humanidade. Com seu poder devastador, os raios provocavam temor e destruição. Em praticamente todas as culturas, os raios já foram associados a deuses e vistos como instrumentos de punição destes contra os seres humanos. Os gregos antigos, por exemplo, acreditavam que os raios eram lanças feitas por ciclopes, criaturas míticas de um olho só, e lançadas por Zeus contra os mortais arrogantes e pecadores. Os raios, assim como os relâmpagos e os trovões, começaram a ser realmente entendidos e explicados fisicamente a partir de meados do século XVIII, quando os estudos da Eletricidade se desenvolveram. Hoje entendemos melhor a natureza e a origem dos raios e conseguimos até nos proteger de seus efeitos destrutivos, mas ainda nos maravilhamos com esse formidável espetáculo natural.

Secretaria da
Educação



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO