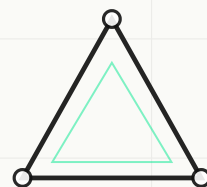
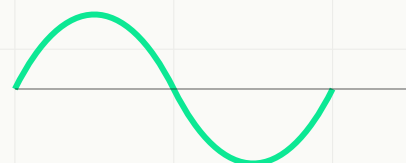
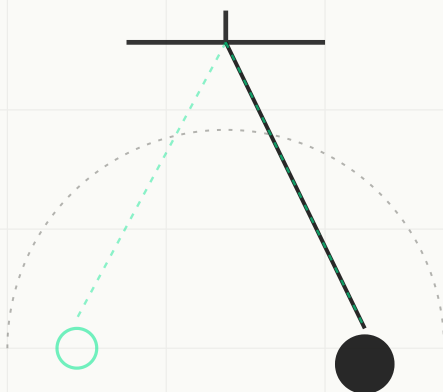
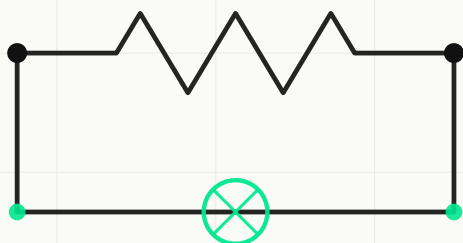


FÍSICA

Seis assuntos com teoria, exercício resolvido e questão para praticar, mais os atalhos que decidem a questão antes de terminar a conta.



O QUE TEM AQUI DENTRO

OS SEIS ASSUNTOS

01	Eletricidade O que acontece dentro do fio quando você aperta o interruptor.	05
02	Termologia Para onde o calor vai quando você não está olhando.	20
03	Ondas e óptica Como som e luz atravessam o mundo sem levar matéria junto.	37
04	Cinemática e dinâmica Como as coisas se movem, e o que faz elas mudarem de ideia.	53
05	Estática, hidrostática e gravitação O que segura as coisas no lugar, e o que acontece quando elas ficam submersas.	69
06	Energia, trabalho e potência A moeda única com que a Física paga todas as contas.	86

PARA CONSULTAR

▪	Como usar esta apostila	03
▪	Mapa de conexões	04
▪	Formulário Todas as fórmulas dos seis assuntos, mais as constantes.	100
▪	Gabarito comentado As 24 questões de praticar, com o raciocínio.	104
▪	Próximos passos	107

COMO USAR ESTA APOSTILA

Cada assunto ocupa dez páginas, sempre na mesma ordem, para você saber onde está sem procurar.

ONDE	O QUE É
Abertura	o que o assunto responde, por que ele cai e as fórmulas dele
Teoria, 3 páginas	o embasamento, com exemplo em cada conceito
Dica do Prof	cinco atalhos e o mnemônico do assunto
Dois resolvidos	passo a passo, com unidade em cada linha de conta
Onde a prova derruba	as quatro pegadinhas, com o erro nomeado
Hora de praticar, 2 páginas	quatro questões oficiais, sem resposta

Como estudar cada assunto

- 01 Leia a abertura e volte nela sempre que se perder
- 02 Estude as três páginas de teoria com papel do lado, refazendo cada exemplo
- 03 Leia a Dica do Prof e copie o mnemônico onde você vai reler
- 04 Resolva os dois exercícios resolvidos **antes** de ler a resolução, e só então compare
- 05 Leia as pegadinhas
- 06 Faça as quatro questões de praticar sem consultar nada
- 07 Confira no gabarito comentado, no fim do material

O PASSO 4 É O QUE SEPARA QUEM APRENDE DE QUEM RECONHECE

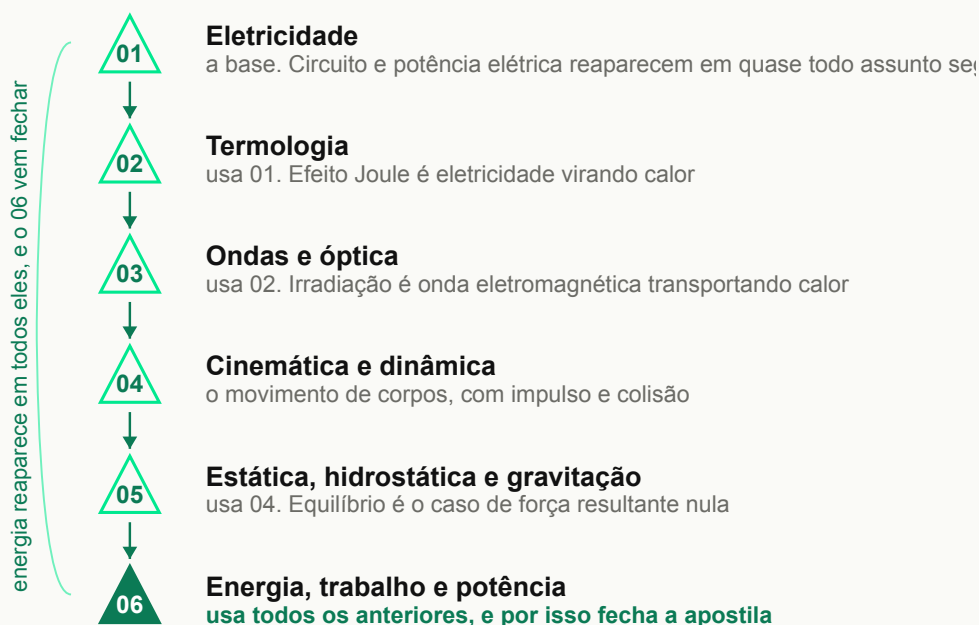
Ler resolução pronta produz a sensação de ter entendido, e ela some na hora da prova. Tente primeiro, erre, e só então compare. O erro que você cometeu aqui é o que você não vai cometer lá.

AS QUESTÕES SÃO REAIS

Todas as 36 vêm de provas oficiais, com prova, ano e caderno identificados. Nenhuma questão anulada entrou no material. E toda linha de conta traz a unidade, o que deixa o texto mais longo e evita o erro que mais custa pontos.

COMO OS SEIS ASSUNTOS SE CONECTAM

A ordem de leitura é a ordem em que um assunto sustenta o seguinte. Energia fecha porque é o assunto que usa todos os outros.



AS DEPENDÊNCIAS QUE NÃO SÃO ENTRE VIZINHOS

- ☐ **02 puxa de 01.** Efeito Joule é eletricidade virando calor
- ☐ **03 puxa de 02.** Irradiação é onda eletromagnética transportando calor
- ☐ **05 puxa de 04.** Equilíbrio é o caso em que a força resultante é zero
- ☐ **06 puxa de todos.** Cada questão dele reencontra um assunto anterior

ELETRICIDADE

01

O que acontece dentro do fio quando você aperta o interruptor.

POR QUE CAI

É o assunto com mais questão de conta fechada da prova de Física. O enunciado quase sempre entrega um aparelho de verdade, uma lâmpada, um LED, uma régua de tomada, um fusível, e pede que você decida se ele funciona, quanto ele consome ou onde ele deve ser ligado. A pergunta é técnica, o cenário é a sua casa.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Série contra paralelo, que separa quem acerta de quem chuta
- ☐ Lei de Ohm e potência elétrica, as duas fórmulas que resolvem a maioria
- ☐ Leitura de etiqueta de aparelho, que é de onde saem os dados
- ☐ Campo elétrico e blindagem, a parte conceitual que cai sem conta
- ☐ Indução eletromagnética, que é como toda a eletricidade é gerada

CIRCUITO E LIGAÇÃO

$$V = R \cdot i$$

liga tensão, resistência e corrente. A base de tudo

$$R_{\text{série}} = R_1 + R_2 + \dots$$

resistências em sequência somam

$$1/R_{\text{paralelo}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$$

resistências em ramos separados somam invertidas

POTÊNCIA E CONSUMO

$$P = V \cdot i$$

potência a partir da etiqueta do aparelho

$$P = R \cdot i^2 \text{ e } P = V^2/R$$

as duas variações, para quando falta um dado

$$E = P \cdot t$$

consumo, em kWh quando P está em kW e t em horas

NA PRÁTICA

Toda etiqueta de eletrodoméstico traz dois números, e com eles você tira o terceiro. Se a etiqueta diz 127 V e 1 100 W, a corrente é aproximadamente 8,7 A, e é isso que decide se o disjuntor aguenta.

Carga, campo e a jaula que protege

Todo corpo tem carga positiva no núcleo e negativa nos elétrons. Em equilíbrio as duas se cancelam e o corpo está neutro. Eletrizar um corpo é desequilibrar essa conta, e o desequilíbrio acontece **sempre pela movimentação de elétrons**, porque o núcleo não sai do lugar em nenhum processo do dia a dia.

Existem três formas de eletrizar. Por **atrito**, quando dois materiais diferentes se esfregam e um arranca elétrons do outro. Por **contato**, quando um corpo já eletrizado encosta em outro e divide o excesso. Por **indução**, quando um corpo eletrizado se aproxima sem encostar e apenas empurra os elétrons do outro para um lado.

Uma régua de plástico esfregada no cabelo arranca elétrons do fio e fica negativa. O cabelo, que perdeu elétrons, fica positivo. Aproxime a régua de pedacinhos de papel neutro e eles sobem, porque a régua empurra os elétrons do papel para o lado oposto e atrai o lado que sobrou positivo. Isso é indução acontecendo na sua mão.

Campo elétrico

Uma carga não precisa encostar em outra para agir sobre ela. Ela modifica o espaço ao redor, e essa modificação se chama campo elétrico. Representamos o campo por linhas que **saem da carga positiva e chegam na negativa**, e a densidade dessas linhas diz onde o campo é mais intenso.

A força entre duas cargas cai com o **quadrado** da distância. Dobre a distância e a força vira um quarto. Triplique e vira um nono. A prova cobra muito mais esse comportamento do que a conta com a constante eletrostática.

Blindagem eletrostática

Coloque um objeto de metal oco dentro de um campo elétrico. Os elétrons livres do metal se redistribuem quase instantaneamente na superfície, e essa redistribuição cria um campo interno que cancela exatamente o campo externo. Resultado, **o campo dentro da cavidade é zero**, e as linhas de campo de fora contornam o metal em vez de atravessá-lo.

É por isso que o rádio falha dentro do elevador, e é por isso que um carro é um bom lugar para estar durante uma tempestade com raios. A lataria conduz a descarga por fora e o interior fica protegido.

GUARDE ISTO

Eletrização move elétron, nunca próton. E dentro de metal oco o campo elétrico é zero, não importa quão forte seja o campo do lado de fora.

Corrente, resistência e as duas formas de ligar

Quando as cargas de um condutor deixam de andar em desordem e passam a andar todas no mesmo sentido, existe **corrente elétrica**. A intensidade dela mede quanta carga atravessa uma seção do fio por segundo, $i = Q/t$, em ampère.

Para as cargas andarem é preciso uma diferença de potencial entre as pontas, que é o que a pilha ou a tomada fornece, medida em volt. E todo material oferece alguma oposição a essa passagem, que é a **resistência**, medida em ohm. As três grandezas se ligam pela lei de Ohm.

$$V = R \cdot i$$

Um resistor de $20 \, \Omega$ submetido a $60 \, V$ é percorrido por $i = 60/20 = 3 \, A$. Mantendo o mesmo resistor e dobrando a tensão para $120 \, V$, a corrente também dobra, para $6 \, A$. Tensão e corrente andam juntas quando a resistência não muda.

As duas formas de ligar

Esta é a distinção que mais separa acerto de erro no assunto inteiro.

Em **série**, os componentes formam um caminho único. Como não há por onde a carga se desviar, **a corrente é a mesma em todos**, e a tensão da fonte se reparte entre eles. As resistências somam diretamente.

Em **paralelo**, os componentes ficam em ramos separados ligados nos mesmos dois pontos. Como as pontas são comuns, **a tensão é a mesma em todos**, e a corrente total se reparte entre os ramos. As resistências somam invertidas, e o resultado é sempre menor que a menor delas.

Dois resistores de $30 \, \Omega$ e $60 \, \Omega$ ligados em série valem $90 \, \Omega$. Os mesmos dois em paralelo valem $20 \, \Omega$, porque $1/30 + 1/60 = 3/60$, e o inverso de $3/60$ é 20 . Repare que $20 \, \Omega$ é menor que $30 \, \Omega$, que era a menor das duas.

	SÉRIE	PARALELO
Corrente	igual em todos	reparte entre os ramos
Tensão	reparte entre eles	igual em todos
Resistência total	soma direta	soma dos inversos, dá menor que a menor
Se um queima	todos apagam	os outros continuam

GUARDE ISTO

Série divide tensão e mantém a corrente. Paralelo divide corrente e mantém a tensão. Se você lembrar só disso, já resolve a maior parte das questões de circuito.

Potência, consumo e de onde vem a eletricidade

Potência elétrica é quanta energia o aparelho converte por segundo, e é o número que vem na etiqueta dele.

$$P = V \cdot i$$

Substituindo a lei de Ohm dentro dessa expressão saem duas variações que servem quando falta um dado. Use $P = R \cdot i^2$ quando você tem resistência e corrente, e $P = V^2/R$ quando tem tensão e resistência.

Um chuveiro de 220 V e 4 400 W puxa $i = 4\,400/220 = 20$ A. A resistência dele é $R = V^2/P = 220^2/4\,400 = 11 \, \Omega$. Os três números da etiqueta se determinam entre si, e sabendo dois você tem o terceiro.

Consumo e conta de luz

Potência é velocidade de gasto, energia é o total gasto. A conta de luz cobra energia, e a unidade dela é o quilowatt-hora.

$$E = P \cdot t$$

com P em kW e t em horas

Uma lâmpada de 100 W acesa 5 horas por dia durante 30 dias consome $0,1 \text{ kW} \times 5 \text{ h} \times 30 = 15 \text{ kWh}$ no mês. Repare na conversão de watt para quilowatt, que é onde a conta mais erra.

Efeito joule

Toda vez que a corrente atravessa uma resistência, parte da energia elétrica vira calor. Em um chuveiro ou em um ferro de passar isso é o objetivo. Em um fio de instalação isso é perda, e é o motivo de fio fino esquentar.

Indução eletromagnética

Um fio percorrido por corrente cria campo magnético ao redor de si. Oersted descobriu isso ao ver a agulha de uma bússola girar perto de um fio ligado.

O caminho inverso também funciona, e é ele que sustenta toda a geração de energia do planeta. **Quando o campo magnético que atravessa uma bobina varia, aparece tensão nos terminais dela.** A palavra que importa é *varia*. Campo magnético parado, por mais intenso que seja, não induz nada.

Girar um ímã perto de uma bobina faz o campo variar, e é exatamente isso que acontece dentro de uma usina, seja a turbina movida por água, por vapor ou por vento. Quanto mais rápido o campo varia, maior a tensão induzida.

GUARDE ISTO

O que induz corrente é a **variação** do campo magnético, não a presença dele.

Cinco atalhos que salvam tempo na prova

01 Série segura, paralelo partilha

Em série a **corrente** é que segura, ela é a mesma em todo mundo. Em paralelo a **tensão** é que é partilhada igual. Escreva isso no canto do rascunho antes de olhar qualquer circuito, e metade das armadilhas de ligação já morre ali.

02 A etiqueta dá dois, você tira o terceiro

Aparelho elétrico sempre vem com dois números, tensão e potência, ou tensão e corrente. Com $P = V \cdot i$ e $V = R \cdot i$ você extrai qualquer um dos outros. Antes de procurar dado faltando no enunciado, olhe se ele não sai da etiqueta.

03 Fio sem resistência é o mesmo ponto

Quando o enunciado avisa que os fios têm resistência desprezível, ele está dizendo que dois pontos ligados por fio são eletricamente **o mesmo ponto**, por mais distantes que pareçam no desenho. Isso simplifica circuito que parece complicado.

04 Variou, induziu

Toda questão de indução se resolve procurando o que está variando. Se nada varia, não existe corrente induzida, e a alternativa que fala em campo constante está errada.

05 Confira a unidade antes de conferir a conta

Miliampère não é ampère, quilowatt não é watt, e quilo-ohm não é ohm. Uma resposta que erra por fator de mil quase sempre é conversão esquecida, não raciocínio errado. Passe tudo para a mesma unidade antes de somar qualquer coisa.

DESTAQUE, o mnemônico do assunto > SÉRIE SEGURA A CORRENTE, PARALELO PARTILHA A TENSÃO.

ENEM 2022 · QUESTÃO 119 DO CADERNO 7, AZUL

Uma lanterna funciona com três pilhas de resistência interna igual a $0,5\ \Omega$ cada, ligadas em série. Quando posicionadas corretamente, devem acender a lâmpada incandescente de especificações $4,5\ \text{W}$ e $4,5\ \text{V}$. Cada pilha na posição correta gera uma f.e.m. (força eletromotriz) de $1,5\ \text{V}$. Uma pessoa, ao trocar as pilhas da lanterna, comete o equívoco de inverter a posição de uma das pilhas. Considere que as pilhas mantêm contato independentemente da posição.

Com esse equívoco, qual é a intensidade de corrente que passa pela lâmpada ao se ligar a lanterna?

- (A) $0,25\ \text{A}$
- (B) $0,33\ \text{A}$
- (C) $0,75\ \text{A}$
- (D) $1,00\ \text{A}$
- (E) $1,33\ \text{A}$

Como resolver

- 01** Ache a resistência da lâmpada pela etiqueta dela. A etiqueta dá potência e tensão, então use a variação que junta as duas.

$$R = V^2/P = (4,5 \text{ V})^2/4,5 \text{ W} = 20,25/4,5 = 4,5 \, \Omega$$

- 02** Some as forças eletromotrizes, respeitando o sinal da pilha invertida. Duas pilhas empurram para um lado e uma empurra para o lado contrário, então ela entra subtraindo.

$$\text{f.e.m. total} = 1,5 \text{ V} + 1,5 \text{ V} - 1,5 \text{ V} = 1,5 \text{ V}$$

- 03** Some as resistências internas, sem exceção. Aqui está o ponto da questão. A pilha invertida **continua no circuito** e continua oferecendo resistência à passagem da corrente. Inverter uma pilha muda para onde ela empurra, não o fato de ela estar lá.

$$r_{\text{total}} = 3 \times 0,5 \, \Omega = 1,5 \, \Omega$$

- 04** Aplique a lei de Ohm ao circuito inteiro.

$$i = \text{f.e.m. total} / (R_{\text{lâmpada}} + r_{\text{total}}) = 1,5 \text{ V} / (4,5 \, \Omega + 1,5 \, \Omega) = 1,5/6 = 0,25 \text{ A}$$

AResposta correta · **0,25 ampère****O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

A lâmpada foi projetada para 4,5 V e recebe apenas 1,5 V, ou seja, um terço do previsto. Se a resistência interna fosse desprezível, a corrente também cairia para um terço da nominal de 1 A, dando 0,33 A. Como a resposta precisa ser **menor** que isso, por causa da resistência interna, só sobra 0,25 A. Dá para eliminar quatro alternativas sem terminar a conta.

Em sua maioria, os equipamentos eletrônicos domésticos demandam baixa potência elétrica em corrente contínua. Para alimentá-los, uma fonte externa ou embutida transforma a corrente alternada em corrente contínua de baixa tensão. Entretanto, cada equipamento tem suas especificidades, e muitas vezes não é possível simplesmente trocar essas fontes sem levar em conta a tensão, a corrente ou a potência elétrica de saída.

Considere um equipamento de resistência elétrica R_C que funciona corretamente apenas em um dado valor de tensão. Porém, a única fonte de alimentação disponível fornece uma tensão 20% superior à tensão recomendada. Para adaptar essa fonte ao aparelho, a associação de um resistor de proteção R_P , de potência adequada, se faz necessária.

A configuração adequada do circuito e o valor do resistor de proteção, em relação ao valor da resistência do equipamento, são:

Como resolver

01 Decida a ligação antes de fazer conta. O problema é sobra de tensão. Em **paralelo**, os dois componentes recebem a mesma tensão, então o equipamento continuaria recebendo os mesmos 20% a mais e nada seria resolvido. Só a ligação em **série** reparte a tensão, deixando parte dela com o resistor de proteção. Isso já elimina duas alternativas.

02 Escreva o que a fonte entrega. Chame de V a tensão que o equipamento precisa. A fonte entrega 20% a mais.

$$V_{\text{fonte}} = 1,2 \cdot V$$

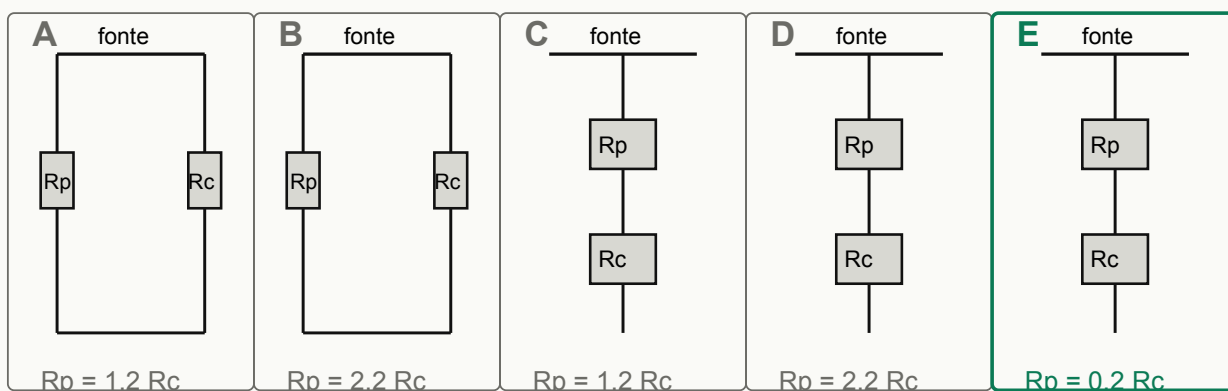
03 Imponha que o equipamento receba exatamente a tensão dele. Em série a corrente é a mesma nos dois, e a tensão se reparte na proporção das resistências. A fração que fica com o equipamento é $R_C / (R_C + R_P)$.

$$1,2 \cdot V \cdot R_C / (R_C + R_P) = V$$

04 Corte o V dos dois lados e isole R_P .

$$1,2 \cdot R_C = R_C + R_P$$

$$R_P = 0,2 \cdot R_C$$

EResposta correta · **em série, com R_P igual a $0,2 \cdot R_C$** **RESISTOR DE PROTEÇÃO, CINCO ESQUEMAS**

O CAMINHO MAIS RÁPIDO

O resistor de proteção precisa consumir só a sobra, que é 20% da tensão recomendada. Como em série a tensão se reparte na mesma proporção das resistências, um componente que fica com 20% do que o outro fica precisa ter 20% da resistência dele. A resposta sai sem álgebra nenhuma.

Quatro erros que a prova já deixa preparados

Esquecer a resistência da pilha invertida

Ao inverter uma pilha, o aluno subtrai a força eletromotriz dela e esquece que a resistência interna continua no circuito. A conta vira $1,5/4,5$ e dá 0,33 A, que está lá esperando como alternativa. **Inverter muda o sentido do empurrão, não a presença do componente.**

Trocar série por paralelo na hora de proteger

Quando o problema é sobra de tensão, só a ligação em série resolve, porque paralelo mantém a mesma tensão nos dois ramos. Prova que oferece opção em paralelo está contando com quem liga resistor de proteção por reflexo, sem perguntar o que precisa ser repartido.

Confundir a corrente do circuito com a corrente do aparelho

Em divisor de tensão existem duas correntes diferentes, a que percorre o divisor e a que entra no equipamento ligado nele. São valores muito distantes quando o equipamento tem resistência alta, e a prova costuma oferecer as duas como alternativa. **Leia com cuidado qual delas a pergunta quer.**

Usar a tensão da fonte no lugar da tensão do trecho

Ainda em divisor, o aparelho ligado entre dois pontos intermediários recebe apenas a parcela de tensão daquele trecho, não a tensão total da fonte. Quem divide pela tensão cheia acha uma corrente maior que a real, e esse valor também costuma estar entre as alternativas.

Agora é com você

01**ENEM 2023 · Q. 108 · CAD. 7 AZUL**

O fogão por indução funciona a partir do surgimento de uma corrente elétrica induzida no fundo da panela, com consequente transformação de energia elétrica em calor por efeito Joule. A principal vantagem desses fogões é a eficiência energética, que é substancialmente maior que a dos fogões convencionais.

A corrente elétrica mencionada é induzida por

- ☐ (A) radiação.
- ☐ (B) condução.
- ☐ (C) campo elétrico variável.
- ☐ (D) campo magnético variável.
- ☐ (E) ressonância eletromagnética.

02**ENEM 2022 · Q. 96 · CAD. 7 AZUL**

O quadro mostra valores de corrente elétrica e seus efeitos sobre o corpo humano.

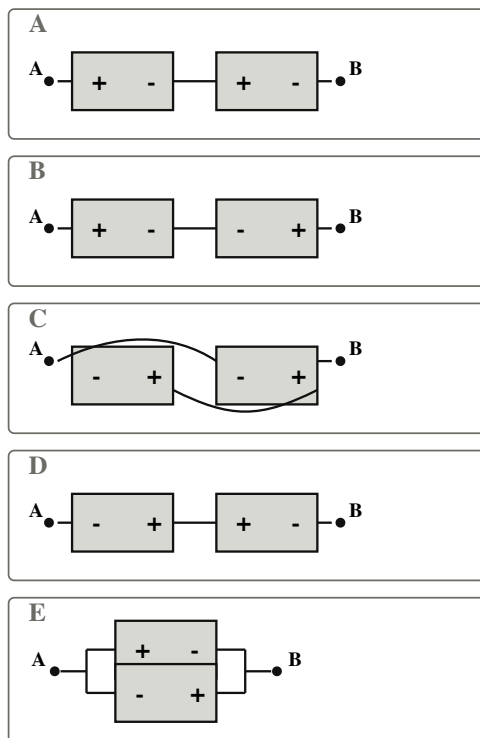
CORRENTE ELÉTRICA	DANO FÍSICO
Até 10 mA	Dor e contração muscular
De 10 mA até 20 mA	Aumento das contrações musculares
De 20 mA até 100 mA	Parada respiratória
De 100 mA até 3 A	Fibrilação ventricular
Acima de 3 A	Parada cardíaca e queimaduras

A corrente elétrica que percorrerá o corpo de um indivíduo depende da tensão aplicada e da resistência elétrica média do corpo humano. Esse último fator está intimamente relacionado com a umidade da pele, que seca apresenta resistência elétrica da ordem de 500 k Ω , mas, se molhada, pode chegar a apenas 1 k Ω .

Apesar de incomum, é possível sofrer um acidente utilizando baterias de 12 V. Considere que um indivíduo com a pele molhada sofreu uma parada respiratória ao tocar simultaneamente nos pontos A e B de uma associação de duas dessas baterias.

Qual associação de baterias foi responsável pelo acidente?

AS CINCO ASSOCIAÇÕES DE BATERIAS

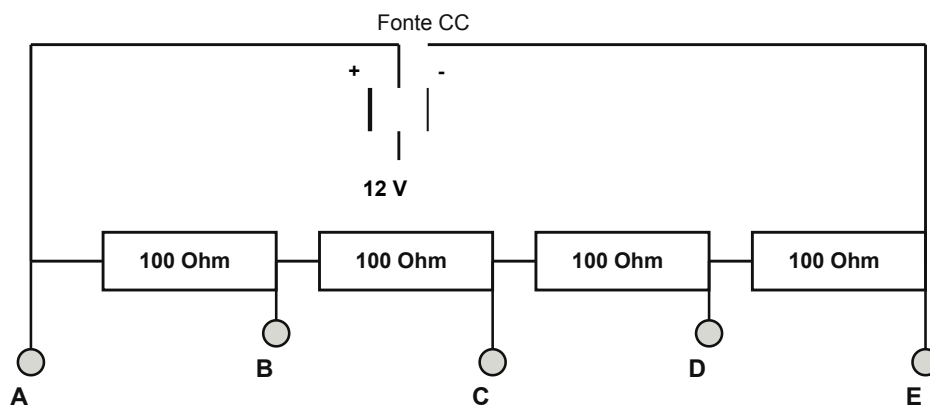


03

ENEM 2020 · Q. 116 · CAD. 7 AZUL

Um estudante tem uma fonte de tensão com corrente contínua que opera em tensão fixa de 12 V. Como precisa alimentar equipamentos que operam em tensões menores, ele emprega quatro resistores de $100\ \Omega$ para construir um divisor de tensão. Obtém-se este divisor associando os resistores, como exibido na figura. Os aparelhos podem ser ligados entre os pontos A, B, C, D e E, dependendo da tensão especificada.

DIVISOR DE TENSÃO, QUATRO RESISTORES DE 100 OHM



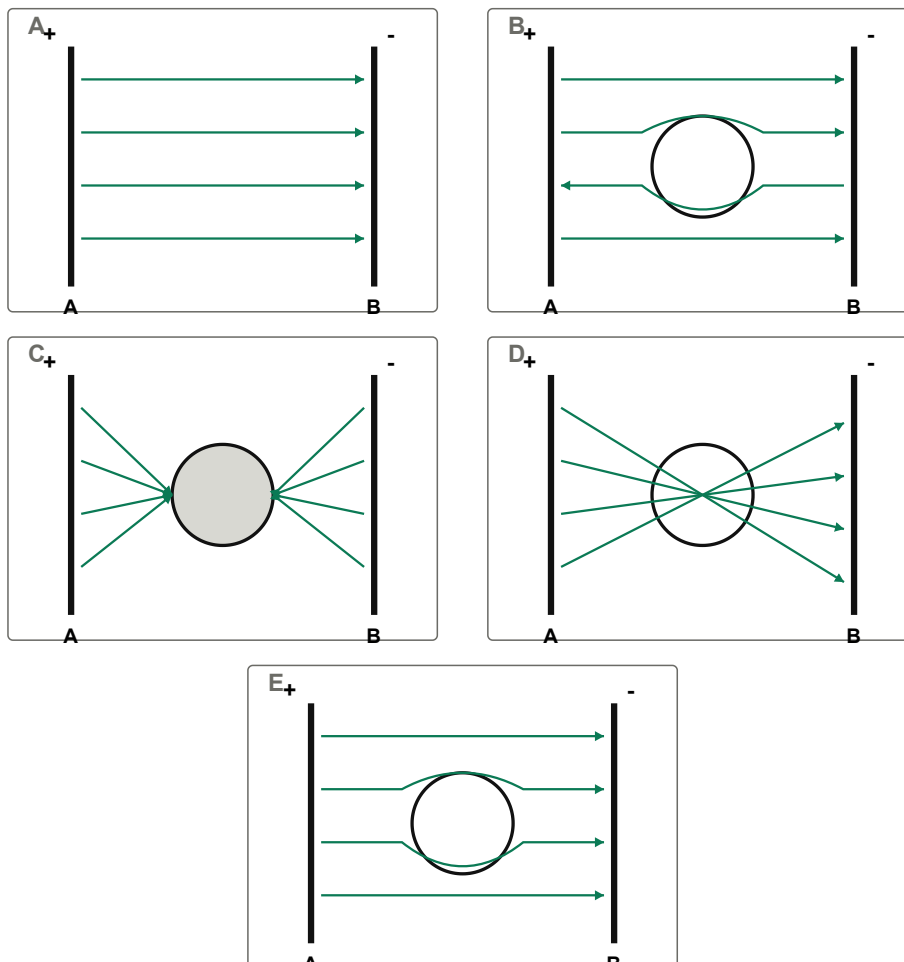
Ele tem um equipamento que opera em 9,0 V com uma resistência interna de $10\ \text{k}\Omega$.

Entre quais pontos do divisor de tensão esse equipamento deve ser ligado para funcionar corretamente e qual será o valor da intensidade da corrente nele estabelecida?

- (A) Entre A e C; 30 mA.
- (B) Entre B e E; 30 mA.
- (C) Entre A e D; 1,2 mA.
- (D) Entre B e E; 0,9 mA.
- (E) Entre A e E; 0,9 mA.

04 ENEM 2024 · Q. 127 · CAD. 7 AZUL

Em um experimento de laboratório, duas barras metálicas, A e B, são carregadas com cargas opostas e imersas em óleo. Farelo de milho é jogado sobre o óleo e, após um certo tempo, o farelo assume o formato das linhas de campo elétrico entre as barras. A figura representa a vista superior desse experimento.

LINHAS DE CAMPO COM CILINDRO METÁLICO OCO

Ao repetir o experimento colocando um cilindro metálico oco entre as placas, o esquema que representa o formato das linhas de campo assumido pelo farelo é:

Gabarito comentado na página 104.

TERMOLOGIA

02

Para onde o calor vai quando você não está olhando.

POR QUE CAI

A prova gosta de termologia porque ela cabe em qualquer cenário. Uma geladeira, uma obra de asfalto, uma caldeira de indústria, um motor de carro. O enunciado descreve um processo comum e pede que você diga por qual caminho o calor viajou, quanta energia foi gasta ou por que aquele equipamento tem o formato que tem. É o assunto que mais aparece em questão conceitual pura, sem uma conta sequer.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Calor sensível e calor latente, a divisão que organiza o assunto inteiro
- ☐ Condução, convecção e irradiação, com o critério para distinguir uma da outra
- ☐ Comportamento dos gases, principalmente quando uma das grandezas fica travada
- ☐ Máquinas térmicas e rendimento, que é onde a prova cobra a segunda lei
- ☐ Dilatação, que cai menos, mas cai sempre do mesmo jeito

CALOR E TROCAS

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

calor que muda a temperatura sem mudar o estado

$$Q = m \cdot L$$

calor que muda o estado sem mudar a temperatura

$$\phi = k \cdot A \cdot \Delta T / e$$

fluxo de calor por condução através de uma parede

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

dilatação linear

GASES E MÁQUINAS TÉRMICAS

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$$

conversão obrigatória em qualquer conta de gás

$$P \cdot V / T = \text{constante}$$

lei geral dos gases, para massa fixa

$$\Delta U = Q - W$$

primeira lei da termodinâmica

$$\eta = W / Q_{\text{quente}}$$

rendimento de uma máquina térmica

NA PRÁTICA

O efeito Joule do assunto anterior é a porta de entrada deste. Todo chuveiro, ferro e secador transforma energia elétrica em calor, e a partir do instante em que esse calor existe quem manda são as regras desta página. Os dois assuntos dividem o mesmo enunciado com frequência.

Calor, temperatura e a diferença que a prova cobra

Temperatura mede o quanto as partículas de um corpo se agitam. É uma propriedade do corpo, como a massa ou o volume, e existe mesmo quando nada está acontecendo com ele.

Calor é energia atravessando a fronteira entre dois corpos por causa de uma diferença de temperatura. Ele só existe enquanto está em trânsito. Depois que a energia chega ao destino, ela deixa de se chamar calor e passa a ser energia interna do corpo que recebeu.

Essa distinção parece formal e derruba gente todo ano, porque enunciado de prova usa as duas palavras no sentido cotidiano. **Um corpo tem temperatura, um corpo não tem calor.**

GUARDE ISTO

O calor sempre caminha do corpo de maior temperatura para o de menor, jamais o contrário por conta própria. Quando os dois chegam à mesma temperatura, o trânsito para e existe equilíbrio térmico.

As duas coisas que o calor pode fazer

Recebendo calor, um corpo faz uma de duas coisas, e nunca as duas ao mesmo tempo.

Calor sensível é o que muda a temperatura. Quanto de energia é preciso depende da massa, do quanto a temperatura precisa variar e de uma propriedade do material chamada calor específico.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

O calor específico da água vale $1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$, e é alto na comparação com quase todo material comum. Por isso a água demora tanto para esquentar e demora tanto para esfriar, e por isso ela é usada como refrigerante em motor e em usina.

Aquecer 500 g de água de 25°C até 75°C exige $Q = 500 \text{ g} \times 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) \times 50^\circ\text{C} = 25\,000 \text{ cal}$. Repare que o que entra na conta é a **variação** de temperatura, os 50°C , e não o valor final.

Calor latente é o que muda o estado físico. Enquanto uma substância pura derrete ou ferve, a temperatura dela fica parada, mesmo com a chama acesa embaixo. Toda a energia que chega está sendo gasta para desmontar a organização das moléculas.

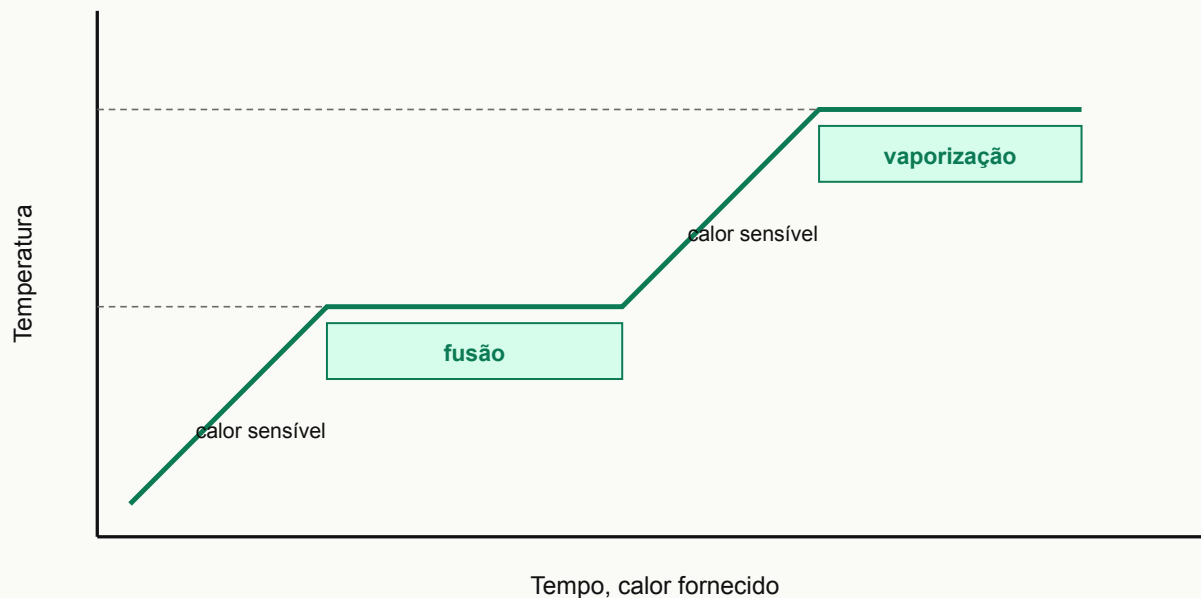
$$Q = m \cdot L$$

Derreter 200 g de gelo já a 0°C exige $Q = 200 \text{ g} \times 80 \text{ cal/g} = 16\,000 \text{ cal}$, e ao fim desse processo a água continua a 0°C . Toda a energia foi para a mudança de estado.

A curva de aquecimento

Um gráfico de temperatura por tempo, para uma substância pura recebendo calor a taxa constante, alterna trechos inclinados e trechos horizontais. Os trechos inclinados são calor sensível, e a inclinação depende do calor específico daquele estado. Os patamares horizontais são calor latente, e o comprimento de cada um depende do calor de fusão ou de vaporização.

CURVA DE AQUECIMENTO A TAXA CONSTANTE



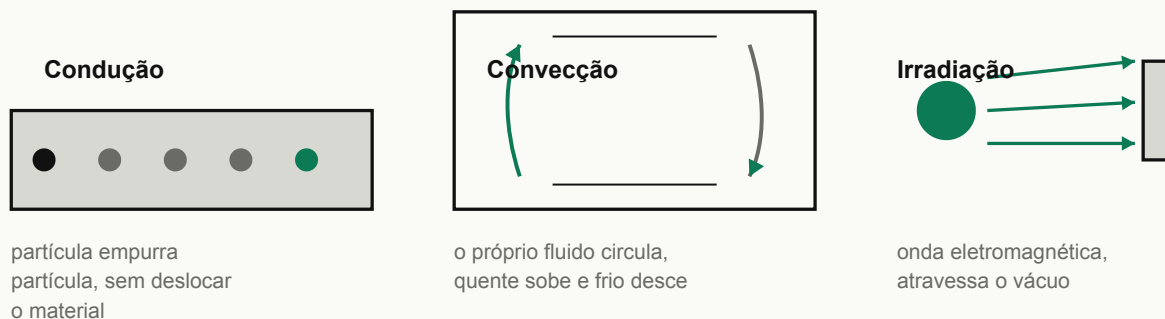
GUARDE ISTO

Termômetro subindo significa calor sensível. Termômetro parado com a fonte ligada significa calor latente. Muitos processos reais somam os dois em sequência, e a conta precisa das duas parcelas.

Os três caminhos do calor, e a dilatação

O calor tem três formas de sair de um lugar e chegar a outro, e a prova quase sempre pede que você nomeie qual delas está agindo. O critério para distinguir é sempre o mesmo, pergunte **o que está se movendo**.

OS TRÊS MODOS DE PROPAGAÇÃO DO CALOR



Condução

A energia passa de partícula para partícula, sem que o material se desloque. É o caminho do calor dentro de sólidos, e o único que funciona em corpo opaco e rígido.

A velocidade da condução através de uma parede depende de quatro coisas. Quanto maior a condutividade térmica do material, mais rápido. Quanto maior a área de contato, mais rápido. Quanto maior a diferença de temperatura entre os dois lados, mais rápido. Quanto mais grossa a parede, mais lento.

$$\varphi = k \cdot A \cdot \Delta T / e$$

Duas paredes do mesmo material e da mesma área, uma com 2 cm e outra com 8 cm de espessura, separam os mesmos dois ambientes. A parede fina deixa passar quatro vezes mais calor por segundo que a grossa, porque a espessura entra dividindo. Dobrar a espessura de um isolante corta o fluxo pela metade.

Metal tem condutividade alta e isopor tem condutividade baixa. Por isso a mesma bancada de metal e a mesma toalha de tecido, ambas na temperatura da sala, dão sensações diferentes ao toque. O metal puxa calor da sua mão muito mais rápido, e a sensação de frio mede essa velocidade de perda, não a temperatura do objeto.

Convecção

Aqui o próprio material se desloca, carregando a energia junto. Só acontece em fluido, líquido ou gás, porque exige que a matéria possa circular.

O mecanismo é sempre a densidade. A porção de fluido que esquentar se dilata, fica menos densa que a vizinhança e sobe. A porção mais fria desce para ocupar o lugar. Esse movimento fechado é a corrente de convecção.

O congelador de uma geladeira doméstica fica na parte de cima porque o ar resfriado por ele desce sozinho e o ar mais quente sobe para ser resfriado, mantendo a circulação sem ventilador. Um aparelho de ar-condicionado é instalado alto pela mesma razão. Já o aquecedor de ambiente vai no chão, para que o ar quente suba e varra a sala.

Irradiação

A energia viaja como onda eletromagnética, principalmente na faixa do infravermelho. É o único caminho que dispensa material entre a fonte e o destino, e por isso é como o calor do Sol atravessa o vácuo até chegar aqui.

Superfície escura e fosca absorve bem e emite bem. Superfície clara e espelhada reflete. É por isso que a manta térmica de emergência é prateada e que a caixa-d'água costuma ser clara.

Dilatação

Quase todo material aumenta de tamanho quando a temperatura sobe, porque as partículas se agitam mais e ocupam mais espaço em média.

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Um trilho de 12 m, com coeficiente de dilatação linear de $1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, submetido a uma variação de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, aumenta $\Delta L = 12 \times 1,2 \times 10^{-5} \times 25 = 3,6 \times 10^{-3} \text{ m}$, ou seja, 3,6 mm. O valor é pequeno por peça e enorme somado ao longo de uma ferrovia inteira, e é por isso que existe folga entre trilhos e junta de dilatação em ponte.

GUARDE ISTO

Um furo em uma chapa dilata como se fosse feito do mesmo material da chapa. Ele **aumenta** quando a chapa é aquecida, jamais diminui. Esse é o resultado que mais contraria a intuição no assunto.

Gases, primeira lei e por que nenhum motor rende 100%

Um gás fica descrito por três grandezas que andam amarradas, pressão, volume e temperatura. Para uma quantidade fixa de gás, a combinação delas se conserva.

$$P \cdot V / T = \text{constante}$$

A temperatura nessa expressão é obrigatoriamente absoluta, em kelvin. Usar grau Celsius aqui produz resultado errado, e em alguns casos absurdo, porque zero grau Celsius não significa ausência de agitação. Converta antes de qualquer coisa com $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$.

Quando uma das três grandezas fica travada, sobra uma relação simples entre as outras duas.

TRANSFORMAÇÃO	O QUE TRAVA	O QUE SOBRA
Isotérmica	temperatura	$P \cdot V$ constante, pressão e volume andam invertidos
Isobárica	pressão	V / T constante, volume e temperatura andam juntos
Isovolumétrica	volume	P / T constante, pressão e temperatura andam juntos
Adiabática	troca de calor com o exterior	temperatura muda por conta do trabalho

Um recipiente rígido e fechado contém gás a 2 atm e 27 °C. Aquecido até 87 °C, o volume não pode mudar, então P/T se conserva. Em kelvin as temperaturas são 300 K e 360 K, e a pressão final vale $P = 2 \times 360/300 = 2,4 \text{ atm}$. Feita a mesma conta em grau Celsius, o resultado sairia mais que seis vezes maior, o que mostra o tamanho do estrago da unidade errada.

Primeira lei da termodinâmica

É a conservação de energia aplicada a gás. O calor que entra tem dois destinos possíveis, ficar armazenado como energia interna, o que faz a temperatura subir, ou sair como trabalho, o que empurra o êmbolo.

$$\Delta U = Q - W$$

Gás que se expande realiza trabalho positivo e gasta energia nisso. Gás comprimido de fora recebe trabalho e esquentar, que é o motivo de a bomba de encher pneu ficar quente na base.

Máquinas térmicas e rendimento

Uma máquina térmica retira calor de uma fonte quente, converte parte dele em trabalho útil e **obrigatoriamente descarta o resto** em uma fonte fria.

$$\eta = W / Q_{\text{quente}}$$

Uma máquina que recebe 800 J da fonte quente e rejeita 600 J para a fonte fria entrega $W = 800 - 600 = 200 \text{ J}$ de trabalho. O rendimento é $200/800 = 0,25$, ou seja, 25%. Três quartos da energia foram embora como calor descartado.

Segunda lei da termodinâmica

A parcela descartada é uma imposição da natureza, e nenhum aperfeiçoamento de projeto elimina a fonte fria. Máquina térmica com rendimento de 100% é impossível, e alternativa de prova que promete isso está sempre errada. Motor de carro fica na faixa de 25% a 30%, e usina termelétrica moderna passa pouco de 40%.

GUARDE ISTO

Toda máquina térmica joga calor fora. Quando o enunciado der o calor recebido e o calor rejeitado, o trabalho útil é a diferença entre os dois, sem exceção.

Cinco atalhos que salvam tempo na prova

01 Olhe o termômetro antes de escolher a fórmula

Se a temperatura varia no processo, a fórmula é $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$. Se a temperatura fica parada e o estado muda, a fórmula é $Q = m \cdot L$. Processo que faz as duas coisas em sequência pede as duas contas somadas, e questão de prova adora justamente esse caso.

02 Pergunte o que está se movendo

Para nomear a propagação, verifique quem se desloca. Se apenas a energia anda e o material fica parado, condução. Se o próprio fluido circula levando a energia junto, convecção. Se atravessa vácuo ou ar transparente sem precisar de meio, irradiação. Esse teste resolve questão conceitual em menos de dez segundos.

03 Variação de temperatura dispensa conversão

Uma variação de 30 °C vale exatamente 30 K, porque as duas escalas têm o mesmo tamanho de grau. Então em $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ tanto faz. Já quando a temperatura entra sozinha, e não como diferença, o que acontece em toda conta de gás, o kelvin é obrigatório.

04 Corte o que é igual nos dois lados

Boa parte das questões compara duas situações do mesmo experimento. Escreva a expressão para cada uma e elimine tudo que se repete, como espessura, massa ou intervalo de tempo. O que sobra costuma ser uma razão de dois números, e a conta vira aritmética.

05 Rendimento alto demais é sinal de erro

Se a sua conta der rendimento acima de 50% para um motor comum, refaça. Muito provavelmente você somou o calor rejeitado no lugar de subtrair, ou trocou a fonte quente pela fria no denominador.

DESTAQUE, o mnemônico do assunto > SENSÍVEL MEXE NO TERMÔMETRO, LATENTE MEXE NO ESTADO.

O objetivo de recipientes isolantes térmicos é minimizar as trocas de calor com o ambiente externo. Essa troca de calor é proporcional à condutividade térmica k e à área interna das faces do recipiente, bem como à diferença de temperatura entre o ambiente externo e o interior do recipiente, além de ser inversamente proporcional à espessura das faces.

A fim de avaliar a qualidade de dois recipientes A ($40\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$) e B ($60\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$), de faces de mesma espessura, uma estudante compara suas condutividades térmicas k_A e k_B . Para isso suspende, dentro de cada recipiente, blocos idênticos de gelo a 0°C , de modo que suas superfícies estejam em contato apenas com o ar. Após um intervalo de tempo, ela abre os recipientes enquanto ambos ainda contêm um pouco de gelo e verifica que a massa de gelo que se fundiu no recipiente B foi o dobro da que se fundiu no recipiente A.

A razão k_A / k_B é mais próxima de

- (A) 0,50
- (B) 0,67
- (C) 0,75
- (D) 1,33
- (E) 2,00

Como resolver

- 01** Traduza "massa fundida" para "calor recebido". Os dois blocos de gelo estão a 0 °C e continuam a 0 °C ao fim, porque ainda sobrou gelo em cada recipiente. Trata-se de calor latente puro, então $Q = m \cdot L$, com o mesmo L nos dois casos. Dobro de massa fundida significa dobro de calor recebido.

$$Q_B = 2 \cdot Q_A$$

- 02** Escreva o fluxo de calor pelas paredes de cada recipiente. O próprio enunciado entrega a proporcionalidade. Os dois recipientes têm a mesma espessura, ficam no mesmo ambiente com o mesmo gelo a 0 °C dentro e permanecem fechados pelo mesmo intervalo de tempo. Corte ΔT , e e o tempo, que são iguais nos dois lados, e sobra apenas o produto $k \cdot A$.

$$\varphi = k \cdot A \cdot \Delta T / e$$

$$k_B \cdot A_B = 2 \cdot k_A \cdot A_A$$

- 03** Calcule a área das seis faces de cada recipiente. O recipiente A é um cubo de aresta 40 cm. O recipiente B tem duas faces de 60 × 40, duas de 40 × 40 e duas de 60 × 40.

$$A_A = 6 \times 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 9\,600 \text{ cm}^2$$

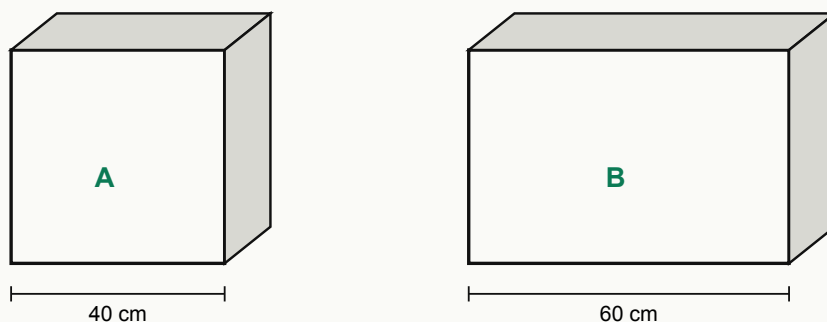
$$A_B = 2(2\,400) + 2(1\,600) + 2(2\,400) = 12\,800 \text{ cm}^2$$

- 04** Isole a razão pedida.

$$k_A / k_B = A_B / (2 \cdot A_A) = 12\,800 / (2 \times 9\,600) = 12\,800 / 19\,200 \approx 0,67$$

BResposta correta · **aproximadamente 0,67**

OS DOIS RECIPIENTES, COM AS ARESTAS COTADAS

**O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

O recipiente B derreteu o dobro tendo apenas um terço a mais de área, então a diferença sobrando precisa vir da condutividade, e o material de B conduz mais que o de A. Isso já garante que a razão k_A / k_B é menor que 1, o que elimina as alternativas D e E de imediato. Entre as três que sobram, basta reparar que a razão de áreas vale $4/3$ e que a metade disso é $2/3$.

Em uma indústria alimentícia, para produção de doce de leite, utiliza-se um tacho de parede oca com uma entrada para vapor de água a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma saída para água líquida em equilíbrio com o vapor a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ao passar pela parte oca do tacho, o vapor de água transforma-se em líquido, liberando energia. A parede transfere essa energia para o interior do tacho, resultando na evaporação de água e consequente concentração do produto.

No processo de concentração do produto, é utilizada energia proveniente

- (A) somente do calor latente de vaporização.
- (B) somente do calor latente de condensação.
- (C) do calor sensível e do calor latente de vaporização.
- (D) do calor sensível e do calor latente de condensação.
- (E) do calor latente de condensação e do calor latente de vaporização.

Como resolver

- 01** Separe os dois lados da parede antes de qualquer coisa. Dentro da parede oca acontece o que **fornece** energia. Dentro do tacho acontece o que **consome** energia. A pergunta é sobre a procedência, então só o que acontece dentro da parede oca conta como resposta.
- 02** Siga o vapor dentro da parede oca, na ordem em que os fatos acontecem. O vapor entra a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e sai a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, e nesse resfriamento a temperatura cai enquanto o estado continua gasoso. Isso é **calor sensível**, os $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ de queda multiplicados pela massa e pelo calor específico do vapor.
- 03** Continue seguindo, agora na mudança de estado. Já a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, o vapor se transforma em líquido. A temperatura fica parada e a substância muda de estado, então é **calor latente**, e o nome correto para o sentido que está acontecendo aqui é **condensação**, porque a substância está passando de gás para líquido e liberando energia.
- 04** Some as duas parcelas e confira o destino. A energia entregue pela parede é a soma do calor sensível do resfriamento com o calor latente de condensação. Ela vai ser usada para evaporar a água do doce, o que de fato é vaporização, mas essa é a aplicação, e a pergunta quer a origem.

DResposta correta · **calor sensível somado ao calor latente de condensação****O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

Dois números diferentes de temperatura no enunciado, $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, denunciam que existe uma etapa de calor sensível, e isso derruba de cara todas as alternativas que começam com "somente". Reparar nisso corta a questão pela metade antes de raciocinar sobre condensação.

Quatro erros que a prova já deixa preparados

Contar só o calor latente e esquecer o sensível

Quando um processo tem mudança de estado, a mudança rouba a atenção e o trecho de aquecimento ou de resfriamento passa em branco. A prova sempre oferece a alternativa com a palavra "somente", que é onde cai quem parou na metade. **Duas temperaturas diferentes no enunciado são o aviso de que existe uma parcela sensível.**

Comparar materiais sem comparar as áreas

Em questão que compara dois recipientes ou duas paredes, o aluno atribui toda a diferença de desempenho ao material e ignora que a geometria também entra na conta. O fluxo depende do produto da condutividade pela área, e mudar o formato muda o resultado mesmo com o material idêntico.

Tratar sensação térmica como temperatura

Objetos que estão há horas na mesma sala têm a mesma temperatura, por mais que o metal pareça gelado e a madeira pareça morna. A sensação mede a velocidade com que sua pele perde calor para o objeto, e essa velocidade depende da condutividade do material. Alternativa que afirma que o metal "está mais frio" está errada.

Usar grau celsius em conta de gás

A lei geral dos gases exige temperatura absoluta, e quem esquece de somar 273 chega a resultados desproporcionais. O erro é discreto quando as temperaturas do enunciado são altas e é gritante quando elas são próximas de zero grau. Antes de dividir qualquer temperatura por outra, confira se as duas estão em kelvin.

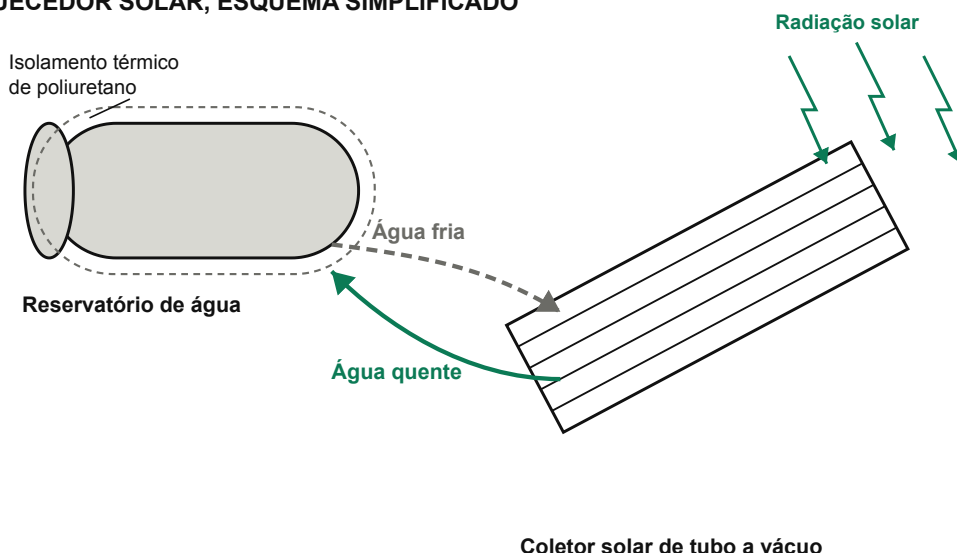
Agora é com você

01

ENEM 2024 · Q. 103 · CAD. 7 AZUL

Aquecedores solares são equipamentos utilizados para o aquecimento de água pelo calor do Sol. São compostos por coletores solares, nos quais ocorre o aquecimento da água, e por um reservatório térmico, em que é armazenada a água quente para ser utilizada posteriormente. A figura ilustra esquematicamente como funciona esse equipamento.

AQUECEDOR SOLAR, ESQUEMA SIMPLIFICADO



O processo pelo qual ocorre transferência de calor dos coletores solares para o reservatório térmico é a

- (A) difusão.
- (B) absorção.
- (C) condução.
- (D) irradiação.
- (E) convecção.

02

ENEM 2020 · Q. 109 · CAD. 7 AZUL

As panelas de pressão reduzem o tempo de cozimento dos alimentos por elevar a temperatura de ebulição da água. Os usuários conhecedores do utensílio normalmente abaixam a intensidade do fogo em panelas de pressão após estas iniciarem a saída dos vapores.

Ao abaixar o fogo, reduz-se a chama, pois assim evita-se o(a)

- (A) aumento da pressão interna e os riscos de explosão.
- (B) dilatação da panela e a desconexão com sua tampa.
- (C) perda da qualidade nutritiva do alimento.
- (D) deformação da borracha de vedação.
- (E) consumo de gás desnecessário.

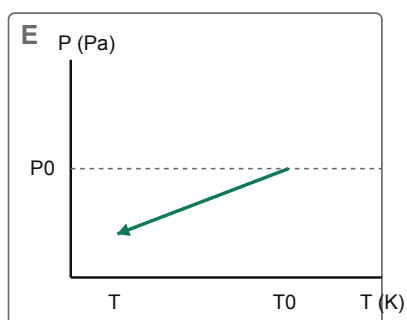
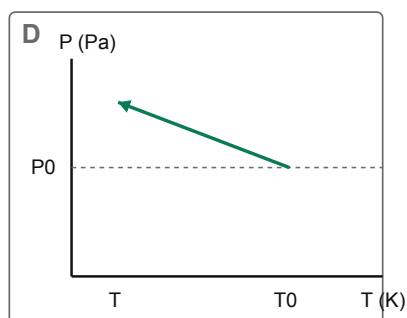
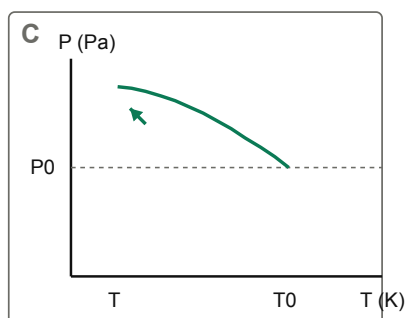
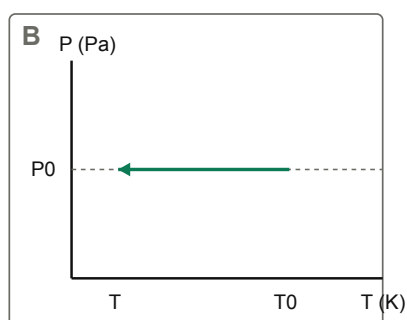
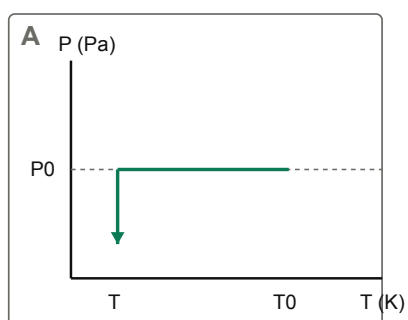
03

ENEM 2023 · Q. 132 · CAD. 7 AZUL

O manual de um automóvel alerta sobre os cuidados em relação à pressão do ar no interior dos pneus. Recomenda-se que a pressão seja verificada com os pneus frios (à temperatura ambiente). Um motorista, desatento a essa informação, realizou uma viagem longa sobre o asfalto quente e, em seguida, verificou que a pressão P_0 no interior dos pneus não era a recomendada pelo fabricante. Na ocasião, a temperatura dos pneus era T_0 . Após um longo período em repouso, os pneus do carro atingiram a temperatura ambiente T . Durante o resfriamento, não há alteração no volume dos pneus e na quantidade de ar no seu interior. Considere o ar dos pneus um gás perfeito (também denominado gás ideal).

Durante o processo de resfriamento, os valores de pressão em relação à temperatura ($P \times T$) são representados pelo gráfico:

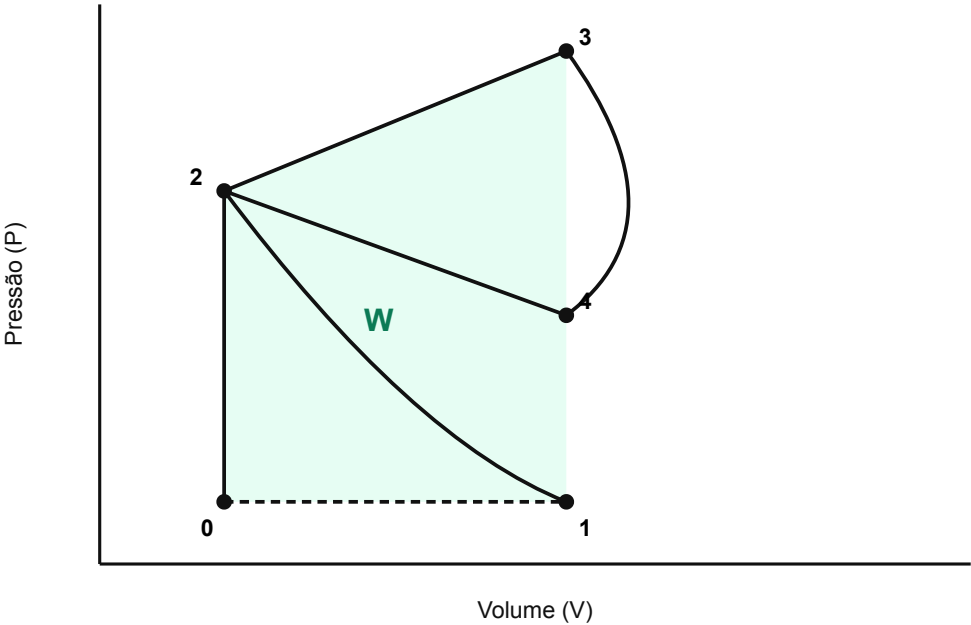
GRÁFICOS PRESSÃO POR TEMPERATURA, RESFRIAMENTO A VOLUME CONSTANTE



04 ENEM 2024 · Q. 130 · CAD. 7 AZUL

O diagrama P-V a seguir representa o ciclo de Otto para um motor de combustão interna, como os motores a gasolina ou a etanol, utilizados nos automóveis.

DIAGRAMA P-V DO CICLO DE OTTO



0 a 1: admissão isobárica · 1 a 2: compressão adiabática · 2 a 3: calor da combustão
3 a 4: expansão adiabática · 4 a 1: calor rejeitado · 1 a 0: escape

As etapas representadas no diagrama estão descritas no quadro.

ETAPA	PROCESSO	DESCRIÇÃO
I	0 a 1	Admissão isobárica da mistura ar-combustível no cilindro do motor.
II	1 a 2	Compressão adiabática da mistura.
III	2 a 3	Introdução de energia na forma de calor da combustão.
IV	3 a 4	Expansão adiabática.
V	4 a 1	Liberação de energia na forma de calor.
VI	1 a 0	Liberação dos gases resultantes da combustão.

A transformação da energia térmica em energia útil ocorre na etapa

- (A) II.
- (B) III.
- (C) IV.
- (D) V.
- (E) VI.

ONDAS E ÓPTICA

03

Como som e luz atravessam o mundo sem levar matéria junto.

POR QUE CAI

É o bloco mais autocontido da prova, e por isso o mais rentável para quem tem pouco tempo. O enunciado costuma descrever uma tecnologia comum, um fone, um disco óptico, uma antena, um espelho, e pedir o nome do fenômeno por trás dela. Boa parte das questões se resolve sabendo distinguir seis fenômenos entre si, sem conta nenhuma. Quando a conta aparece, ela é curta.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Os seis fenômenos ondulatórios, e o critério que separa um do outro
- ☐ Intensidade e a queda com o quadrado da distância, que é a base do decibel
- ☐ Efeito Doppler em nível qualitativo, que é como a prova cobra
- ☐ Espectro eletromagnético, principalmente a ordem dentro da luz visível
- ☐ Reflexão e refração, mais a diferença entre imagem real e imagem virtual

ONDA E INTENSIDADE

$$v = \lambda \cdot f$$

liga velocidade, comprimento de onda e frequência

$$T = 1/f$$

período e frequência são inversos

$$I = P / A$$

intensidade, potência espalhada por área

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

a área da esfera, quando a fonte é puntiforme

$$\beta = 10 \cdot \log_{10} (I / I_0)$$

nível sonoro em decibel, com $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

ÓPTICA

$$n = c / v$$

índice de refração do meio

$$1/f = 1/p + 1/p'$$

equação de Gauss, quando a questão exigir conta de espelho ou lente

NA PRÁTICA

Uma frase resolve mais questão deste assunto que qualquer fórmula. **A frequência pertence à fonte e a velocidade pertence ao meio.** Quando uma onda troca de meio, a frequência fica igual e o comprimento de onda se ajusta, e é daí que sai a refração.

O que é uma onda, e as três medidas que a descrevem

Onda é uma perturbação que se propaga transportando energia sem transportar matéria. Uma rolha na superfície de um lago sobe e desce quando a onda passa por ela, e continua no mesmo lugar depois. O que viajou foi a energia.

Existem duas famílias, e a diferença entre elas cai direto.

Ondas mecânicas precisam de um meio material para existir. O som é o exemplo principal. Sem ar, sem água, sem sólido, não há som. É por isso que explosão no espaço é silenciosa, por mais que o cinema insista no contrário.

Ondas eletromagnéticas dispensam meio e propagam no vácuo. A luz é a mais familiar delas, e viaja a cerca de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ no vácuo. É por isso que a luz do Sol chega até aqui atravessando o espaço vazio.

As três grandezas

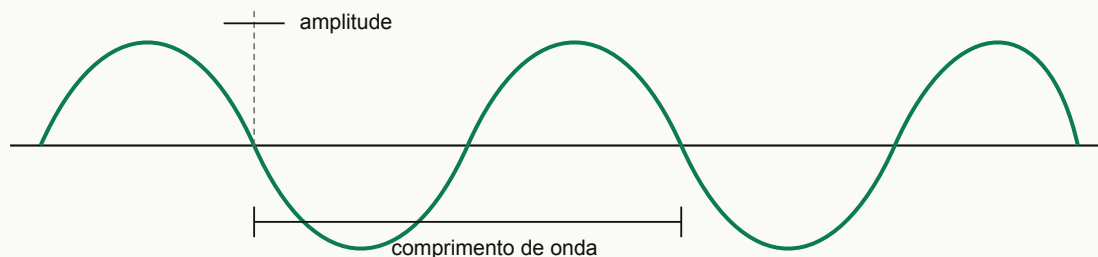
Amplitude é a altura da perturbação em relação à posição de repouso. Ela carrega a energia da onda. Em som, amplitude maior significa som mais forte.

Comprimento de onda, o λ , é a distância entre duas cristas seguidas.

Frequência, o f , é quantas oscilações passam por um ponto a cada segundo, medida em hertz. O período T é o tempo de uma oscilação, e os dois são inversos, $T = 1/f$.

$$v = \lambda \cdot f$$

ONDA, AMPLITUDE E COMPRIMENTO DE ONDA



Uma onda em uma corda tem 40 cm de comprimento de onda e frequência de 25 Hz. A velocidade dela é $v = 0,40 \text{ m} \times 25 \text{ Hz} = 10 \text{ m/s}$. Se a frequência da fonte dobrar sem trocar a corda, a velocidade continua 10 m/s, porque quem determina a velocidade é a corda, e o comprimento de onda cai para 20 cm.

O som, e as três qualidades que a prova pede

Som é onda mecânica longitudinal, ou seja, as partículas do meio oscilam na mesma direção em que a onda avança, comprimindo e rarefazendo o ar.

QUALIDADE	DEPENDE DE	O QUE MUDA PARA QUEM OUVI
Altura	frequência	som agudo, de frequência alta, ou grave, de frequência baixa
Intensidade	amplitude	volume, o som mais forte ou mais fraco
Timbre	forma da onda	o que distingue um violão de um piano na mesma nota

A palavra "altura" em Física de ondas significa agudo ou grave, e nada tem a ver com o volume. No uso cotidiano as pessoas dizem que o som está alto quando querem dizer forte, e a prova explora exatamente essa confusão.

GUARDE ISTO

A frequência é da fonte e a velocidade é do meio. Trocando de meio, a frequência não muda, e o comprimento de onda se ajusta para manter a igualdade $v = \lambda \cdot f$.

Intensidade, decibel, Doppler e os seis fenômenos

Intensidade e a queda com a distância

Intensidade é a potência que atravessa cada unidade de área, medida em watt por metro quadrado.

$$I = P / A$$

Quando a fonte é puntiforme e emite igual para todos os lados, a energia se espalha sobre uma esfera que cresce à medida que se afasta.

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

Como o raio entra ao quadrado, **dobrar a distância divide a intensidade por quatro**, e triplicar divide por nove. Esse comportamento vale para som, luz, sinal de rádio e qualquer fonte que espalhe energia em todas as direções.

Um alto-falante de 18 W tratado como fonte puntiforme, ouvido a 5 m de distância, com $\pi \approx 3$, espalha a energia sobre $A = 4 \times 3 \times 5^2 = 300 \text{ m}^2$. A intensidade ali vale $I = 18/300 = 0,06 \text{ W/m}^2$. A 10 m, o dobro da distância, ela cai para um quarto disso.

A escala de decibel

O ouvido humano abrange uma faixa enorme de intensidades, então a medida usual comprime essa faixa com um logaritmo.

$$\beta = 10 \cdot \log_{10}(I / I_0)$$

Um som de intensidade 10^{-4} W/m^2 está 10^8 vezes acima do limiar, e $\beta = 10 \times \log_{10}(10^8) = 80 \text{ dB}$.

A escala é logarítmica, então cada 10 dB a mais significa dez vezes mais intensidade. Somar duas fontes iguais acrescenta cerca de 3 dB ao total, e nunca dobra o valor em decibel.

Efeito doppler

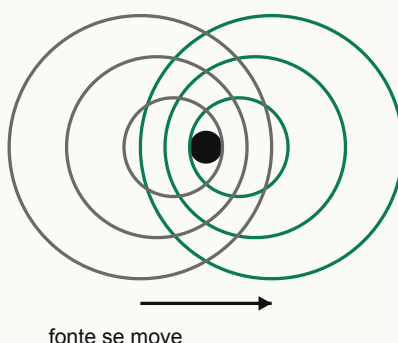
Quando fonte e observador se aproximam, as frentes de onda chegam mais juntas e a frequência percebida sobe. Quando se afastam, as frentes chegam mais espaçadas e a frequência percebida cai. A fonte mantém a mesma frequência do começo ao fim. A diferença aparece só na chegada, pelo espaçamento com que as frentes alcançam quem ouve.

Uma moto de corrida passando em frente à arquibancada tem o ronco percebido mais agudo enquanto se aproxima e nitidamente mais grave assim que passa. O motor não mudou de rotação em nenhum instante.

FRENTES DE ONDA DE UMA FONTE EM MOVIMENTO

frentes espaçadas, mais grave

frentes comprimidas, mais agudo



Os seis fenômenos, e como separar um do outro

FENÔMENO	O QUE ACONTECE	PISTA NO ENUNCIADO
Reflexão	a onda volta ao mesmo meio ao bater numa superfície	eco, espelho, superfície polida
Refração	a onda muda de meio e muda de direção porque a velocidade muda	lente, água, mudança de meio
Difração	a onda contorna obstáculo ou abertura de tamanho comparável ao λ	fenda estreita, som que dobra a esquina
Interferência	duas ondas se somam, reforçando ou cancelando	duas fontes, cancelamento, reforço
Polarização	seleciona uma direção de vibração, só em onda transversal	filtro, óculos de sol, tela
Absorção	o meio retém a energia da onda	aquecimento, atenuação, material escuro

Duas caixas de som ligadas ao mesmo sinal criam, em uma sala, pontos onde o som some quase por completo e pontos onde ele fica reforçado. Nas posições em que uma crista encontra um vale, as duas ondas se cancelam. Isso é interferência destrutiva, e não tem relação com o material da parede.

GUARDE ISTO

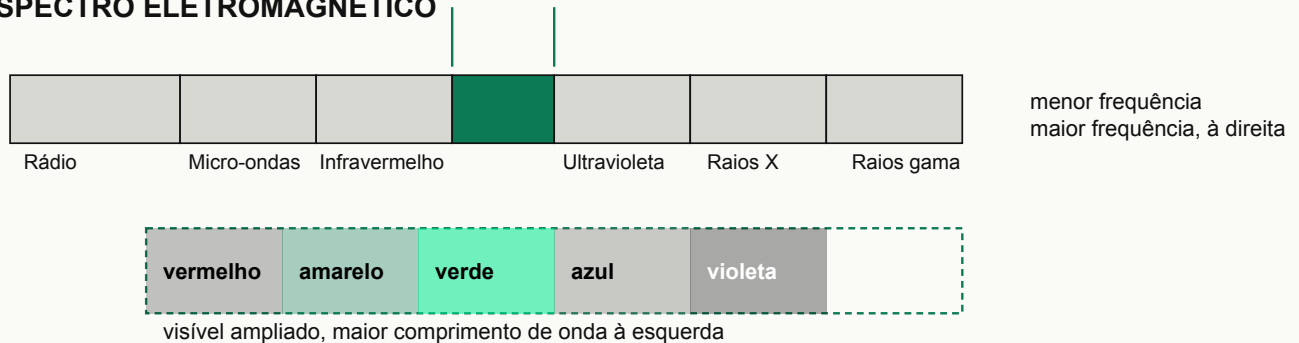
Difração depende do tamanho da abertura comparado ao comprimento de onda. Abertura muito maior que λ praticamente não difrata, e o enunciado que faz questão de informar essa comparação está descartando difração de propósito.

Espectro, espelhos e a diferença entre as duas imagens

O espectro eletromagnético

Toda onda eletromagnética tem a mesma velocidade no vácuo, então frequência e comprimento de onda são inversos entre si. Ordenando da menor frequência para a maior, o espectro vai de ondas de rádio até raios gama.

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



Reflexão e espelhos

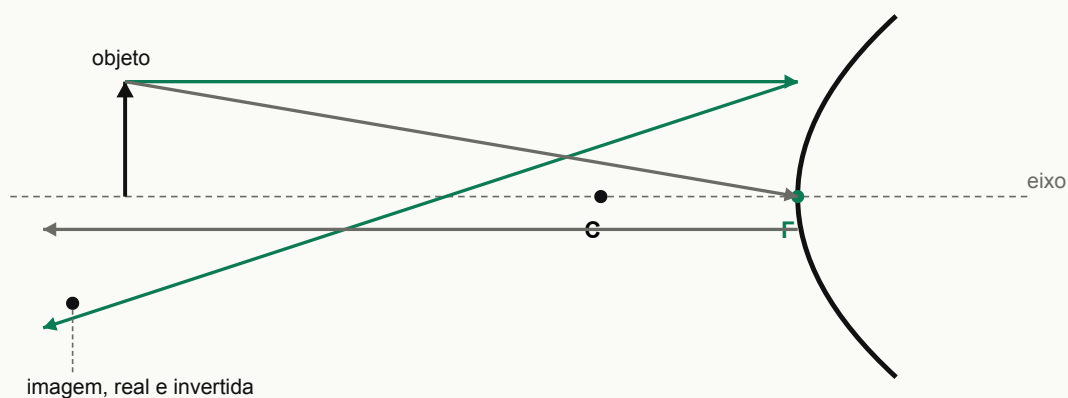
Na reflexão a onda volta ao meio de origem, e o ângulo de saída é igual ao de chegada, ambos medidos a partir da reta perpendicular à superfície.

O **espelho plano** forma imagem virtual, direita e do mesmo tamanho do objeto, à mesma distância do outro lado.

O **espelho côncavo** é o que a prova prefere, porque ele converge a luz e pode formar imagem real. Dois raios bastam para achar a imagem.

- ☐ Raio que chega paralelo ao eixo reflete passando pelo foco
- ☐ Raio que chega passando pelo foco reflete paralelo ao eixo

ESPELHO CÔNCAVO E OS DOIS RAIOS NOTÁVEIS



Um espelho côncavo de 12 cm de distância focal, com um objeto a 30 cm dele, forma imagem real e invertida. Pela equação de Gauss, $1/12 = 1/30 + 1/p'$, então $1/p' = 1/12 - 1/30 = 5/60 - 2/60 = 3/60$, e $p' = 20$ cm. O sinal positivo confirma que a imagem é real.

Um caso merece atenção porque a prova gosta dele. **Objeto colocado exatamente no foco não forma imagem**, porque os raios saem paralelos entre si e nunca se cruzam. Esses raios paralelos, ao encontrarem outro espelho côncavo, convergem no foco dele.

Imagem real e imagem virtual

	IMAGEM REAL	IMAGEM VIRTUAL
Como se forma	os raios de luz de fato se cruzam	apenas os prolongamentos se cruzam
Dá para projetar em anteparo	sim	não
Posição	do mesmo lado do objeto, em espelho	atrás do espelho
Orientação, em espelho côncavo	invertida	direita

Refração

Ao passar de um meio para outro a luz muda de velocidade, e por isso muda de direção. O índice de refração compara a velocidade no vácuo com a velocidade no meio.

$$n = c / v$$

Meio com índice maior deixa a luz mais lenta e desvia mais. A frequência permanece a mesma durante todo o processo, e quem se ajusta é o comprimento de onda.

É a refração que faz a colher parecer quebrada dentro do copo, que forma o arco-íris ao separar as cores, e que permite ao cristalino projetar na retina uma imagem invertida do que está à frente dos olhos.

GUARDE ISTO

Imagem real se projeta em um anteparo, imagem virtual jamais. Esse é o teste que resolve qualquer alternativa que peça a natureza da imagem.

Cinco atalhos que salvam tempo na prova

01 A frequência é da fonte, a velocidade é do meio

Toda vez que uma onda troca de meio, risque a frequência da lista de coisas que podem mudar. Sobram velocidade e comprimento de onda, e os dois mudam juntos. Alternativa que afirma que a frequência mudou na refração está errada, e ela aparece com frequência.

02 Aproximando é agudo, afastando é grave

Serve para qualquer questão de Doppler, com sirene, buzina, motor ou radar, sem precisar da fórmula. E vale igual para onda eletromagnética, então sinal refletido por alvo que se aproxima volta com frequência maior que a emitida.

03 Dobrou a distância, a intensidade caiu para um quarto

O raio entra ao quadrado na área da esfera. Questão que pede comparação entre duas distâncias se resolve por razão, sem calcular intensidade nenhuma.

04 Decibel não soma direto

Cada 10 dB a mais representa dez vezes mais intensidade. Se a sua conta produziu centenas de decibéis, você multiplicou em vez de somar dentro do logaritmo. Som de rua movimentada fica na casa dos 70 dB e show alto na casa dos 110 dB, então qualquer resposta muito acima disso merece desconfiança.

05 Para nomear o fenômeno, procure a palavra-chave do enunciado

Mudou de meio é refração. Voltou pelo mesmo meio é reflexão. Duas fontes que se somam ou se cancelam é interferência. Contornou um obstáculo do tamanho do comprimento de onda é difração. O enunciado quase sempre entrega a pista sem disfarce.

DESTAQUE, o mnemônico do assunto > A FREQUÊNCIA É DA FONTE, A VELOCIDADE É DO MEIO.

ENEM 2023 · QUESTÃO 113 DO CADERNO 7, AZUL

O *bluetooth* é uma tecnologia de comunicação sem fio, de curto alcance, presente em diferentes dispositivos eletrônicos de consumo. Ela permite que aparelhos eletrônicos diferentes se conectem e troquem dados entre si. No padrão *bluetooth*, denominado de Classe 2, as antenas transmitem sinais de potência igual a 2,4 mW e possibilitam conectar dois dispositivos distanciados até 10 m. Considere que essas antenas se comportam como fontes puntiformes que emitem ondas eletromagnéticas esféricas e que a intensidade do sinal é calculada pela potência por unidade de área. Considere 3 como valor aproximado para π .

Para que o sinal de *bluetooth* seja detectado pelas antenas, o valor mínimo de sua intensidade, em W/m^2 , é mais próximo de

- (A) $2,0 \times 10^{-6}$
- (B) $2,0 \times 10^{-5}$
- (C) $2,4 \times 10^{-5}$
- (D) $2,4 \times 10^{-3}$
- (E) $2,4 \times 10^{-1}$

Como resolver

01 Entenda por que a distância máxima dá a intensidade mínima. O enunciado diz que a conexão funciona até 10 m. Quanto mais longe, mais espalhada fica a energia e menor a intensidade que chega. Então a situação limite, com 10 m, é justamente a de menor intensidade ainda detectável.

02 Converta a potência para a unidade do sistema.

$$P = 2,4 \text{ mW} = 2,4 \times 10^{-3} \text{ W}$$

03 Calcule a área sobre a qual essa potência se espalha. A antena é fonte puntiforme e emite igual em todas as direções, então a energia atravessa a superfície de uma esfera de raio 10 m. Use $\pi \approx 3$, como o enunciado autoriza.

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4 \times 3 \times (10 \text{ m})^2 = 1\,200 \text{ m}^2$$

04 Divida a potência pela área.

$$I = P / A = 2,4 \times 10^{-3} \text{ W} / 1\,200 \text{ m}^2 = 2,0 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

AResposta correta · **$2,0 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$** **O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

Duas alternativas começam com 2,0 e três começam com 2,4. Dividir 2,4 por 1,2 dá exatamente 2,0, então o algarismo já elimina três opções antes de qualquer potência de dez. Entre as duas restantes sobra conferir o expoente, e 10^{-3} dividido por 10^3 dá 10^{-6} .

Uma ambulância em alta velocidade com a sirene ligada desloca-se em direção a um radar operado por uma pessoa. O radar emite ondas de rádio com frequência f_0 que são refletidas pela dianteira da ambulância, retornando para o detector com frequência f_r . A percepção do operador do radar, em relação ao som emitido pela sirene, é de que este se altera à medida que a ambulância se aproxima ou se afasta.

Durante a aproximação, como o operador percebe o som da sirene e qual é a relação entre as frequências f_r e f_0 medidas pelo radar?

- (A) Mais grave do que o som emitido e $f_r < f_0$.
- (B) Mais agudo do que o som emitido e $f_r < f_0$.
- (C) Mais agudo do que o som emitido e $f_r = f_0$.
- (D) Mais agudo do que o som emitido e $f_r > f_0$.
- (E) Mais grave do que o som emitido e $f_r > f_0$.

Como resolver

- 01** Perceba que a questão pergunta duas coisas independentes. Uma é sobre o som da sirene chegando ao ouvido do operador. A outra é sobre a onda de rádio que sai do radar, bate na ambulância e volta. Responda separado e cruze no fim.
- 02** Resolva a parte do som. A ambulância se aproxima do operador, então as frentes de onda sonoras chegam mais juntas do que seriam se ela estivesse parada. Frequência percebida maior significa som **mais agudo**. Isso elimina as alternativas A e E.
- 03** Resolva a parte do radar, e repare que o Doppler age duas vezes. Primeiro, a ambulância se aproxima da fonte de rádio, então ela **recebe** uma frequência maior que f_0 . Em seguida, ao refletir esse sinal, ela passa a se comportar como uma fonte em movimento de aproximação em relação ao detector, o que aumenta a frequência **de novo**. Os dois efeitos somam no mesmo sentido.
- $$f_r > f_0$$
- 04** Descarte o distrator que trata onda de rádio como caso à parte. A alternativa C afirma que a frequência do radar volta igual à emitida, apostando que o aluno acredite que o efeito Doppler só vale para som. O efeito depende do movimento relativo entre fonte e observador, e vale para qualquer onda.
- 05** Cruze as duas conclusões. Mais agudo, e $f_r > f_0$.

DResposta correta · **mais agudo do que o som emitido e $f_r > f_0$** **O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

Tudo que se aproxima chega com frequência maior, sem exceção e sem depender do tipo de onda.

Aplicando essa única ideia às duas metades da pergunta, as duas respostas apontam para cima, e só a alternativa D tem as duas subindo.

Quatro erros que a prova já deixa preparados

Achar que a frequência muda ao trocar de meio

Na refração muda a velocidade e muda o comprimento de onda, e a frequência permanece a mesma do começo ao fim, porque ela é imposta pela fonte. A alternativa que troca isso está em quase toda questão de refração. **Quem emite decide a frequência, o meio decide a velocidade.**

Inverter o sentido do doppler

Aproximação aumenta a frequência percebida e afastamento diminui. Quem decorou a regra sem entender a causa troca os dois sob pressão. Vale lembrar que o efeito não distingue som de onda eletromagnética, então tratar radar como exceção também é erro.

Tratar decibel como escala linear

Somar ou multiplicar decibéis direto produz valores absurdos, na casa das centenas, e essas alternativas costumam estar disponíveis justamente para receber quem pulou o logaritmo. Dobrar a intensidade acrescenta cerca de 3 dB.

Confundir imagem real com imagem que parece estar ali

Uma imagem pode ser vista com clareza, parecer sólida e ainda assim ser virtual, ou ser real e flutuar no ar sem anteparo nenhum. O critério é geométrico e único, os raios de luz se cruzam de verdade ou apenas os prolongamentos deles. Impressão visual não decide nada.

Agora é com você

01**ENEM 2020 · Q. 111 · CAD. 7 AZUL**

Os fones de ouvido tradicionais transmitem a música diretamente para os nossos ouvidos. Já os modelos dotados de tecnologia redutora de ruído — Cancelamento de Ruído (CR) — além de transmitirem música, também reduzem todo ruído inconsistente à nossa volta, como o barulho de turbinas de avião e aspiradores de pó. Os fones de ouvido CR não reduzem realmente barulhos irregulares como discursos e choros de bebês. Mesmo assim, a supressão do ronco das turbinas do avião contribui para reduzir a "fadiga de ruído", um cansaço persistente provocado pela exposição a um barulho alto por horas a fio. Esses aparelhos também permitem que nós ouçamos músicas ou assistamos a vídeos no trem ou no avião a um volume muito menor (e mais seguro).

A tecnologia redutora de ruído CR utilizada na produção de fones de ouvido baseia-se em qual fenômeno ondulatório?

- (A) Absorção.
- (B) Interferência.
- (C) Polarização.
- (D) Reflexão.
- (E) Difração.

02**ENEM 2023 · Q. 112 · CAD. 7 AZUL**

Informações digitais — dados — são gravadas em discos ópticos, como CD e DVD, na forma de cavidades microscópicas. A gravação e a leitura óptica dessas informações são realizadas por um laser (fonte de luz monocromática). Quanto menores as dimensões dessas cavidades, mais dados são armazenados na mesma área do disco. O fator limitante para a leitura de dados é o espalhamento da luz pelo efeito de difração, fenômeno que ocorre quando a luz atravessa um obstáculo com dimensões da ordem de seu comprimento de onda. Essa limitação motivou o desenvolvimento de lasers com emissão em menores comprimentos de onda, possibilitando armazenar e ler dados em cavidades cada vez menores.

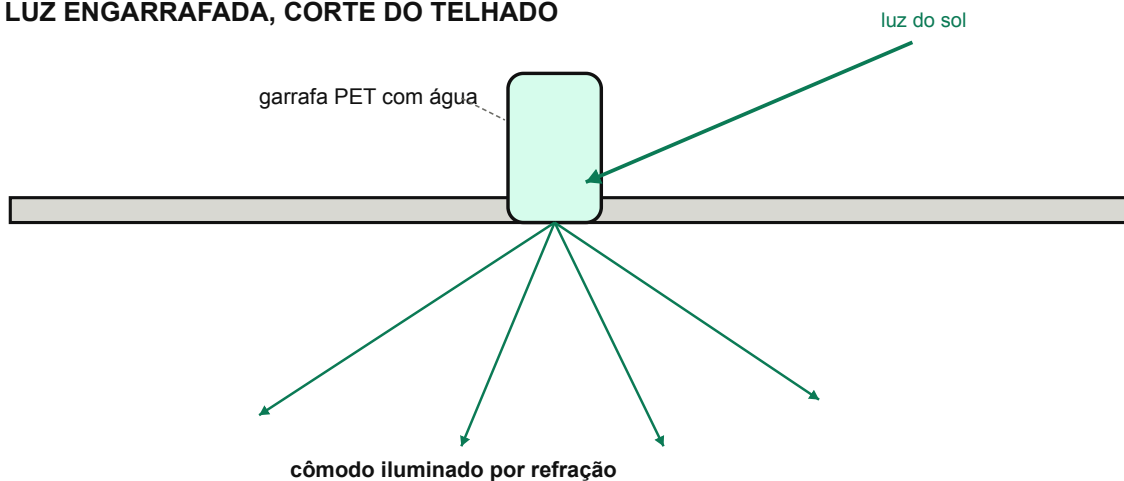
Em qual região espectral se situa o comprimento de onda do laser que otimiza o armazenamento e a leitura de dados em discos de uma mesma área?

- (A) Violeta.
- (B) Azul.
- (C) Verde.
- (D) Vermelho.
- (E) Infravermelho.

03

ENEM 2022 · Q. 135 · CAD. 7 AZUL

Em 2002, um mecânico da cidade mineira de Uberaba (MG) teve uma ideia para economizar o consumo de energia elétrica e iluminar a própria casa num dia de sol. Para isso, ele utilizou garrafas plásticas PET com água e cloro, conforme ilustram as figuras. Cada garrafa foi fixada ao telhado de sua casa em um buraco com diâmetro igual ao da garrafa, muito maior que o comprimento de onda da luz. Nos últimos dois anos, sua ideia já alcançou diversas partes do mundo e deve atingir a marca de 1 milhão de casas utilizando a "luz engarrafada".

A LUZ ENGARRAFADA, CORTE DO TELHADO

Que fenômeno óptico explica o funcionamento da "luz engarrafada"?

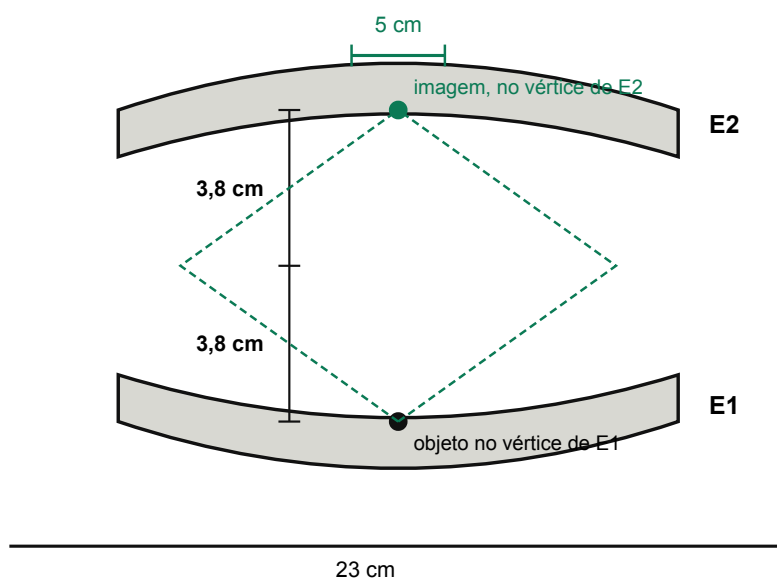
- (A) Difração.
- (B) Absorção.
- (C) Polarização.
- (D) Reflexão.
- (E) Refração.

04

ENEM 2024 · Q. 100 · CAD. 7 AZUL

Mirascópio 3D: produtor de ilusão instantânea

O equipamento ilustrado na figura, de dimensões apresentadas no esquema, é composto por dois espelhos côncavos E_1 e E_2 , apoiados um sobre o outro por suas bordas, de tal forma que o vértice de E_1 coincide com o foco de E_2 e vice-versa. Na abertura circular de E_2 , é formada uma imagem tridimensional de um objeto posicionado sobre o vértice de E_1 . Essa imagem é formada a partir dos raios procedentes do objeto, refletidos por E_2 e E_1 , respectivamente, conforme o esquema. Os observadores julgam visualizar o objeto quando estão, de fato, visualizando sua imagem. O efeito só é possível porque as superfícies de ambos os espelhos são de extrema qualidade.

MIRASCÓPIO, ESQUEMA EM CORTE

A natureza da imagem formada e a distância vertical entre cada ponto objeto e seu correspondente ponto imagem são

- (A) real e 5 cm.
- (B) real e 3,8 cm.
- (C) real e 7,6 cm.
- (D) virtual e 7,6 cm.
- (E) virtual e 3,8 cm.

Gabarito comentado na página 104.

CINEMÁTICA E DINÂMICA

04

Como as coisas se movem, e o que faz elas mudarem de ideia.

POR QUE CAI

Este é o assunto que a escola ensina primeiro e que a prova cobra de um jeito diferente do que o aluno treinou. O ENEM pede pouca fórmula isolada e muita comparação, se a força foi maior ou menor, se o tempo foi mais longo ou mais curto, qual figura representa a trajetória. O cenário é quase sempre trânsito, esporte, obra ou acidente. Dinâmica com atrito e colisão aparece mais que cinemática pura.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Impulso e colisão, que é o recorte que a prova mais gosta
- ☐ As três leis de Newton, principalmente a primeira em situação de acidente
- ☐ Atrito estático contra atrito cinético, com o diagrama de forças
- ☐ Lançamento vertical, e o que acontece exatamente no ponto mais alto
- ☐ MRU e MRUV combinados na mesma questão, que é como eles caem

MOVIMENTO

$$s = s_0 + v \cdot t$$

posição no movimento uniforme

$$v = v_0 + a \cdot t$$

velocidade no movimento uniformemente variado

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + a \cdot t^2 / 2$$

posição no movimento uniformemente variado

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

Torricelli, quando o tempo não aparece

FORÇA E COLISÃO

$$F = m \cdot a$$

segunda lei de Newton

$$F_{at} = \mu \cdot N$$

força de atrito

$$I = F \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot v)$$

impulso e variação da quantidade de movimento

$$\Sigma p_{antes} = \Sigma p_{depois}$$

conservação da quantidade de movimento

NA PRÁTICA

Uma ideia sozinha resolve air bag, capacete, zona de deformação de carro e colchão de salto em altura. Para a mesma variação de velocidade, **alongar o tempo de contato reduz a força média**. Todo equipamento de proteção do mundo é uma aplicação dessa frase.

Movimento uniforme, movimento acelerado e a queda

Descrever um movimento é dizer onde o corpo está a cada instante, e para isso é preciso antes escolher um **referencial**. Velocidade sempre se mede em relação a alguma coisa, e questão de prova às vezes muda o referencial no meio do enunciado de propósito.

Movimento uniforme

Velocidade constante, sem aceleração. A posição avança em partes iguais em tempos iguais.

$$s = s_0 + v \cdot t$$

Movimento uniformemente variado

Aceleração constante. A velocidade muda em partes iguais em tempos iguais, e a posição avança cada vez mais rápido.

$$v = v_0 + a \cdot t$$

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + a \cdot t^2/2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

A terceira, chamada equação de Torricelli, é a que mais economiza tempo, porque ela liga velocidade e distância **sem passar pelo tempo**. Sempre que o enunciado não pergunta nem fornece o tempo, comece por ela.

Um trem parte do repouso com aceleração de $0,5 \text{ m/s}^2$ e mantém isso até atingir 15 m/s . A velocidade é alcançada em $t = 15/0,5 = 30 \text{ s}$, e nesse trecho ele percorre $\Delta s = v^2/(2a) = 15^2/(2 \times 0,5) = 225 \text{ m}$. Daí em diante, se a aceleração cessa, ele segue em movimento uniforme e cada 15 m custam mais um segundo.

Questão de trânsito quase sempre soma os dois movimentos, um trecho acelerando e outro em velocidade constante. Trate como dois problemas e some os tempos no fim.

Conversão que cai sempre

Enunciado dá em km/h e a conta pede m/s . Divida por 3,6 para ir de km/h para m/s , e multiplique por 3,6 no caminho inverso.

Queda e lançamento vertical

Perto da superfície da Terra, todo corpo abandonado cai com a mesma aceleração, cerca de 10 m/s^2 para baixo, sem depender da massa. A prova costuma mandar desprezar a resistência do ar, e é essa autorização que faz a massa sumir da conta.

No lançamento vertical para cima, a aceleração **continua valendo 10 m/s^2 para baixo do começo ao fim**, inclusive no ponto mais alto. O que zera lá em cima é a velocidade, e por um instante apenas.

Uma pedra lançada para cima a 20 m/s leva $t = 20/10 = 2$ s para chegar ao topo, e sobe $\Delta s = 20^2 / (2 \times 10) = 20$ m. A subida e a descida levam o mesmo tempo, então ela volta ao ponto de partida 4 s depois de sair.

GUARDE ISTO

Velocidade zero não significa aceleração zero. No ponto mais alto de um lançamento vertical a velocidade é nula e a aceleração continua sendo a da gravidade, apontando para baixo. Essa é a pergunta mais repetida do assunto.

As leis de Newton, o atrito e o diagrama de forças

Primeira lei, a inércia

Um corpo mantém o estado de movimento em que está enquanto a força resultante sobre ele for nula. Parado continua parado, e em movimento retilíneo continua com a mesma velocidade.

A inércia explica por que o passageiro é lançado para a frente quando o carro freia. Nada empurrou o passageiro. O carro parou e ele continuou, porque nenhuma força agiu sobre ele para pará-lo, e é para isso que existe o cinto.

Segunda lei

A força resultante produz aceleração, na mesma direção e no mesmo sentido dela.

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$$

Um carrinho de 4 kg recebe força resultante de 12 N e adquire $a = 12/4 = 3 \text{ m/s}^2$. Dobrando a massa e mantendo a força, a aceleração cai pela metade.

Terceira lei, ação e reação

Toda força que um corpo aplica em outro vem acompanhada de uma força de mesma intensidade e direção, em sentido oposto, aplicada **no outro corpo**.

Ação e reação nunca se cancelam, porque atuam em corpos diferentes. Só se somam para dar resultante nula as forças que agem sobre o mesmo corpo. Confundir isso leva à conclusão de que nada pode acelerar nunca.

Força de atrito

O atrito nasce do contato entre duas superfícies e sempre se opõe ao escorregamento, real ou na iminência de acontecer.

$$F_{at} = \mu \cdot N$$

Ele depende da força normal e da natureza das superfícies, e **não depende da área de contato** nem da velocidade, em nível de ENEM.

	ATRITO ESTÁTICO	ATRITO CINÉTICO
Quando age	o corpo ainda não escorrega	o corpo já está escorregando
Valor	ajusta-se até um máximo	aproximadamente constante
Comparação	o máximo é maior	costuma ser um pouco menor

O **ângulo crítico** é a inclinação exata em que a componente da força ao longo da superfície iguala o atrito estático máximo. Um grau a mais e o corpo desliza.

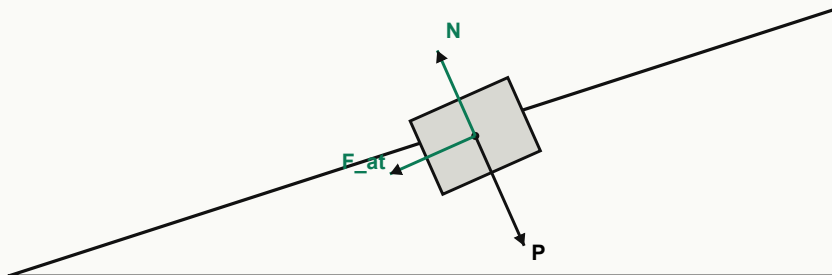
Uma caixa de 20 kg em piso horizontal, com coeficiente de atrito estático de 0,4, precisa de $F_{at \text{ máx}} = 0,4 \times 20 \times 10 = 80 \text{ N}$ para começar a se mover. Empurrar com 60 N não move nada, e o atrito responde com exatos 60 N no sentido contrário. Empurrar com 90 N vence o limite e a caixa parte.

Como montar um diagrama de forças

Este é o procedimento que resolve toda questão de esquema de forças, e a prova cobra o desenho pronto em vez do cálculo.

1. Desenhe apenas o corpo, isolado de tudo 2. O **peso** sai sempre do centro de massa, apontando para baixo 3. A **normal** sai do ponto de contato, perpendicular à superfície de apoio 4. O **atrito** sai do ponto de contato, paralelo à superfície, contra o escorregamento 5. Forças aplicadas por fora entram no ponto onde de fato são aplicadas

BLOCO EM PLANO INCLINADO, DIAGRAMA DE FORÇAS



GUARDE ISTO

Peso no centro de massa, normal e atrito no ponto de contato. Três origens, e a prova erra justamente aí quando quer derrubar.

Impulso, colisão e movimentos que acontecem juntos

Quantidade de movimento

É o produto da massa pela velocidade, e mede o quanto custa parar um corpo. Um caminhão devagar e um carro veloz podem ter a mesma quantidade de movimento.

$$p = m \cdot v$$

Impulso

É o produto da força pelo tempo em que ela age, e o resultado dele é justamente a variação da quantidade de movimento.

$$I = F \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot v)$$

Essa igualdade é a peça mais rentável do assunto. Ela diz que, **fixada a variação de velocidade, força e tempo são inversamente proporcionais**. Se o tempo de contato dobra, a força média cai pela metade.

Uma bola de 0,6 kg chega a 8 m/s e para nas mãos de quem a segura. A variação da quantidade de movimento vale $0,6 \times 8 = 4,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. Segurando com as mãos rígidas, em 0,05 s, a força média é $4,8/0,05 = 96 \text{ N}$. Recuando as mãos e estendendo o contato para 0,2 s, a mesma bola exige apenas $4,8/0,2 = 24 \text{ N}$. O jogador não diminuiu o impulso, ele diminuiu a força.

É esse raciocínio que explica air bag, capacete, luva de goleiro, colchão de salto e a zona que amassa na frente do carro. Nenhum deles reduz a variação de velocidade, todos alongam o tempo.

Conservação da quantidade de movimento

Quando duas coisas colidem e nenhuma força externa relevante age durante o choque, a soma das quantidades de movimento antes é igual à soma depois.

$$\Sigma p_{\text{antes}} = \Sigma p_{\text{depois}}$$

Um carrinho de 3 kg a 4 m/s bate em outro de 1 kg parado e os dois seguem juntos. Antes, a quantidade de movimento total vale $3 \times 4 = 12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. Depois, a massa é 4 kg, então $v = 12/4 = 3 \text{ m/s}$. A quantidade de movimento se conservou, e a energia cinética não, porque parte dela virou deformação e calor.

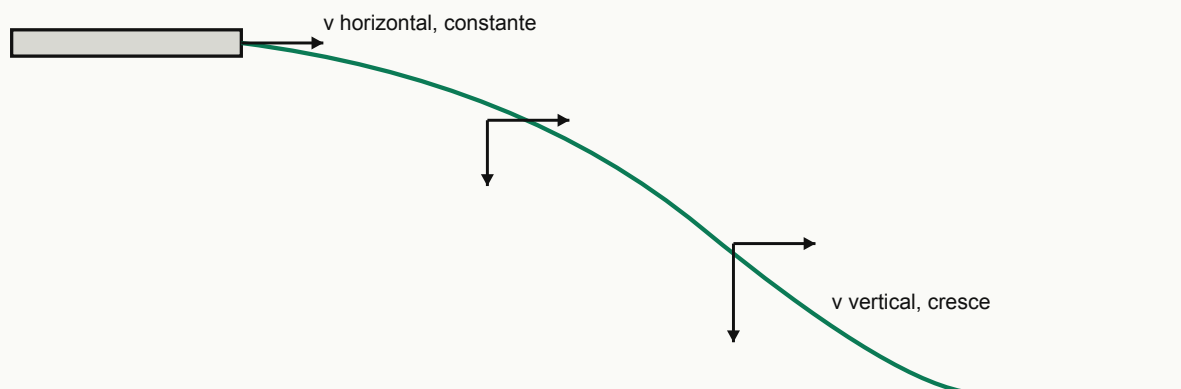
Quantidade de movimento e energia mecânica são coisas diferentes. Numa colisão em que os corpos se deformam ou grudam, a quantidade de movimento se conserva e a energia mecânica não. Tratar as duas como equivalentes é erro comum.

Dois movimentos ao mesmo tempo

Um corpo lançado horizontalmente executa dois movimentos independentes que acontecem juntos. Na horizontal a velocidade não muda, porque nada empurra naquela direção. Na vertical ele cai como se tivesse sido simplesmente solto.

O resultado é uma curva que começa horizontal e vai ficando cada vez mais inclinada, porque a cada instante a parcela vertical da velocidade cresce enquanto a horizontal permanece.

LANÇAMENTO HORIZONTAL, TRÊS INSTANTES



GUARDE ISTO

Para o mesmo impulso, mais tempo significa menos força. E na colisão em que os corpos ficam grudados, a quantidade de movimento se conserva e a energia mecânica se perde.

Cinco atalhos que salvam tempo na prova

01 Mais tempo de colisão, menos força

Toda questão de proteção, com air bag, capacete, barreira ou colchão, sai dessa única frase. O impulso é o mesmo dos dois lados, então quem alonga o tempo reduz a força média. Se a alternativa disser que a colisão mais demorada gera força maior, ela está invertida.

02 No ponto mais alto, a velocidade zero e a aceleração não

Vale para lançamento vertical e para qualquer instante em que um movimento inverte de sentido. A gravidade não tira folga no topo. Alternativa que zera a aceleração ali está errada, e ela aparece em toda questão do tipo.

03 Sem tempo no enunciado, comece por torricelli

Quando a questão dá velocidade e distância e não menciona tempo, $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$ resolve em uma linha. Tentar pelo caminho das outras duas equações obriga a achar o tempo primeiro e depois descartá-lo.

04 Divida por 3,6 antes de qualquer conta

Enunciado de trânsito vem em km/h e as fórmulas trabalham em m/s. Converta na primeira linha do rascunho, antes de escolher a equação, e não no meio da conta.

05 Em diagrama de forças, confira a origem de cada seta

Peso sai do centro de massa. Normal e atrito saem do ponto de contato. As alternativas erradas costumam ter as setas certas nos lugares errados, e quem confere só o sentido cai.

DESTAQUE, o mnemônico do assunto > MESMO IMPULSO, MAIS TEMPO, MENOS FORÇA.

Você foi contratado para sincronizar os quatro semáforos de uma avenida, indicados pelas letras O, A, B e C, conforme a figura.

OS QUATRO SEMÁFOROS DA AVENIDA

Os semáforos estão separados por uma distância de 500 m. Segundo os dados estatísticos da companhia controladora de trânsito, um veículo, que está inicialmente parado no semáforo O, tipicamente parte com aceleração constante de 1 m s^{-2} até atingir a velocidade de 72 km h^{-1} e, a partir daí, prossegue com velocidade constante. Você deve ajustar os semáforos A, B e C de modo que eles mudem para a cor verde quando o veículo estiver a 100 m de cruzá-los, para que ele não tenha que reduzir a velocidade em nenhum momento.

Considerando essas condições, aproximadamente quanto tempo depois da abertura do semáforo O os semáforos A, B e C devem abrir, respectivamente?

- (A) 20 s, 45 s e 70 s.
- (B) 25 s, 50 s e 75 s.
- (C) 28 s, 42 s e 53 s.
- (D) 30 s, 55 s e 80 s.
- (E) 35 s, 60 s e 85 s.

Como resolver

- 01** Converta a velocidade antes de tudo.

$$72 \text{ km/h} \div 3,6 = 20 \text{ m/s}$$

- 02** Descubra quando e onde o carro para de acelerar. Ele parte do repouso com $a = 1 \text{ m/s}^2$, então leva $t = 20/1 = 20 \text{ s}$ para chegar a 20 m/s. Nesse trecho ele percorre, por Torricelli, A partir daí o movimento é uniforme, a 20 m/s.

$$\Delta s = v^2 / (2a) = 20^2 / (2 \times 1) = 200 \text{ m}$$

- 03** Traduza a exigência do enunciado em uma posição. O semáforo precisa abrir quando o carro estiver a 100 m dele. Como A fica a 500 m da origem, o instante procurado é aquele em que o carro passa pelos 400 m.

- 04** Some os dois trechos até 400 m. Os primeiros 200 m custam 20 s, acelerando. Os 200 m restantes são percorridos a 20 m/s e custam $200/20 = 10 \text{ s}$.

$$t_A = 20 \text{ s} + 10 \text{ s} = 30 \text{ s}$$

- 05** Repita para B e C, mudando só o trecho uniforme. B fica a 1 000 m, e o ponto de abertura é 900 m. C fica a 1 500 m, e o ponto de abertura é 1 400 m.

$$t_B = 20 \text{ s} + (900 - 200) / 20 = 20 + 35 = 55 \text{ s}$$

$$t_C = 20 \text{ s} + (1\,400 - 200) / 20 = 20 + 60 = 80 \text{ s}$$

DResposta correta · **30 s, 55 s e 80 s****O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

Depois do primeiro semáforo o carro está em movimento uniforme, então cada 500 m seguinte custa sempre $500/20 = 25 \text{ s}$. Basta então achar o primeiro tempo e somar 25 s a cada semáforo. Só a alternativa D tem os intervalos de 25 s entre os três valores.

Em qualquer obra de construção civil é fundamental a utilização de equipamentos de proteção individual, tal como capacetes. Por exemplo, a queda livre de um tijolo de massa $2,5 \text{ kg}$ de uma altura de 5 m , cujo impacto contra um capacete pode durar até $0,5 \text{ s}$, resulta em uma força impulsiva média maior do que o peso do tijolo. Suponha que a aceleração gravitacional seja 10 m s^{-2} e que o efeito de resistência do ar seja desprezível.

A força impulsiva média gerada por esse impacto equivale ao peso de quantos tijolos iguais?

- (A) 2
- (B) 5
- (C) 10
- (D) 20
- (E) 50

Como resolver

- 01** Ache com que velocidade o tijolo chega ao capacete. Ele cai 5 m a partir do repouso. Como o enunciado não fala em tempo de queda, use Torricelli.

$$v^2 = 0 + 2 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} = 100 \text{ m}^2/\text{s}^2, \text{ então } v = 10 \text{ m/s}$$

- 02** Calcule a quantidade de movimento na chegada.

$$p = m \cdot v = 2,5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s} = 25 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

- 03** Aplique o impulso durante o impacto. O tijolo chega com 25 kg·m/s e para, então a variação vale 25 kg·m/s em módulo, distribuída ao longo dos 0,5 s de contato.

$$F = \Delta p / \Delta t = 25 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \div 0,5 \text{ s} = 50 \text{ N}$$

- 04** Calcule o peso de um tijolo, que é a unidade de comparação pedida.

$$P = m \cdot g = 2,5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 25 \text{ N}$$

- 05** Divida uma coisa pela outra.

$$50 \text{ N} \div 25 \text{ N} = 2$$

AResposta correta · **2 tijolos****O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

Repare que a massa aparece nos dois lados da divisão final e se cancela. A resposta é apenas $v / (g \cdot \Delta t) = 10 / (10 \times 0,5) = 2$, e não depende de quanto pesa o tijolo. Percebendo isso, a questão sai sem calcular força nem peso.

Sobre a leitura do enunciado. Um tempo de impacto de 0,5 s é longo para uma pancada real, e é justamente por ser longo que a força fica em apenas dois pesos. Capacete rígido de verdade encurtaria o contato e multiplicaria a força, que é o argumento a favor do amortecimento interno do equipamento.

Quatro erros que a prova já deixa preparados

Achar que velocidade zero significa aceleração zero

No ponto mais alto de um lançamento a velocidade é nula por um instante, e a aceleração da gravidade continua inteira, apontando para baixo. Quem associa parado com ausência de força marca a alternativa que zera as duas. **Parado por um instante é diferente de livre de forças.**

Inverter a relação entre tempo e força na colisão

Para a mesma variação de quantidade de movimento, colisão mais demorada produz força média **menor**. A alternativa invertida soa plausível porque associa demora a sofrimento prolongado, e é o oposto do que a Física diz.

Desenhar o peso no ponto de contato

Em questão de diagrama de forças, várias alternativas trazem as setas certas com origens trocadas. Peso sai do centro de massa, normal e atrito saem do ponto de apoio. Conferir só a direção das setas leva direto ao distrator.

Representar lançamento horizontal com reta ou com canto vivo

A trajetória é uma curva que vai ficando mais íngreme, porque a velocidade horizontal fica constante enquanto a vertical cresce. As alternativas oferecem uma reta inclinada, que ignora a aceleração, e um caminho em ângulo reto, que é a versão do desenho animado.

Agora é com você

01

ENEM 2023 · Q. 100 · CAD. 7 AZUL

Um professor lança uma esfera verticalmente para cima, a qual retorna, depois de alguns segundos, ao ponto de lançamento. Em seguida, lista em um quadro todas as possibilidades para as grandezas cinemáticas.

GRANDEZA CINEMÁTICA	MÓDULO	SENTIDO
Velocidade	$v \neq 0$	Para cima
		Para baixo
	$v = 0$	Indefinido*
Aceleração	$a \neq 0$	Para cima
		Para baixo
	$a = 0$	Indefinido*

*Grandezas com módulo nulo não têm sentido definido.

Ele solicita aos alunos que analisem as grandezas cinemáticas no instante em que a esfera atinge a altura máxima, escolhendo uma combinação para os módulos e sentidos da velocidade e da aceleração.

A escolha que corresponde à combinação correta é

- (A) $v = 0$ e $a \neq 0$ para cima.
- (B) $v \neq 0$ para cima e $a = 0$.
- (C) $v = 0$ e $a \neq 0$ para baixo.
- (D) $v \neq 0$ para cima e $a \neq 0$ para cima.
- (E) $v \neq 0$ para baixo e $a \neq 0$ para baixo.

02

ENEM 2022 · Q. 105 · CAD. 7 AZUL

Em um autódromo, os carros podem derrapar em uma curva e bater na parede de proteção. Para diminuir o impacto de uma batida, pode-se colocar na parede uma barreira de pneus, isso faz com que a colisão seja mais demorada e o carro retorne com velocidade reduzida. Outra opção é colocar uma barreira de blocos de um material que se deforma, tornando-a tão demorada quanto a colisão com os pneus, mas que não permite a volta do carro após a colisão.

Comparando as duas situações, como ficam a força média exercida sobre o carro e a energia mecânica dissipada?

- A) A força é maior na colisão com a barreira de pneus, e a energia dissipada é maior na colisão com a barreira de blocos. B) A força é maior na colisão com a barreira de blocos, e a energia dissipada é maior na colisão com a barreira de pneus. C) A força é maior na colisão com a barreira de blocos, e a energia dissipada é a mesma nas duas situações. D) A força é maior na colisão com a barreira de pneus, e a energia dissipada é maior na colisão com a barreira de pneus. E) A força é maior na colisão com a barreira de blocos, e a energia dissipada é maior na colisão com a barreira de blocos.

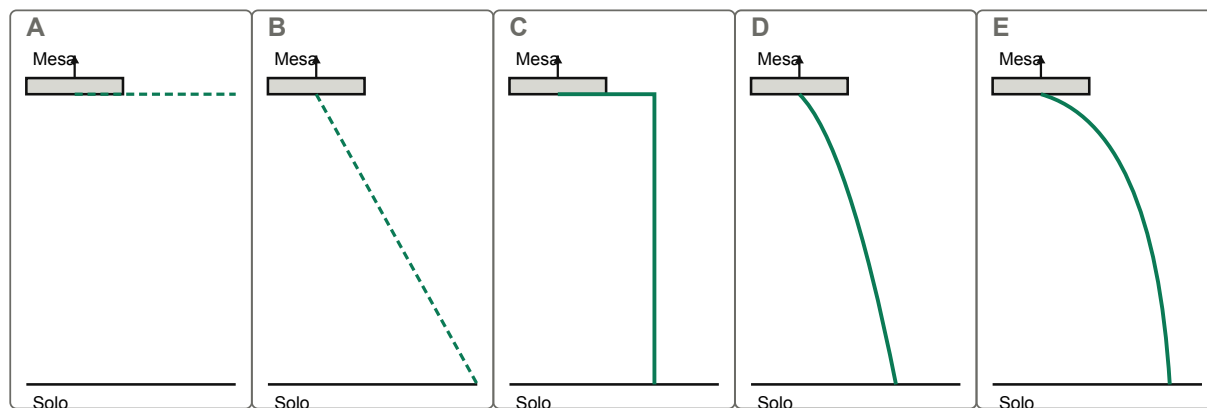
03

ENEM 2020 · Q. 113 · CAD. 7 AZUL

Nos desenhos animados, com frequência se vê um personagem correndo na direção de um abismo, mas, ao invés de cair, ele continua andando no vazio e só quando percebe que não há nada sob seus pés é que ele para de andar e cai verticalmente. No entanto, para observar uma trajetória de queda num experimento real, pode-se lançar uma bolinha, com velocidade constante (V_0), sobre a superfície de uma mesa e verificar o seu movimento de queda até o chão.

Qual figura melhor representa a trajetória de queda da bolinha?

TRAJETÓRIA DA BOLINHA, ALTERNATIVAS A A E

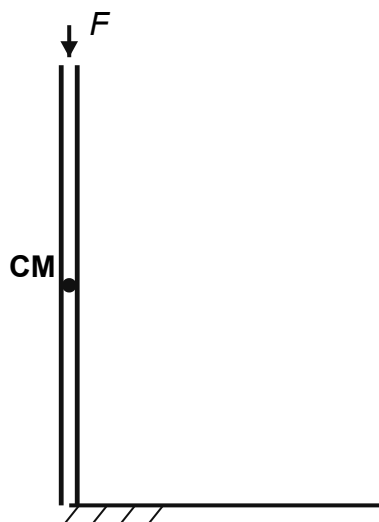


04

ENEM 2022 · Q. 103 · CAD. 7 AZUL

Tribologia é o estudo da interação entre duas superfícies em contato, como desgaste e atrito, sendo de extrema importância na avaliação de diferentes produtos e de bens de consumo em geral. Para testar a conformidade de uma muleta, realiza-se um ensaio tribológico, pressionando-a verticalmente contra o piso com uma força F , conforme ilustra a imagem, em que CM representa o centro de massa da muleta.

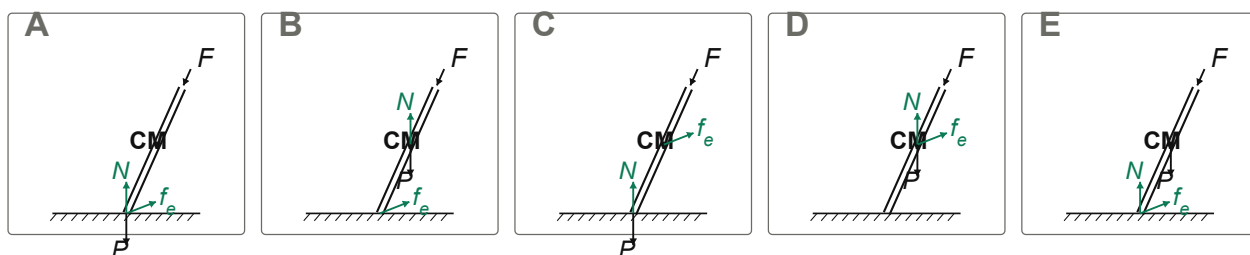
MULETA NA VERTICAL



Mantendo-se a força F paralela à muleta, varia-se lentamente o ângulo entre a muleta e a vertical, até o máximo ângulo imediatamente anterior ao de escorregamento, denominado ângulo crítico. Esse ângulo também pode ser calculado a partir da identificação dos pontos de aplicação, da direção e do sentido das forças peso P , normal N e de atrito estático f_e .

O esquema que representa corretamente todas as forças que atuam sobre a muleta quando ela atinge o ângulo crítico é:

FORÇAS SOBRE A MULETA NO ÂNGULO CRÍTICO



Gabarito comentado na página 104.

ESTÁTICA, HIDROSTÁTICA E GRAVITAÇÃO

05

O que segura as coisas no lugar, e o que acontece quando elas ficam submersas.

POR QUE CAI

É o assunto em que o ENEM mais cobra proporção em vez de conta bruta. A pergunta costuma ser quantas vezes uma grandeza cresce quando outra muda, e não quanto vale cada uma. O cenário é obra, depósito, mergulho, laboratório ou espaço. Hidrostática é a parte mais numérica e mais frequente, e gravitação aparece quase sempre em nível conceitual.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Pressão como força dividida por área, que sozinha resolve muita questão
- ☐ Pressão que cresce com a profundidade, e só com ela
- ☐ Densidade e volume deslocado, para decidir quem flutua
- ☐ Equilíbrio e máquina simples, com polia e alavanca multiplicando força
- ☐ Gravitação em nível qualitativo, principalmente o que depende da massa

FORÇA E EQUILÍBRIO

$$P = m \cdot g$$

peso, que é força, e muda conforme o lugar

$$M = F \cdot d$$

momento de uma força, ou torque, com d perpendicular à linha de ação

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / d^2$$

gravitação universal

FLUIDOS

$$p = F / A$$

pressão, em pascal

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

pressão de uma coluna de fluido em repouso

$$p_{\text{total}} = p_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h$$

pressão absoluta em um ponto submerso

$$\rho = m / V$$

densidade

$$E = \rho_{\text{fluido}} \cdot g \cdot V_{\text{deslocado}}$$

empuxo, princípio de Arquimedes

NA PRÁTICA

Um alicate, uma chave de roda, uma polia e um carrinho de mão resolvem o mesmo problema por caminhos diferentes. Todos multiplicam a força que a sua mão consegue fazer, e todos cobram o mesmo preço em troca, que é aumentar a distância percorrida.

Peso, equilíbrio, torque e as máquinas simples

Peso e massa

Massa é a quantidade de matéria de um corpo e não muda de lugar para lugar. Peso é a força com que a gravidade puxa essa massa, e muda conforme onde o corpo está.

$$P = m \cdot g$$

Uma pessoa de 70 kg continua com 70 kg na Lua. O peso dela, que na Terra é cerca de 700 N, cai para perto de 115 N lá, porque a gravidade lunar vale aproximadamente um sexto da nossa. Balança de farmácia mede massa, balança de mola mede força.

Equilíbrio de um ponto

Um corpo permanece em repouso quando a soma de todas as forças sobre ele dá zero. É a primeira lei de Newton aplicada a um sistema parado.

Uma luminária de 40 N pendurada no teto por um fio único tem o fio tracionado com exatos 40 N, porque tração e peso precisam se cancelar. Pendurada por dois fios verticais iguais, cada um segura 20 N.

Torque, quando o corpo pode girar

Força aplicada longe do eixo de rotação faz o corpo girar com mais facilidade que a mesma força aplicada perto. A grandeza que mede esse efeito é o torque.

$$M = F \cdot d$$

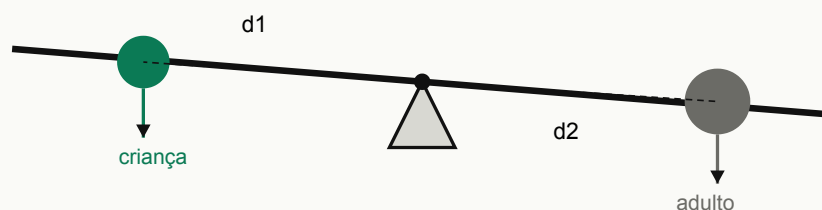
Sobre a letra. Esta apostila usa **m** para momento de uma força, e reserva **w** para trabalho, que aparece nos assuntos 02 e 06. Vários livros usam a mesma letra grega para as duas coisas, e separá-las evita confusão quando os dois assuntos se encontram.

O **d** é a distância **perpendicular** entre o eixo e a linha de ação da força, e não o comprimento da peça. Força aplicada apontando para o eixo produz torque nulo, por maior que seja.

Um corpo rígido está em equilíbrio quando duas condições valem ao mesmo tempo, a soma das forças é zero e a soma dos torques é zero.

Numa gangorra, uma criança de 30 kg sentada a 2,0 m do apoio produz torque de $30 \times 10 \times 2,0 = 600 \text{ N} \cdot \text{m}$. Para equilibrar, um adulto de 60 kg precisa sentar a 1,0 m do apoio, porque $60 \times 10 \times 1,0$ dá os mesmos 600 N·m. Dobrar a massa exige metade da distância.

GANGORRA, TORQUE EM EQUILÍBRIO



Máquinas simples

Alavanca, polia e plano inclinado fazem a mesma coisa, trocam força por distância.

MÁQUINA	O QUE FAZ	PREÇO
Alavanca	multiplica a força pela razão dos braços	o lado que você empurra percorre mais caminho
Polia fixa	apenas muda a direção da força	nenhum ganho de força
Polia móvel	divide a força pela metade	a corda precisa ser puxada o dobro
Plano inclinado	reduz a força de subida	o percurso fica mais longo

Polia fixa não economiza força nenhuma. Ela só deixa você puxar para baixo em vez de levantar para cima, o que é mais confortável e nada mais. Quem economiza força é a polia móvel, e é ela que a prova cobra.

GUARDE ISTO

Nenhuma máquina simples cria energia. Toda vez que a força necessária cai pela metade, a distância a percorrer dobra, e o trabalho total permanece o mesmo.

Pressão, profundidade e por que os corpos flutuam

Pressão

Pressão é a força distribuída pela área em que ela se aplica.

$$p = F / A$$

medida em pascal, que é newton por metro quadrado

A mesma força concentrada em área pequena produz pressão grande, e é por isso que faca afiada corta e faca cega não, com a mesma mão empurrando. É também por isso que um esqui permite andar sobre a neve enquanto um sapato afunda.

Uma caixa de 600 N apoiada sobre uma base de 0,5 m² exerce $p = 600/0,5 = 1\,200$ Pa no chão. Deitada sobre uma face de 1,5 m², a mesma caixa exerce apenas 400 Pa, com o mesmo peso espalhado por três vezes mais área.

Quando um objeto é reproduzido em escala, a massa e a área não crescem juntas. A massa acompanha o cubo da razão de escala, porque depende do volume, e a área acompanha o quadrado. Por isso a pressão sobre a base muda mesmo quando a forma é idêntica e o material é o mesmo. É a razão física de um inseto conseguir sustentar muitas vezes o próprio peso e um animal grande com a mesma forma não conseguir.

Pressão dentro de um fluido

Em um líquido em repouso, a pressão cresce à medida que se desce, porque cada ponto sustenta a coluna de líquido acima dele.

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Quando o líquido está aberto para a atmosfera, a pressão atmosférica soma.

$$p_{\text{total}} = p_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h$$

Só a profundidade vertical entra na conta. Formato do recipiente, volume total de líquido e distância horizontal percorrida não alteram nada. Dois pontos no mesmo nível de um mesmo líquido em repouso têm a mesma pressão, ainda que um esteja no meio de uma caverna e o outro em mar aberto.

A 20 m de profundidade em água de densidade 1 000 kg/m³, a coluna de água contribui com $1\,000 \times 10 \times 20 = 2,0 \times 10^5$ Pa. Somando a atmosfera, de $1,0 \times 10^5$ Pa, a pressão absoluta ali vale $3,0 \times 10^5$ Pa, ou seja, o triplo da que se sente na superfície.

Densidade

Densidade é a massa contida em cada unidade de volume, e é a propriedade que decide quem flutua.

$$\rho = m / V$$

Ela serve para identificar material, porque cada substância pura tem a sua. Medir a massa é fácil, e o volume de uma peça de formato irregular se obtém mergulhando a peça em um líquido e vendo quanto o nível sobe.

Uma peça de 54 g colocada em uma proveta faz o nível da água subir de 20 mL para 26 mL. O volume dela é 6 mL, então $\rho = 54/6 = 9 \text{ g/cm}^3$. Comparando esse valor com uma tabela de densidades, dá para dizer de que material a peça provavelmente é feita.

GUARDE ISTO

Pressão hidrostática depende só da profundidade, da densidade do fluido e da gravidade. Cota horizontal em figura de prova existe para ser descartada.

Empuxo e gravitação

Princípio de arquimedes

Todo corpo mergulhado em um fluido recebe uma força vertical para cima igual ao **peso do fluido que ele desloca**.

$$E = \rho_{\text{fluido}} \cdot g \cdot V_{\text{deslocado}}$$

Repare no que a fórmula contém e no que ela não contém. Entram a densidade do fluido e o volume deslocado. **Não entra a densidade do corpo nem o peso dele.** Dois objetos de materiais diferentes que ocupam o mesmo volume submerso recebem exatamente o mesmo empuxo.

Quem flutua e quem afunda

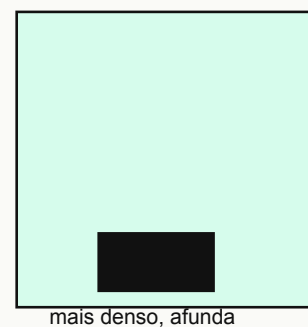
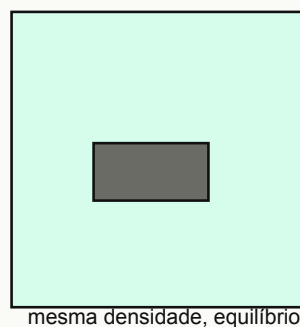
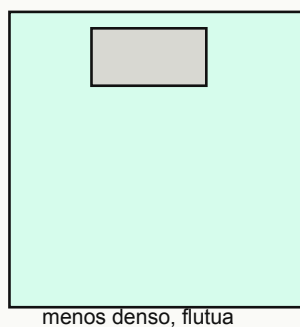
Comparando a densidade do corpo com a do fluido, o resultado sai sem conta.

SITUAÇÃO	O QUE ACONTECE
corpo menos denso que o fluido	flutua, com parte do volume para fora
corpo com a mesma densidade	fica em equilíbrio em qualquer profundidade
corpo mais denso	afunda até o fundo

Um bloco de 400 kg/m³ colocado em água de 1 000 kg/m³ flutua com 40% do volume submerso, porque essa é a fração necessária para que o empuxo iguale o peso. O restante fica acima da linha da água.

Um navio de aço flutua porque o casco é oco, e a densidade média do conjunto de aço mais ar fica abaixo da densidade da água. Furando o casco, a água entra, a densidade média sobe e ele afunda.

DENSIDADE E FLUTUAÇÃO



Gravitação universal

Dois corpos quaisquer se atraem com força proporcional às massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / d^2$$

O ENEM cobra o comportamento, não a conta com a constante. Dobrar a distância divide a força por quatro, e triplicar divide por nove.

A força depende da massa e da distância, e de mais nada. Não depende do tamanho físico do corpo, nem da densidade, nem da composição. Comprimir um corpo sem alterar a massa dele não muda em nada a força que ele exerce sobre outro que esteja longe.

Uma sonda que orbita a 2 raios do centro de um planeta sente força quatro vezes menor que sentiria à distância de 1 raio. Se a massa do planeta fosse dobrada mantendo a órbita, a força dobraria.

Peso em outro corpo celeste

O valor de g na superfície de um planeta sai da mesma lei, aplicada à massa e ao raio daquele planeta.

Astronauta em órbita flutua porque está em queda permanente junto com a nave. A gravidade continua agindo ali, com boa parte da intensidade que tem no chão.

GUARDE ISTO

O que a gravitação enxerga de um corpo é a massa dele e a distância até ele. Trocar um corpo por outro de mesma massa, ainda que muito menor, não altera a órbita de nada que esteja ao redor.

Cinco atalhos que salvam tempo na prova

01 Na pressão de fluido, só a altura conta

Figura de prova costuma trazer mais de uma cota, e boa parte delas é horizontal. Antes de usar qualquer número em $p = \rho \cdot g \cdot h$, confirme que ele mede profundidade vertical. Distância para dentro de uma caverna, largura de recipiente e comprimento de tubo não entram.

02 Em escala, a massa vai ao cubo e a área ao quadrado

Reduzir todas as dimensões por um fator divide a massa pelo cubo desse fator e a área pelo quadrado. A pressão, que é a razão entre as duas, muda pelo fator simples. Guardar isso resolve qualquer questão de protótipo ou maquete em uma linha.

03 O empuxo não sabe de que material o corpo é feito

Ele depende do fluido e do volume submerso. Alternativa que faz o empuxo depender da densidade do objeto está errada. A densidade do objeto decide se ele flutua, não quanto empuxo ele recebe.

04 Polia fixa não ajuda, polia móvel divide por dois

Conte quantas polias móveis existem no sistema antes de qualquer conta. Cada uma corta a força pela metade. As fixas só mudam a direção e podem ser ignoradas no cálculo da força.

05 Massa igual, órbita igual

Em questão de gravitação, o que importa é a massa e a distância. Trocar um corpo por outro de mesma massa, mesmo que muito mais denso ou muito menor, não muda a força sobre quem está longe. Alternativa que faz planeta cair por causa de compressão está errada.

DESTAQUE, o mnemônico do assunto > NA PRESSÃO, SÓ A ALTURA. NO EMPUXO, SÓ O FLUIDO. NA GRAVIDADE, SÓ A MASSA.

A laje de um depósito de bebidas tem 50 m^2 de área útil de armazenamento e foi projetada para suportar pressões de até 10^4 Pa . O gerente do estabelecimento pretende armazenar um produto cuja densidade é 1250 kg/m^3 . Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 .

A altura máxima, em metro, de empilhamento do produto que essa laje é capaz de suportar é

- (A) 0,16 m
- (B) 0,50 m
- (C) 0,80 m
- (D) 1,60 m
- (E) 8,00 m

Como resolver

- 01** Reconheça que a pilha se comporta como uma coluna de material. A pressão que uma pilha uniforme exerce sobre o piso é a mesma expressão da pressão de uma coluna de fluido, porque em ambos os casos o peso de tudo que está acima se distribui pela área de apoio.

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

- 02** Verifique por que a área não entra na conta. Espalhar o produto por mais chão aumenta o peso total na mesma proporção em que aumenta a área de apoio, e a razão entre os dois permanece igual. **Os 50 m² do enunciado são dado supérfluo**, e estão ali para atrair quem começa por $p = F/A$.

- 03** Isole a altura no limite da laje.

$$10^4 \text{ Pa} = 1\,250 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times h$$

$$10^4 = 12\,500 \cdot h$$

- 04** Resolva.

$$h = 10^4 / 12\,500 = 0,80 \text{ m}$$

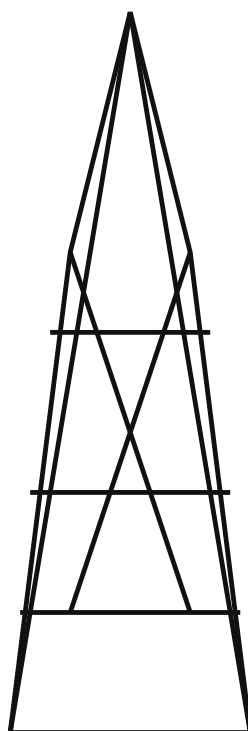
CResposta correta · **0,80 metro****O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

O produto $\rho \cdot g$ vale 12 500 Pa por metro de altura, ou seja, cada metro empilhado gera 12 500 Pa. Como o limite é 10 000 Pa, a altura permitida é menor que um metro, o que já elimina as alternativas D e E. Entre as três restantes, $10\,000/12\,500$ é 0,8.

Nem todo número do enunciado precisa ser usado. Sobra de dado é ferramenta de prova, e o hábito de encaixar tudo que apareceu é o que ela quer pegar.

A Torre Eiffel, com seus 324 metros de altura, feita com treliças de ferro, pesava 7 300 toneladas quando terminou de ser construída em 1889. Um arquiteto resolve construir um protótipo dessa torre em escala 1:100, usando os mesmos materiais (cada dimensão linear em escala de 1:100 do monumento real). Considere que a torre real tenha uma massa M_{torre} e exerça na fundação sobre a qual foi erguida uma pressão P_{torre} . O modelo construído pelo arquiteto terá uma massa M_{modelo} e exercerá uma pressão P_{modelo} .

TORRE EIFFEL



324 m, 7 300 toneladas

Como a pressão exercida pela torre se compara com a pressão exercida pelo protótipo? Ou seja, qual é a razão entre as pressões $(P_{\text{torre}})/(P_{\text{modelo}})$?

- (A) 10^0
- (B) 10^1
- (C) 10^2
- (D) 10^4
- (E) 10^6

Como resolver

- 01** Escreva o que é pressão neste caso. A torre apoia o próprio peso sobre a fundação, então

$$p = \text{Peso} / \text{Área da base} = m \cdot g / A$$

- 02** Veja como a massa muda com a escala. Todas as dimensões lineares foram divididas por 100, então o volume, que depende de três dimensões, ficou dividido por $100^3 = 10^6$. Como o material é o mesmo, a densidade é a mesma, e a massa acompanha o volume.

$$M_{\text{torre}} / M_{\text{modelo}} = 10^6$$

- 03** Veja como a área muda com a escala. A área da base depende de duas dimensões, então ela ficou dividida por $100^2 = 10^4$.

$$A_{\text{torre}} / A_{\text{modelo}} = 10^4$$

- 04** Monte a razão das pressões.

$$P_{\text{torre}} / P_{\text{modelo}} = (M_{\text{torre}}/A_{\text{torre}}) \div (M_{\text{modelo}}/A_{\text{modelo}}) = 10^6 / 10^4 = 10^2$$



Resposta correta ·

O CAMINHO MAIS RÁPIDO

Massa cresce com o cubo e área com o quadrado, então a pressão cresce com a **primeira potência** da razão de escala. Como a escala é 1:100, a resposta é 100, ou seja, 10^2 , sem nenhuma conta intermediária.

Os 324 metros e as 7 300 toneladas não entram na resolução. Eles ambientam a questão e servem de isca. O que resolve é apenas a razão de escala, e o resultado valeria igual para qualquer monumento.

Quatro erros que a prova já deixa preparados

Usar uma cota horizontal como profundidade

Figuras de mergulho e de caverna costumam trazer duas cotas, uma vertical e uma horizontal, desenhadas com o mesmo traço e o mesmo tipo de seta. Só a vertical entra em $p = \rho \cdot g \cdot h$. **Antes de usar o número, confira em que direção a seta aponta.**

Supor que massa e área crescem na mesma proporção

Em questão de maquete, protótipo ou animal em escala, o aluno divide os dois pela mesma razão e conclui que a pressão não muda. A massa acompanha o cubo e a área acompanha o quadrado, então a pressão muda sim.

Fazer o empuxo depender do peso do objeto

O empuxo é o peso do fluido deslocado, e não tem relação com o material do corpo. Uma esfera de chumbo e uma de isopor, de mesmo volume e totalmente submersas, recebem o mesmo empuxo. O que difere é o peso delas, e é isso que decide quem sobe.

Achar que um corpo mais compacto atrai mais

Em gravitação, comprimir a massa em um volume menor não aumenta a força sobre corpos distantes. A lei enxerga massa e distância, e nada mais. As alternativas que fazem planetas despencarem por causa de compressão estão contando com essa confusão.

Agora é com você

01

ENEM 2022 · Q. 123 · CAD. 7 AZUL

Um Buraco Negro é um corpo celeste que possui uma grande quantidade de matéria concentrada em uma pequena região do espaço, de modo que sua força gravitacional é tão grande que qualquer partícula fica aprisionada em sua superfície, inclusive a luz. O raio dessa região caracteriza uma superfície-limite, chamada de horizonte de eventos, da qual nada consegue escapar. Considere que o Sol foi instantaneamente substituído por um Buraco Negro com a mesma massa solar, de modo que o seu horizonte de eventos seja de aproximadamente 3,0 km.

Após a substituição descrita, o que aconteceria aos planetas do Sistema Solar?

- (A) Eles se moveriam em órbitas espirais, aproximando-se sucessivamente do Buraco Negro.
- (B) Eles oscilariam aleatoriamente em torno de suas órbitas elípticas originais.
- (C) Eles se moveriam em direção ao centro do Buraco Negro.
- (D) Eles passariam a precessionar mais rapidamente.
- (E) Eles manteriam suas órbitas inalteradas.

02

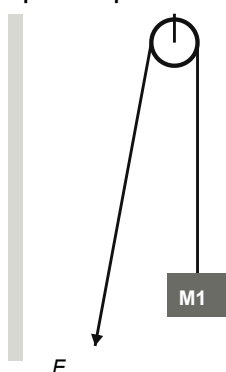
ENEM 2023 · Q. 109 · CAD. 7 AZUL

Uma academia decide trocar gradualmente seus aparelhos de musculação. Agora, os frequentadores que utilizam os aparelhos do tipo 1 podem também utilizar os aparelhos do tipo 2, representados na figura, para elevar cargas correspondentes às massas M_1 e M_2 , com velocidade constante. A fim de que o exercício seja realizado com a mesma força F , os usuários devem ser orientados a respeito da relação entre as cargas nos dois tipos de aparelhos, já que as polias fixas apenas mudam a direção das forças, enquanto a polia móvel divide as forças.

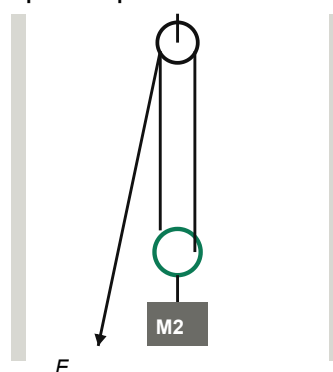
Em ambos os aparelhos, considere as cordas inextensíveis, as massas das polias e das cordas desprezíveis e que não há dissipação de energia.

APARELHOS DE MUSCULAÇÃO, POLIA FIXA E MÓVEL

Aparelho tipo 1



Aparelho tipo 2



Para essa academia, qual deve ser a razão M_2/M_1 informada aos usuários?

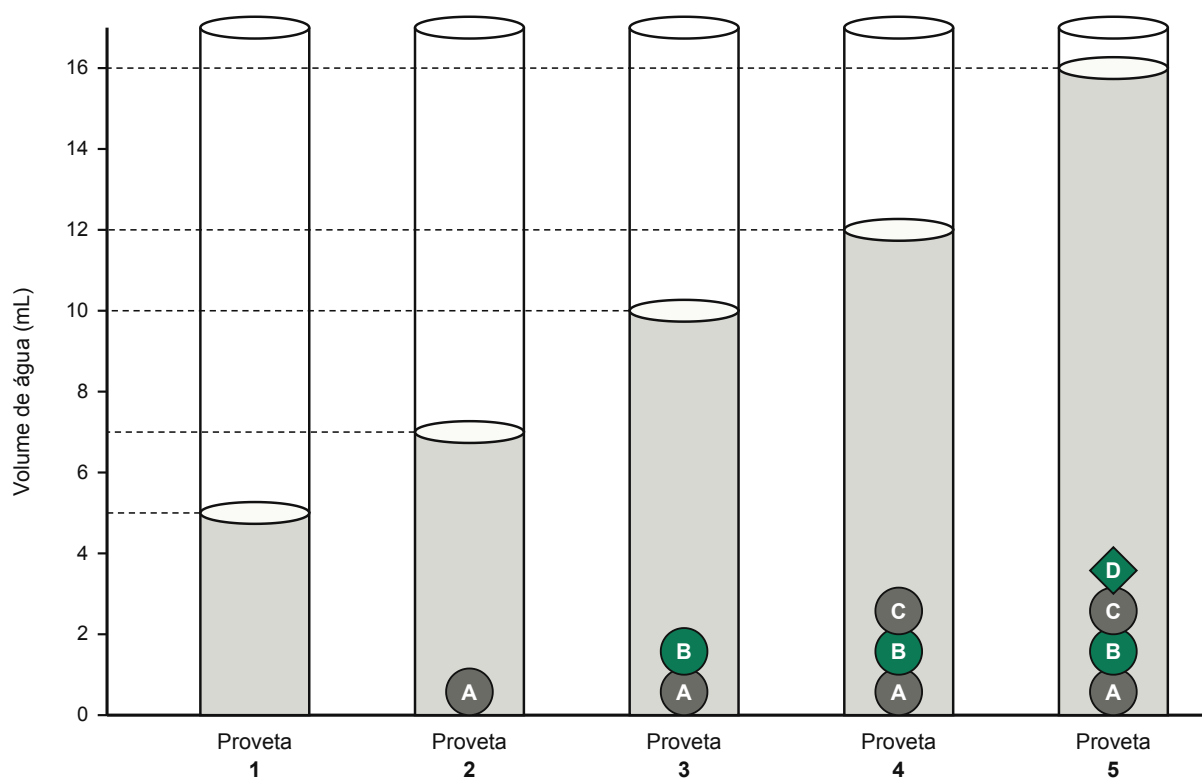
- (A) $1/4$
- (B) $1/2$
- (C) 1
- (D) 2
- (E) 4

03

ENEM 2020 · Q. 134 · CAD. 7 AZUL

As moedas despertam o interesse de colecionadores, numismatas e investidores há bastante tempo. Uma moeda de 100% cobre, circulante no período do Brasil Colônia, pode ser bastante valiosa. O elevado valor gera a necessidade de realização de testes que validem a procedência da moeda, bem como a veracidade de sua composição. Sabendo que a densidade do cobre metálico é próxima de 9 g cm^{-3} , um investidor negocia a aquisição de um lote de quatro moedas A, B, C e D fabricadas supostamente de 100% cobre e massas 26 g, 27 g, 10 g e 36 g, respectivamente. Com o objetivo de testar a densidade das moedas, foi realizado um procedimento em que elas foram sequencialmente inseridas em uma proveta contendo 5 mL de água, conforme esquematizado.

TESTE DE DENSIDADE DAS QUATRO MOEDAS



Com base nos dados obtidos, o investidor adquiriu as moedas

- (A) A e B.
- (B) A e C.
- (C) B e C.
- (D) B e D.
- (E) C e D.

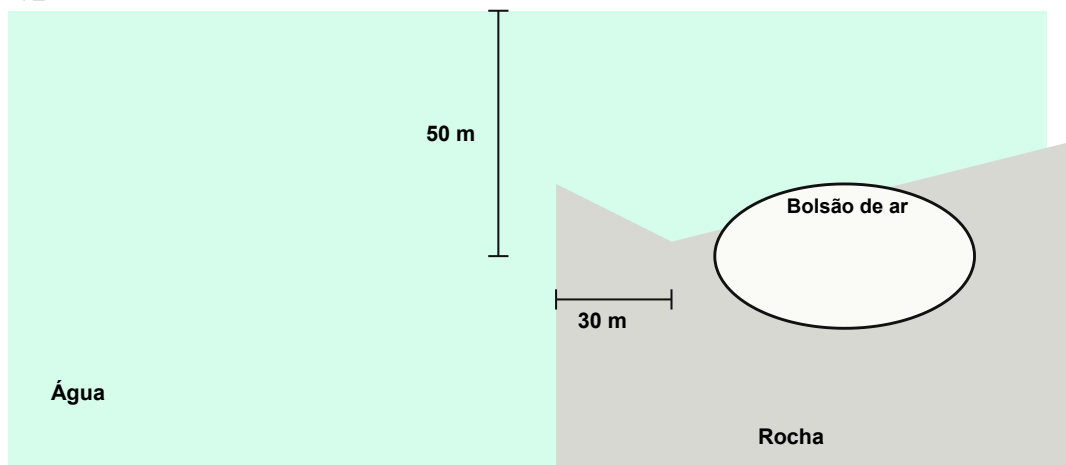
04

ENEM 2020 · Q. 106 · CAD. 7 AZUL

Um mergulhador fica preso ao explorar uma caverna no oceano. Dentro da caverna formou-se um bolsão de ar, como mostrado na figura, onde o mergulhador se abrigou.

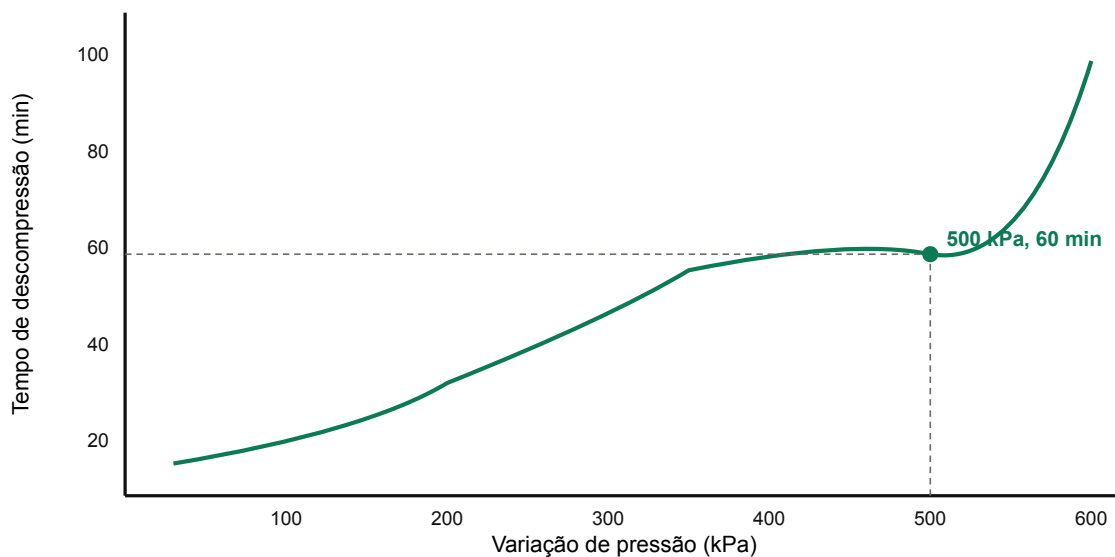
MERGULHADOR EM BOLSÃO DE AR

$$p_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$$



Durante o resgate, para evitar danos a seu organismo, foi necessário que o mergulhador passasse por um processo de descompressão antes de retornar à superfície para que seu corpo ficasse novamente sob pressão atmosférica. O gráfico mostra a relação entre os tempos de descompressão recomendados para indivíduos nessa situação e a variação de pressão.

TEMPO DE DESCOMPRESSÃO POR VARIAÇÃO DE PRESSÃO



Considere que a aceleração da gravidade seja igual a 10 m s^{-2} e que a densidade da água seja de $\rho = 1\,000 \text{ kg m}^{-3}$.

Em minutos, qual é o tempo de descompressão a que o mergulhador deverá ser submetido?

- (A) 100
- (B) 80
- (C) 60
- (D) 40
- (E) 20

Gabarito comentado na página 104.

ENERGIA, TRABALHO E POTÊNCIA

06

A moeda única com que a Física paga todas as contas.

POR QUE CAI

Energia é o assunto que a prova usa para fazer os outros conversarem. O enunciado fala de um painel solar, de um motor, de uma geladeira ou de um voo, e a pergunta acaba exigindo que você converta uma forma de energia em outra e acompanhe quanto se perde no caminho. Você já viu circuito, calor, onda, movimento e pressão. Aqui todos reaparecem sob uma única ideia.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Rendimento, que é o conceito mais cobrado do assunto
- ☐ Potência, e a diferença entre ela e energia
- ☐ Conservação, e por que ela vale mesmo quando parece que sumiu energia
- ☐ Conversão entre unidades, que é onde a maioria dos erros mora
- ☐ Trabalho, que é a ponte formal entre força e energia

TRABALHO E ENERGIA

$$W = F \cdot d$$

trabalho de uma força constante na direção do deslocamento

$$E_c = m \cdot v^2 / 2$$

energia cinética

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

energia potencial gravitacional

$$E_{mec} = E_c + E_p$$

energia mecânica, que se conserva sem dissipação

POTÊNCIA E RENDIMENTO

$$P = E / \Delta t$$

potência, energia por tempo

$$\eta = E_{\text{útil}} / E_{\text{total}}$$

rendimento, sempre menor que 1

$$E = P \cdot \Delta t$$

energia consumida, em kWh com P em kW e Δt em horas

NA PRÁTICA

Nenhum aparelho entrega tudo o que recebe. A lâmpada aquece, o motor esquenta, o alto-falante vibra a caixa. Quando um enunciado dá duas potências ou duas energias, quase sempre ele está pedindo a razão entre elas, que é o rendimento.

Trabalho, energia cinética e energia potencial

Trabalho

Trabalho é a medida de quanto uma força contribuiu para deslocar alguma coisa. Quando a força tem a mesma direção do deslocamento, o cálculo é direto.

$$W = F \cdot d$$

em joule

Força perpendicular ao deslocamento realiza trabalho **nulo**, por maior que seja. É por isso que carregar uma mala na horizontal, com a mão sustentando para cima, não realiza trabalho sobre ela no sentido físico, mesmo cansando o braço.

Força contrária ao movimento, como o atrito, realiza trabalho **negativo**, e retira energia do corpo.

Empurrar uma caixa com 25 N ao longo de 4 m, na mesma direção do empurrão, realiza $W = 25 \times 4 = 100 \text{ J}$. Se o atrito também vale 25 N, ele realiza -100 J , e a soma dá zero, o que combina com a caixa andar em velocidade constante.

Energia cinética

É a energia que um corpo tem por estar em movimento.

$$E_c = m \cdot v^2 / 2$$

A velocidade entra ao quadrado. Dobrar a velocidade multiplica a energia cinética por quatro, e triplicar multiplica por nove. Essa é a razão física de a distância de frenagem crescer tão rápido com a velocidade, e conecta este assunto direto com colisão, no assunto 04.

Um corpo de 2 kg a 6 m/s tem $E_c = 2 \times 6^2 / 2 = 36 \text{ J}$. A 12 m/s, o mesmo corpo tem 144 J, quatro vezes mais, com apenas o dobro da velocidade.

Energia potencial gravitacional

É a energia que um corpo tem por estar a uma certa altura, ou seja, pela posição dele no campo gravitacional.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

A altura precisa ser medida a partir de um nível de referência que você escolhe. **O nível zero é uma escolha, não um fato**, e o que tem significado físico é a diferença de energia entre duas posições, jamais o valor absoluto.

Um objeto de 5 kg a 3 m do chão tem, em relação ao chão, $E_p = 5 \times 10 \times 3 = 150 \text{ J}$. Medindo a partir de uma mesa de 1 m, o mesmo objeto teria 100 J. As duas contas estão certas, e a diferença entre duas alturas continua igual nas duas.

GUARDE ISTO

Força perpendicular ao movimento não realiza trabalho. E energia cinética cresce com o quadrado da velocidade, que é o motivo de acidentes a alta velocidade serem desproporcionalmente mais graves.

Conservação, e o que acontece com a energia que parece sumir

A energia mecânica

A soma da energia cinética com a potencial se chama energia mecânica. Quando não há atrito nem outra força dissipativa, ela permanece constante durante todo o movimento.

$$E_c + E_p = \text{constante}$$

O que acontece é uma troca. O corpo que desce perde altura e ganha velocidade, na medida exata em que a energia potencial vira cinética.

Um bloco abandonado de 1,8 m de altura chega ao chão com velocidade que sai da igualdade $m \cdot g \cdot h = m \cdot v^2 / 2$. A massa se cancela dos dois lados, e sobra $v^2 = 2 \cdot g \cdot h = 2 \times 10 \times 1,8 = 36$, ou seja, $v = 6$ m/s.

Repare que a massa não influencia o resultado, o que é a mesma conclusão da queda livre do assunto 04, obtida por outro caminho.

Conservação de energia costuma ser o atalho mais rápido. Quando a questão não pergunta o tempo e o movimento envolve subir ou descer, começar pela energia evita toda a cinemática.

Quando a energia mecânica não se conserva

Com atrito, resistência do ar ou deformação, parte da energia mecânica vira energia térmica e se espalha pelo ambiente. Ela não desaparece, apenas deixa de estar disponível na forma de movimento ou de altura.

Esse é o ponto que separa dois princípios parecidos e diferentes.

PRINCÍPIO	QUANDO VALE
Conservação da energia mecânica	só sem forças dissipativas
Conservação da energia total	sempre, sem exceção

As formas de energia, e os assuntos em que elas já apareceram

FORMA	ONDE VOCÊ JÁ VIU
Elétrica	assunto 01, potência de aparelho e efeito Joule
Térmica	assunto 02, calor sensível, latente e máquinas térmicas
Ondulatória	assunto 03, intensidade e transporte de energia sem matéria
Cinética e potencial	assunto 04, movimento e queda
Potencial gravitacional em escala astronômica	assunto 05, gravitação
Química e nuclear	combustível, alimento e reator

A degradação da energia

Toda transformação real deixa parte da energia em forma térmica dispersa, que não dá para reaproveitar integralmente. A quantidade total se conserva, e a **qualidade** cai. É a mesma segunda lei da termodinâmica que apareceu no assunto 02, e é o motivo de não existir máquina com rendimento de 100%.

GUARDE ISTO

Energia nunca some. Quando o problema diz que ela sumiu, ela virou calor espalhado no ambiente, e a conta fecha somando essa parcela.

Potência, rendimento e a conta que chega no fim do mês

Potência

Potência é a rapidez com que a energia é transferida ou transformada.

$$P = E / \Delta t$$

em watt, que é joule por segundo

Dois motores podem realizar o mesmo trabalho e ter potências muito diferentes. O mais potente apenas faz o serviço em menos tempo.

Um guincho eleva 200 kg a 3 m de altura em 20 s. O trabalho realizado é $W = m \cdot g \cdot h = 200 \times 10 \times 3 = 6\,000 \text{ J}$, e a potência é $P = 6\,000/20 = 300 \text{ W}$. Fazendo o mesmo serviço em 10 s, a potência dobra para 600 W, e o trabalho continua sendo 6 000 J.

Rendimento

Nenhuma máquina entrega tudo o que recebe. O rendimento compara o que sai de útil com o que entrou.

$$\eta = E_{\text{útil}} / E_{\text{total}}$$

sempre menor que 1

Um equipamento recebe 1 200 J e entrega 480 J de trabalho útil. O rendimento é $480/1\,200 = 0,40$, ou seja, 40%. Os 720 J restantes saíram como calor.

Rendimento em cadeia

Quando a energia passa por várias etapas, os rendimentos **se multiplicam**, e nunca se somam nem se mediam.

Uma etapa com 50% seguida de outra com 60% resulta em $0,50 \times 0,60 = 0,30$, ou seja, 30% no conjunto. O resultado é sempre menor que o pior dos dois, e é por isso que cadeia longa de conversão desperdiça tanto.

Comparar duas tecnologias exige comparar a energia útil, e não a armazenada. Uma fonte que guarda muito mais energia pode entregar menos movimento no fim, se o rendimento dela for baixo. Esse é o raciocínio central do exercício resolvido 1.

Energia na conta de luz

A distribuidora cobra energia, e não potência. A unidade prática é o quilowatt-hora, que é a energia de um aparelho de 1 kW ligado por 1 hora.

$$E = P \cdot \Delta t$$

com P em quilowatt e Δt em horas

Um aparelho de 800 W ligado 3 horas por dia durante 30 dias consome $0,8 \text{ kW} \times 3 \text{ h} \times 30 = 72 \text{ kWh}$ no mês. A conversão de watt para quilowatt é onde a conta mais erra, e vale conferir antes de multiplicar.

GUARDE ISTO

Rendimentos em série se multiplicam. Duas etapas de 50% cada não dão 50% no conjunto, dão 25%.

Cinco atalhos que salvam tempo na prova

01 Duas energias no enunciado pedem uma razão

Quando a questão fornece energia que entra e energia que sai, ou potência total e potência de uma parte, ela quase sempre quer o rendimento ou a fração. Escreva a divisão antes de tentar qualquer outra coisa.

02 Rendimentos em série se multiplicam

Cada etapa de conversão corta um pedaço. Multiplique as frações e nunca some. Se o resultado der maior que o menor dos rendimentos, você errou a operação.

03 Massa se cancela em queda sem atrito

Toda vez que a questão iguala $m \cdot g \cdot h$ com $m \cdot v^2 / 2$, a massa some dos dois lados. Se o enunciado deu a massa e ela não é pedida em nenhuma outra parte, desconfie que ela é dado supérfluo.

04 Potência é energia dividida por tempo, e a unidade denuncia

Watt já significa joule por segundo. Se o enunciado deu minutos, converta para segundos antes. Se deu caloria, converta para joule antes. Boa parte dos erros deste assunto é conversão esquecida, não raciocínio.

05 Confira se a resposta tem ordem de grandeza plausível

Chuveiro fica na casa dos milhares de watt, lâmpada de LED na casa das unidades, e um eletrodoméstico comum entre dezenas e centenas. Rendimento de motor comum fica entre 20% e 40%. Resposta muito fora dessas faixas costuma ser fator de mil perdido.

DESTAQUE, o mnemônico do assunto > A ENERGIA NÃO SOME, ELA MUDA DE FORMA E PERDE QUALIDADE.

As baterias de lítio para carros elétricos são capazes de armazenar cerca de 700 Wh de energia em um volume de 1 L, enquanto a combustão de 1 L de etanol hidratado em um motor a combustão disponibiliza 6 300 Wh de energia. Os motores a combustão têm uma eficiência baixa, com apenas 30% da energia do combustível sendo transformada em movimento. Já os motores elétricos apresentam eficiência três vezes maior. Para estudar a viabilidade de se utilizar a mesma plataforma de um carro movido a álcool, com tanque de 40 L de combustível, para a produção de modelos elétricos, uma equipe de engenharia precisa estimar o volume da bateria de lítio que corresponda, no carro elétrico, à mesma quantidade energética desse carro a álcool.

O volume aproximado, em litro, da bateria de lítio a ser utilizada é

- (A) 36
- (B) 120
- (C) 360
- (D) 400
- (E) 1 080

Como resolver

01 Entenda o que precisa ser igualado. O que os dois carros precisam ter em comum é a energia **útil**, aquela que vira movimento. Comparar a energia armazenada levaria à resposta errada, porque os dois sistemas aproveitam frações muito diferentes do que guardam.

02 Calcule a energia que o tanque de álcool guarda.

$$E_{\text{álcool}} = 40 \text{ L} \times 6\,300 \text{ Wh/L} = 252\,000 \text{ Wh}$$

03 Descubra quanto disso vira movimento. A eficiência do motor a combustão é 30%.

$$E_{\text{útil}} = 0,30 \times 252\,000 = 75\,600 \text{ Wh}$$

04 Ache a eficiência do motor elétrico. O enunciado diz que ela é três vezes maior que a do motor a combustão.

$$\eta_{\text{elétrico}} = 3 \times 30\% = 90\%$$

05 Volte da energia útil para a energia que a bateria precisa guardar. Aqui a conta é uma divisão, e não uma multiplicação, porque estamos indo do fim para o começo da cadeia.

$$E_{\text{bateria}} = 75\,600 / 0,90 = 84\,000 \text{ Wh}$$

06 Converta energia em volume.

$$V = 84\,000 \text{ Wh} \div 700 \text{ Wh/L} = 120 \text{ L}$$

BResposta correta · **aproximadamente 120 litros****O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

O etanol guarda 9 vezes mais energia por litro que a bateria, e o motor elétrico aproveita 3 vezes melhor. Sobra um fator de 3 a favor do etanol, então a bateria precisa de 3 vezes o volume do tanque, $3 \times 40 = 120 \text{ L}$. A conta inteira cabe em uma linha.

A alternativa E, de 1 080 L, é o resultado de esquecer as eficiências e comparar só a energia armazenada, 40×9 . A alternativa C, de 360 L, aparece para quem aplica um dos dois rendimentos e esquece o outro.

Em 2017, foi inaugurado, no estado da Bahia, o Parque Solar Lapa, composto por duas usinas (Bom Jesus da Lapa e Lapa) e capaz de gerar cerca de 300 GWh de energia por ano. Considere que cada usina apresente potência igual a 75 MW, com o parque totalizando uma potência instalada de 150 MW. Considere ainda que a irradiância solar média é de 1 500 W/m² e que a eficiência dos painéis é de 20%.

Nessas condições, a área total dos painéis solares que compõem o Parque Solar Lapa é mais próxima de:

- (A) 1 000 000 m²
- (B) 500 000 m²
- (C) 250 000 m²
- (D) 100 000 m²
- (E) 20 000 m²

Como resolver

- 01** Traduza irradiância para potência por área. Irradiância é a potência solar que chega em cada metro quadrado, ou seja, 1 500 W para cada m² de painel exposto.
- 02** Aplique a eficiência para achar a potência útil por metro quadrado. Só 20% do que chega vira eletricidade.

$$P_{\text{útil por m}^2} = 0,20 \times 1\,500 \text{ W/m}^2 = 300 \text{ W/m}^2$$

- 03** Escreva a potência total que o parque precisa entregar.

$$P_{\text{total}} = 150 \text{ MW} = 150 \times 10^6 \text{ W} = 1,5 \times 10^8 \text{ W}$$

- 04** Divida a potência total pela potência de cada metro quadrado.

$$A = 1,5 \times 10^8 \text{ W} \div 300 \text{ W/m}^2 = 5 \times 10^5 \text{ m}^2$$

BResposta correta · **500 000 m²**

O CAMINHO MAIS RÁPIDO

Cada metro quadrado entrega 300 W, então cada mil metros quadrados entregam 300 kW e cada milhão de metros quadrados entregaria 300 MW. Como o parque precisa de 150 MW, metade disso, a área é meio milhão de metros quadrados.

Os 300 GWh por ano não entram na conta. Eles são energia, e a pergunta é sobre área dimensionada pela potência instalada. Misturar os dois é o erro que a questão está esperando.

Quatro erros que a prova já deixa preparados

Comparar energia armazenada em vez de energia útil

Duas tecnologias só se comparam depois de aplicar o rendimento de cada uma. A alternativa que ignora as eficiências costuma estar disponível, e ela é sempre a mais fácil de calcular, o que a torna atraente sob pressão de tempo.

Somar ou mediar rendimentos em série

Etapas de conversão multiplicam suas frações. Somar dá valor maior que 1 em pouco tempo, e tirar média dá um número plausível e errado. **Se o rendimento do conjunto ficou maior que o da pior etapa, a operação foi a errada.**

Confundir energia com potência

São grandezas diferentes e com unidades diferentes. Potência é watt, energia é joule ou quilowatt-hora. Enunciado que fornece as duas costuma esperar que você use apenas uma, e oferece o resultado da outra entre as alternativas.

Achar que a energia dissipada deixou de existir

A energia que vira calor continua contabilizada. Alternativa que afirma que houve perda de energia total contraria o princípio da conservação. O que se perde é a **disponibilidade** dela para realizar trabalho, e não a quantidade.

Agora é com você**01****ENEM 2025 · Q. 135 · CAD. 5 AMARELO**

Réguas elétricas são dispositivos que permitem a ligação segura e simultânea de dois ou mais aparelhos eletroeletrônicos à rede elétrica. Uma estudante comprou uma régua com seis tomadas, conforme a figura. Essa régua suporta uma intensidade máxima de corrente elétrica igual a 20 A. Acima desse valor, o fusível de segurança da régua se rompe, inutilizando-a até que um novo fusível seja instalado. Considere as potências nominais de alguns aparelhos eletroeletrônicos apresentadas no quadro.

APARELHO	POTÊNCIA (WATT)
Luminária de LED	5
Computador	250
Impressora a laser	660
Secador de cabelos	750
Cafeteira	900
Condicionador de ar portátil	1 100

Em um dia quente, a estudante mantém o computador e o condicionador de ar portátil ligados à régua permanentemente. Nessa situação, ela tenta realizar algumas atividades, uma de cada vez, na seguinte ordem:

1º — imprimir um trabalho escolar; 2º — fazer um café com a cafeteira; 3º — ligar a luminária; 4º — secar os cabelos.

Sabe-se que a régua foi ligada à tensão elétrica de 110 V, adequada para o funcionamento desses aparelhos.

Considerando a ordem das tentativas, quantas atividades a estudante conseguiu realizar sem queimar o fusível?

- (A) 4
- (B) 3
- (C) 2
- (D) 1
- (E) 0

02

ENEM 2019 · Q. 97 · CAD. 5 AMARELO

Numa feira de ciências, um estudante utilizará o disco de Maxwell (ioiô) para demonstrar o princípio da conservação da energia. A apresentação consistirá em duas etapas:

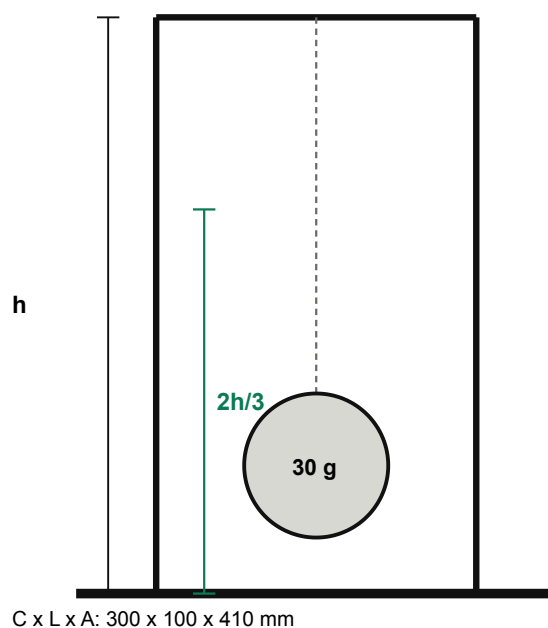
Etapa 1, a explicação de que, à medida que o disco desce, parte de sua energia potencial gravitacional é transformada em energia cinética de translação e energia cinética de rotação;

Etapa 2, o cálculo da energia cinética de rotação do disco no ponto mais baixo de sua trajetória, supondo o sistema conservativo.

Ao preparar a segunda etapa, ele considera a aceleração da gravidade igual a 10 m s^{-2} e a velocidade linear do centro de massa do disco desprezível em comparação com a velocidade angular. Em seguida, mede a altura do topo do disco em relação ao chão no ponto mais baixo de sua trajetória, obtendo $1/3$ da altura da haste do brinquedo.

As especificações de tamanho do brinquedo, isto é, de comprimento (C), largura (L) e altura (A), assim como da massa de seu disco de metal, foram encontradas pelo estudante no recorte de manual ilustrado a seguir.

DISCO DE MAXWELL



Conteúdo: base de metal, hastes metálicas, disco de metal. **Tamanho (C × L × A):** 300 mm × 100 mm × 410 mm
Massa do disco de metal: 30 g

O resultado do cálculo da etapa 2, em joule, é:

- (A) $4,10 \times 10^{-2}$
- (B) $8,20 \times 10^{-2}$
- (C) $1,23 \times 10^{-1}$
- (D) $8,20 \times 10^4$
- (E) $1,23 \times 10^5$

03**ENEM 2023 · Q. 130 · CAD. 5 AMARELO, REAPLICAÇÃO**

Um fabricante de eletrodomésticos desenvolveu um compartimento refrigerador inovador que consegue resfriar, em apenas 7 minutos, duas latas de refrigerante (350 mL cada), com densidade igual a 1,0 g/mL. A refrigeração do líquido consome 21% da potência do sistema quando o refrigerante tem sua temperatura diminuída em 15 °C. Considere o calor específico do refrigerante igual a 1,0 cal/(g °C) e 1 cal = 4,2 J.

A potência total, em watt, desse dispositivo refrigerador é, aproximadamente,

- (A) 105
- (B) 120
- (C) 315
- (D) 500
- (E) 1 500

04**ENEM 2023 · Q. 117 · CAD. 7 AZUL**

Os raios cósmicos são fontes de radiação ionizante potencialmente perigosas para o organismo humano. Para quantificar a dose de radiação recebida, utiliza-se o sievert (Sv), definido como a unidade de energia recebida por unidade de massa. A exposição à radiação proveniente de raios cósmicos aumenta com a altitude, o que pode representar um problema para as tripulações de aeronaves. Recentemente, foram realizadas medições acuradas das doses de radiação ionizante para voos entre Rio de Janeiro e Roma. Os resultados têm indicado que a dose média de radiação recebida na fase de cruzeiro (que geralmente representa 80% do tempo total de voo) desse trecho intercontinental é 2 µSv/h. As normas internacionais da aviação civil limitam em 1 000 horas por ano o tempo de trabalho para as tripulações que atuem em voos intercontinentais. Considere que a dose de radiação ionizante para uma radiografia torácica é estimada em 0,2 mSv.

A quantas radiografias torácicas corresponde a dose de radiação ionizante à qual um tripulante que atue no trecho Rio de Janeiro–Roma é exposto ao longo de um ano?

- (A) 8
- (B) 10
- (C) 80
- (D) 100
- (E) 1 000

Gabarito comentado na página 104.

ASSUNTOS 01 E 02

ELETRICIDADE

FÓRMULA	GRANDEZAS	QUANDO USAR
$V = R \cdot i$	volt, ohm, ampère	a base de todo circuito
$P = V \cdot i$	watt	potência a partir da etiqueta do aparelho
$P = R \cdot i^2$	watt	quando você tem resistência e corrente
$P = V^2 / R$	watt	quando você tem tensão e resistência
$i = Q / t$	ampère	definição de corrente
$R_{\text{série}} = R_1 + R_2 + \dots$	ohm	resistores em caminho único
$1/R_{\text{paralelo}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$	ohm	resistores em ramos separados
$E = P \cdot t$	kWh com P em kW e t em horas	consumo na conta de luz

TERMOLOGIA

FÓRMULA	GRANDEZAS	QUANDO USAR
$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$	caloria ou joule	a temperatura muda e o estado não
$Q = m \cdot L$	caloria ou joule	o estado muda e a temperatura não
$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$	kelvin	obrigatório em qualquer conta de gás
$\phi = k \cdot A \cdot \Delta T / e$	watt	fluxo de calor por condução
$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$	metro	dilatação linear
$P \cdot V / T = \text{constante}$	com T em kelvin	lei geral dos gases, massa fixa
$\Delta U = Q - W$	joule	primeira lei da termodinâmica
$\eta = W / Q_{\text{quente}}$	adimensional	rendimento de máquina térmica

ASSUNTOS 03 E 04

ONDAS E ÓPTICA

FÓRMULA	GRANDEZAS	QUANDO USAR
$v = \lambda \cdot f$	m/s, metro, hertz	liga as três grandezas de qualquer onda
$T = 1 / f$	segundo	período e frequência são inversos
$I = P / A$	W/m ²	intensidade
$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$	m ²	área da esfera, para fonte puntiforme
$\beta = 10 \cdot \log_{10}(I / I_0)$	decibel, com $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$	nível sonoro
$n = c / v$	adimensional	índice de refração
$1/f = 1/p + 1/p'$	metro	equação de Gauss, espelho ou lente

CINEMÁTICA E DINÂMICA

FÓRMULA	GRANDEZAS	QUANDO USAR
$s = s_0 + v \cdot t$	metro	movimento uniforme
$v = v_0 + a \cdot t$	m/s	movimento uniformemente variado
$s = s_0 + v_0 \cdot t + a \cdot t^2 / 2$	metro	posição no movimento variado
$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$	m ² /s ²	Torricelli, quando não há tempo no enunciado
$F = m \cdot a$	newton	segunda lei de Newton
$F_{\text{at}} = \mu \cdot N$	newton	força de atrito
$p = m \cdot v$	kg·m/s	quantidade de movimento
$I = F \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot v)$	N·s	impulso
$\Sigma p_{\text{antes}} = \Sigma p_{\text{depois}}$	kg·m/s	conservação em colisão

ASSUNTO 05

FÓRMULA	GRANDEZAS	QUANDO USAR
$P = m \cdot g$	newton	peso, que muda de lugar para lugar
$M = F \cdot d$	N·m	momento de uma força, com d perpendicular
$p = F / A$	pascal	pressão
$p = \rho \cdot g \cdot h$	pascal	pressão de coluna de fluido, só altura vertical
$p_{\text{total}} = p_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h$	pascal	pressão absoluta em ponto submerso
$\rho = m / V$	kg/m³ ou g/cm³	densidade
$E = \rho_{\text{fluido}} \cdot g \cdot V_{\text{deslocado}}$	newton	empuxo, princípio de Arquimedes
$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / d^2$	newton	gravitação universal

BLOCO DE ESCALA, que não é fórmula e resolve questão sozinho.

Reduzindo todas as dimensões por um fator k , o **volume e a massa** ficam divididos por k^3 , a **área** fica dividida por k^2 , e a **pressão sobre a base** fica dividida por k .

ASSUNTO 06, MAIS AS CONSTANTES

FÓRMULA	GRANDEZAS	QUANDO USAR
$W = F \cdot d$	joule	trabalho de força na direção do deslocamento
$E_c = m \cdot v^2 / 2$	joule	energia cinética
$E_p = m \cdot g \cdot h$	joule	energia potencial gravitacional
$E_c + E_p = \text{constante}$	joule	conservação, só sem dissipação
$P = E / \Delta t$	watt	potência
$\eta = E_{\text{útil}} / E_{\text{total}}$	adimensional	rendimento, sempre menor que 1
$\eta_{\text{total}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots$	adimensional	rendimentos em série se multiplicam
$E = P \cdot \Delta t$	kWh com P em kW	energia consumida

CONSTANTES E CONVERSÕES QUE A PROVA COSTUMA FORNECER

GRANDEZA	VALOR USUAL
Aceleração da gravidade	$g \approx 10 \text{ m/s}^2$
Velocidade da luz no vácuo	$c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Densidade da água	$1\,000 \text{ kg/m}^3$, ou 1 g/cm^3
Calor específico da água	$1 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$
Calor latente de fusão do gelo	80 cal/g
Pressão atmosférica ao nível do mar	$\approx 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$
Equivalente mecânico	$1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$
Velocidade em trânsito	dividir por 3,6 vai de km/h para m/s

Esta tabela é de consulta, não de memorização. O ENEM fornece a constante quando a conta depende dela. Ela está aqui para você reconhecer o valor quando ele aparecer, e para conferir ordem de grandeza.

AS RESPOSTAS, COM O RACIOCÍNIO

Confira só depois de ter tentado. O erro que você cometeu aqui é o que você não vai cometer na prova.

01 • ELETRICIDADE

- D** Indução exige variação de campo magnético. A bobina do fogão gera um campo que varia rapidamente, e essa variação induz corrente no fundo metálico da panela.
- A** Pele molhada tem cerca de $1 \text{ k}\Omega$, e parada respiratória é a faixa de 20 mA a 100 mA . Duas baterias em série dão 24 V , e $i = 24/1\ 000 = 24 \text{ mA}$, dentro da faixa. Em paralelo dariam 12 V e apenas 12 mA , que causa contração muscular, não parada.
- D** Os quatro resistores em série dão 400Ω , e o divisor é percorrido por $12/400 = 30 \text{ mA}$, com 3 V de queda em cada resistor. Os 9 V pedem um trecho de três resistores, como de B a E. Já a corrente no equipamento é $9/10\ 000 = 0,9 \text{ mA}$.
- E** O cilindro metálico oco funciona como blindagem eletrostática. As linhas de campo contornam o metal e o interior da cavidade fica sem campo, mantendo o sentido original, da barra positiva para a negativa. ---

02 • TERMOLOGIA

- E** A água aquecida no coletor fica menos densa e sobe até o reservatório, enquanto a água fria do reservatório desce para o coletor. O material se desloca carregando a energia, o que caracteriza convecção. A irradiação age antes, do Sol até o coletor, e não é o trecho que a questão pergunta.
- E** Depois que a água começa a ferver, a temperatura dentro da panela fica travada no ponto de ebulição correspondente à pressão da válvula, e a válvula libera o excesso de vapor. Aumentar a chama apenas evapora água mais rápido e queima mais gás, sem cozinhar antes. O risco de explosão é controlado pela válvula, não pela chama.
- E** O volume e a quantidade de ar são constantes, então P/T se conserva e pressão e temperatura caem juntas, em proporção direta. O gráfico é um segmento de reta que sai de P_0 em T_0 e desce até uma pressão menor em T , com a seta apontando no sentido do resfriamento.
- C** A energia útil sai na forma de trabalho realizado pelo gás sobre o pistão, o que acontece na expansão da etapa IV. A etapa III introduz calor, sem entregar trabalho, e a etapa V descarta calor para a fonte fria. ---

03 • ONDAS E ÓPTICA

- B** O fone capta o ruído externo e emite uma onda de mesma amplitude e em oposição de fase, de modo que crista encontre vale e as duas se cancelem. Isso é interferência destrutiva. O fone funciona bem com o ronco constante da turbina, que é previsível, e falha com ruído irregular, porque não dá tempo de gerar a onda oposta.
- A** A difração limita a leitura quando o comprimento de onda é da ordem do tamanho da cavidade, então cavidades menores exigem comprimento de onda menor. Dentro da luz visível, o violeta é o de menor comprimento de onda, o que permite gravar mais dados na mesma área.
- E** A luz passa do ar para a água dentro da garrafa e de volta ao ar, mudando de meio e de direção, e é isso que espalha a luz pelo cômodo. O enunciado descarta a difração ao informar que o diâmetro do buraco é muito maior que o comprimento de onda da luz.
- C** O objeto está no vértice de E_1 , que coincide com o foco de E_2 . Raios que partem do foco de um espelho côncavo refletem paralelos ao eixo, e esses raios paralelos, ao atingirem E_1 , convergem no foco de E_1 , que é o vértice de E_2 , justamente a abertura. Os raios se cruzam de verdade ali, então a imagem é real. A distância vertical entre os dois vértices é a soma das duas cotas de 3,8 cm, ou seja, 7,6 cm. ---

04 • CINEMÁTICA E DINÂMICA

- C** Na altura máxima a esfera para de subir e ainda não começou a descer, então a velocidade é nula naquele instante. A gravidade age o tempo todo, sem interrupção, então a aceleração continua valendo 10 m/s^2 apontando para baixo. É o que torna possível a esfera voltar.
- A** As duas colisões duram o mesmo tempo, então a força média maior é a que produz a maior variação de quantidade de movimento. Com os pneus o carro chega e volta, invertendo o sentido da velocidade, o que dá uma variação maior que a da barreira de blocos, onde o carro apenas para. Já a energia mecânica dissipada é maior nos blocos, porque ali toda a energia cinética se perde, enquanto com os pneus parte dela retorna como movimento.
- D** Os dois movimentos são independentes. Na horizontal a velocidade permanece V_0 , e na vertical a bolinha acelera em queda livre. A composição produz uma curva que sai horizontal da borda da mesa e vai se inclinando cada vez mais, sem canto vivo e sem reta.
- E** O peso sai do centro de massa apontando para baixo. A normal sai do ponto de contato com o piso, apontando para cima. O atrito estático também sai do ponto de contato, horizontal, no sentido oposto ao do escorregamento iminente. É o único esquema em que as três origens estão corretas ao mesmo tempo. ---

05 • ESTÁTICA, HIDROSTÁTICA E GRAVITAÇÃO

- E** A força gravitacional depende da massa e da distância. O Buraco Negro tem a mesma massa do Sol, e os planetas continuam à mesma distância do centro, então a força sobre cada um é exatamente a que era antes. O horizonte de eventos de 3,0 km é muito menor que qualquer órbita planetária e não alcança nenhum planeta.
- D** No aparelho 1 a polia é fixa e apenas muda a direção, então $F = M_1 \cdot g$. No aparelho 2 a polia móvel divide a força, então $F = M_2 \cdot g/2$. Igualando as duas forças, $M_1 \cdot g = M_2 \cdot g/2$, e a razão M_2/M_1 vale 2. A carga do aparelho 2 pode ser o dobro para o mesmo esforço.
- D** Cobre puro tem 9 g/cm^3 , então cada moeda verdadeira deve deslocar um volume igual à massa dividida por 9. As previsões são 2,9 mL para A, 3 mL para B, 1,1 mL para C e 4 mL para D. Lendo os degraus do gráfico, apenas B e D deslocam o volume previsto. A e C deslocam volumes incompatíveis com cobre puro.
- C** A profundidade do bolsão é a cota vertical, de 50 m. A cota de 30 m é horizontal, mede a distância para dentro da rocha e não influencia a pressão. A pressão no bolsão vale $1,0 \times 10^5 + 1\,000 \times 10 \times 50 = 6,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, e ao voltar à superfície ela cai para $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, uma variação de $5,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, ou 500 kPa. No gráfico, essa variação corresponde a 60 minutos. ---

06 • ENERGIA, TRABALHO E POTÊNCIA

- D** A 110 V, o limite de 20 A corresponde a $110 \times 20 = 2\,200 \text{ W}$. Computador e condicionador ficam sempre ligados e já ocupam $250 + 1\,100 = 1\,350 \text{ W}$. A impressora leva o total a 2 010 W, abaixo do limite, e a atividade se completa. A cafeteira levaria a 2 250 W, acima do limite, e o fusível rompe. Ela conseguiu realizar uma atividade.
- B** A haste tem 410 mm de altura, e o ponto mais baixo do disco fica a um terço dela, então o disco desce dois terços, $2/3 \times 0,41 = 0,273 \text{ m}$. A energia potencial perdida vale $0,030 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,273 \text{ m} \approx 8,2 \times 10^{-2} \text{ J}$. Como o enunciado manda desprezar a velocidade linear do centro de massa, praticamente toda essa energia aparece como energia cinética de rotação.
- D** Duas latas de 350 mL com densidade 1,0 g/mL somam 700 g. Resfriar 15°C exige $700 \times 1,0 \times 15 = 10\,500 \text{ cal}$, que a 4,2 J/cal dão 44 100 J. Em 7 minutos, ou 420 s, isso corresponde a $44\,100/420 = 105 \text{ W}$. Como essa é a parcela de 21% do sistema, a potência total vale $105/0,21 = 500 \text{ W}$.
- A** A fase de cruzeiro ocupa 80% das 1 000 horas anuais, ou seja, 800 horas. A dose acumulada é $800 \times 2 = 1\,600 \text{ } \mu\text{Sv}$, que equivale a 1,6 mSv. Dividindo pela dose de uma radiografia, $1,6 \div 0,2 = 8$ radiografias. ---

E AGORA?

Você terminou seis assuntos de Física com teoria, resolução comentada e 24 questões oficiais treinadas. O que fazer com isso.

REFAÇA AS QUE VOCÊ ERROU, DAQUI A UMA SEMANA

Refazer no dia seguinte testa memória. Refazer depois de uma semana testa aprendizado.

LEVE O FORMULÁRIO PARA O SIMULADO

O formulário começa na página 100 e cabe em quatro folhas. Ter as fórmulas na mão durante o treino ajuda a memorizá-las por uso, que funciona melhor que decorar.

MONTE A SUA PÁGINA DE ERROS

Anote cada erro pelo **tipo**, e não pela questão. Unidade esquecida, sinal trocado, fórmula certa aplicada fora da faixa em que vale. Três ou quatro tipos costumam explicar a maior parte dos erros de uma pessoa.

CONTINUE ESTUDANDO COM A GENTE

Na plataforma Descomplica você encontra a trilha completa de Física, com videoaula de cada um destes seis assuntos, lista de exercício comentado e correção de simulado. O que você treinou aqui é a parte que a prova cobra com mais frequência, e a trilha cobre o resto.

ANTES DA PROVA, VOLTE EM TRÊS LUGARES

- ☐ A Dica do Prof de cada assunto, que cabe numa revisão de dez minutos
- ☐ As páginas de pegadinha, que são onde a prova ganha de quem sabe a matéria
- ☐ O formulário, a partir da página 100