

## Equivalência massa-energia

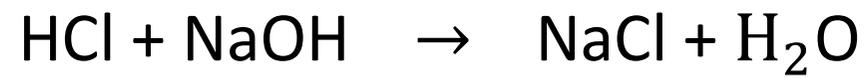
Setor B: Aula 22 / Pg. 455 / Alfa 3

- SL 02 - Teoria
- SL 09 - Exercícios

Apresentação, orientação e tarefa: [fisicasp.com.br](http://fisicasp.com.br)

**Professor Caio**

## A lei de Lavousier



73g + 80g



153 g

117g + 36g



153 g

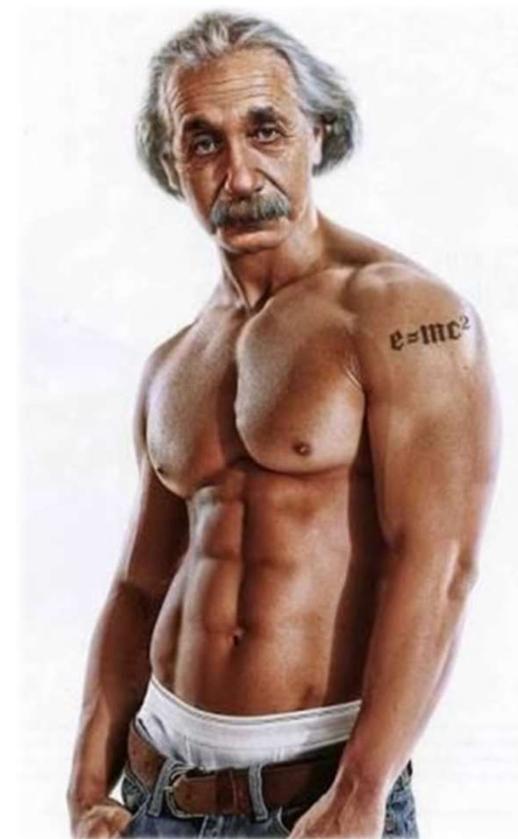
## Relação entre massa e energia

### Unidades do SI

- Energia (E): J
- Massa (m): kg
- $c = 3 \cdot 10^8$  m/s

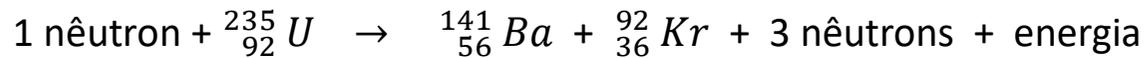
$$E = m \cdot c^2$$

Que físico!

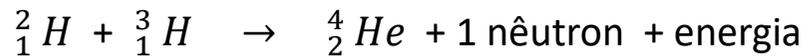


## Relação entre massa e energia

### Fissão nuclear



### Fusão nuclear



### Aniquilação matéria-antimatéria

matéria + antimatéria  $\rightarrow$  energia (fótons)

$$m_{\text{inicial}} > m_{\text{final}}$$

$$\Delta m = m_f - m_i$$

$$E = |\Delta m| \cdot c^2$$

*Redução da massa*

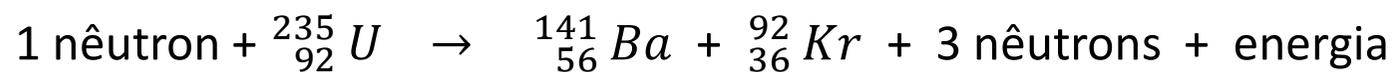
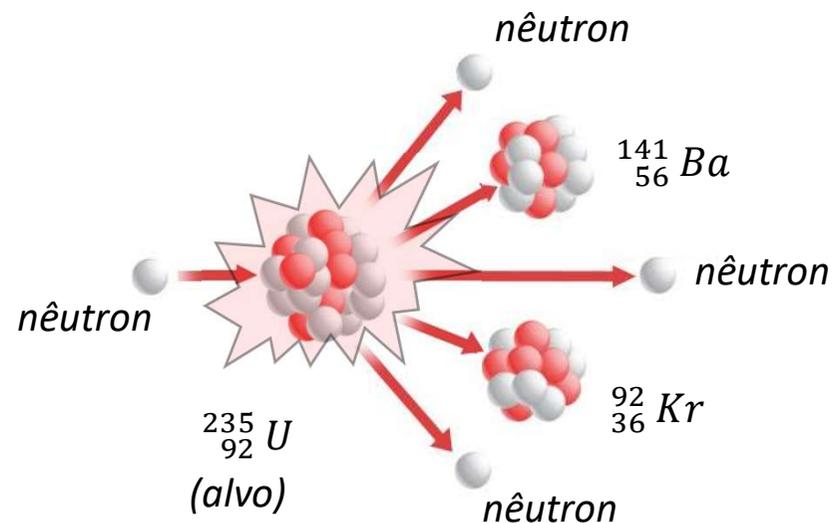
*A diferença de massa é convertida em energia*

$$E = mc^2$$

*A massa total (m) é convertida em energia (E)*

*Os fótons não tem massa*

## Fissão Nuclear



$$m_{\text{inicial}} > m_{\text{final}}$$

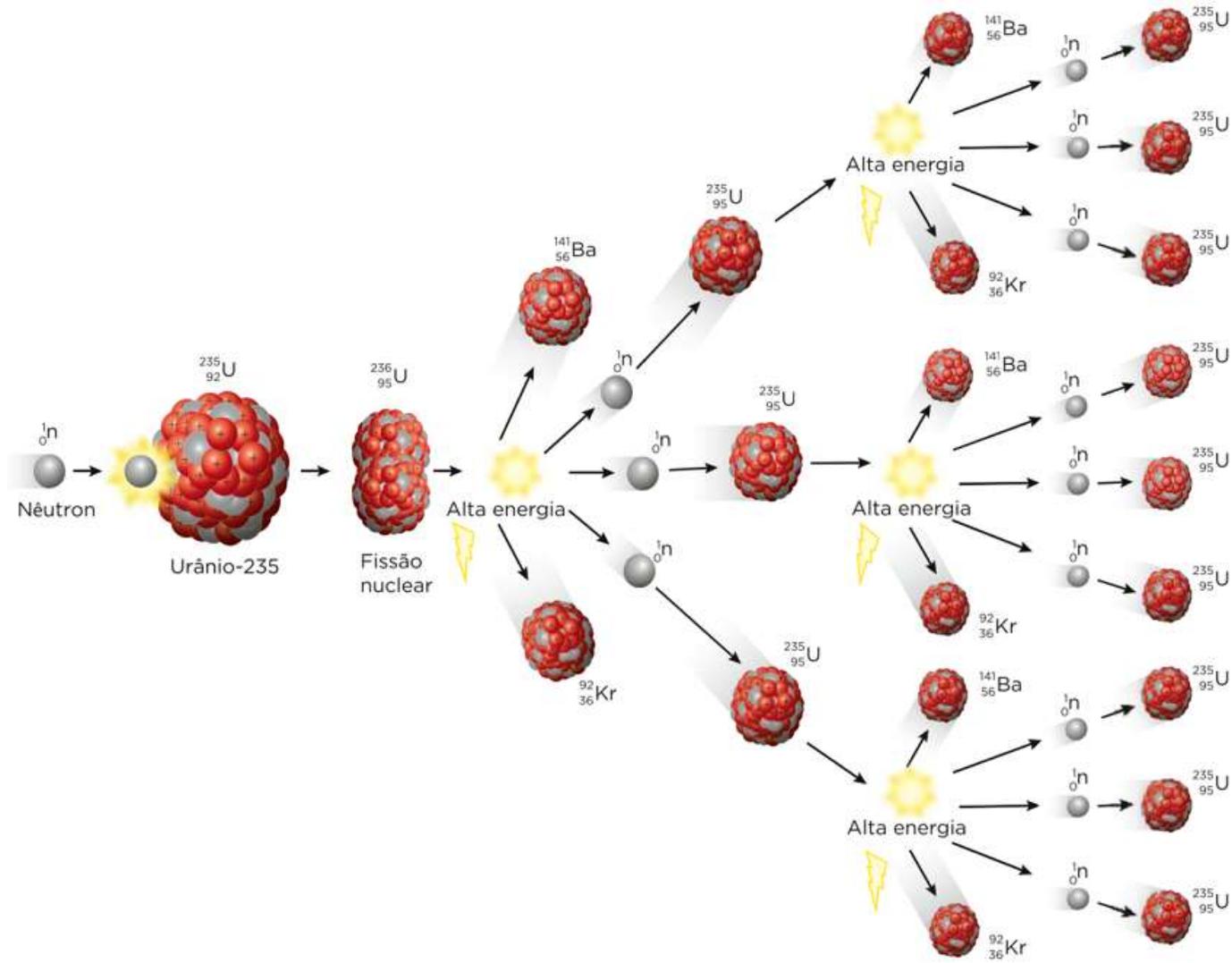
$$\Delta m = m_f - m_i$$

$$E = |\Delta m| \cdot c^2$$

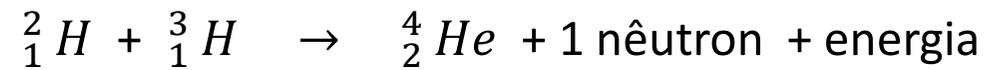
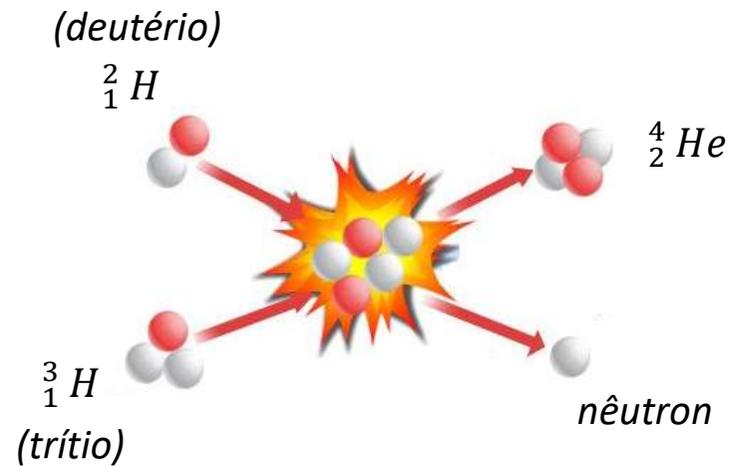
*Redução da massa*

*A diferença de massa é convertida em energia*

# Fissão Nuclear: reação em cadeia



# Fusão Nuclear



$$m_{inicial} > m_{final}$$

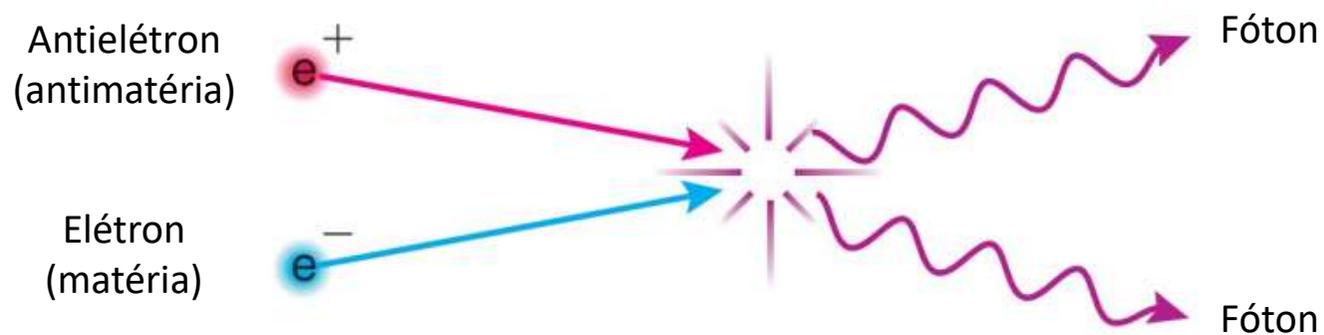
$$\Delta m = m_f - m_i$$

$$E = |\Delta m| \cdot c^2$$

*Redução da massa*

*A diferença de massa é convertida em energia*

## Aniquilação matéria-antimatéria



matéria + antimatéria → energia (fótons)

*A massa total ( $m$ ) é convertida em energia ( $E$ )*

$$E = mc^2$$

*Os fótons não tem massa*

## *Exercícios da apostila*

1. (UEL-PR) Uma usina nuclear produz energia elétrica a partir da fissão dos átomos de urânio (normalmente urânio-238 e urânio-235) que formam os elementos combustíveis de um reator nuclear.

Sobre a energia elétrica produzida numa usina nuclear, considere as afirmativas a seguir.

I. Os átomos de urânio que sofrem fissão nuclear geram uma corrente elétrica que é armazenada num capacitor e posteriormente retransmitida aos centros urbanos.

II. A energia liberada pela fissão dos átomos de urânio é transformada em energia térmica que aquece o líquido refrigerante do núcleo do reator e que, através de um ciclo térmico, coloca em funcionamento as turbinas geradoras de energia elétrica.

III. Uma usina nuclear é também chamada de termonuclear.

IV. O urânio-238 e o urânio-235 não são encontrados na natureza.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- c) Somente as afirmativas II e III são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, III e IV são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

1. (UEL-PR) Uma usina nuclear produz energia elétrica a partir da fissão dos átomos de urânio (normalmente urânio-238 e urânio-235) que formam os elementos combustíveis de um reator nuclear.

Sobre a energia elétrica produzida numa usina nuclear, considere as afirmativas a seguir.

I. Os átomos de urânio que sofrem fissão nuclear geram uma corrente elétrica que é armazenada num capacitor e posteriormente retransmitida aos centros urbanos. **(F)**

II. A energia liberada pela fissão dos átomos de urânio é transformada em energia térmica que aquece o líquido refrigerante do núcleo do reator e que, através de um ciclo térmico, coloca em funcionamento as turbinas geradoras de energia elétrica. **(V)**

III. Uma usina nuclear é também chamada de termonuclear. **(V)**

IV. O urânio-238 e o urânio-235 não são encontrados na natureza. **(F)**

Assinale a alternativa correta.

a) Somente as afirmativas I e II são corretas.

b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.

c) Somente as afirmativas II e III são corretas. 

d) Somente as afirmativas I, III e IV são corretas.

e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

4. (PUC-MG) A fabulosa quantidade de energia que o Sol irradia continuamente para o espaço pode ser analisada através da equação  $E = \Delta mc^2$ . Os cientistas acreditam que essa energia solar tem sua origem em reações nucleares, nas quais 4 átomos de Hidrogênio se unem para formar um átomo de Hélio, reações essas que são acompanhadas de uma grande emissão de energia. Uma reação como esta, em que núcleos leves se unem originando um núcleo mais pesado, é denominada fusão nuclear. Verifica-se que a massa do Hélio formada é de  $6,646 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  e é inferior à soma das massas dos 4 núcleos de Hidrogênio, que somadas resultam em  $6,694 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Portanto, a energia dessa fusão é função desta redução de massa, podendo ser calculada pela fórmula que relaciona massa ( $\Delta m$ ) com energia ( $E$ ) dada acima, considerando-se a velocidade da luz  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Estima-se que no Sol ocorrem  $10^{38}$  reações desse tipo em cada segundo.

Tendo em vista o texto dado, pode-se calcular a energia liberada pelo Sol em uma reação e a potência irradiada pelo Sol. Os valores dessas duas grandezas serão respectivamente iguais a:

- a)  $1,20 \cdot 10^{-9} \text{ J}$  e  $1,20 \cdot 10^{24} \text{ W}$
- b)  $1,20 \cdot 10^{-9} \text{ J}$  e  $1,20 \cdot 10^{29} \text{ W}$
- c)  $4,32 \cdot 10^{-12} \text{ J}$  e  $4,32 \cdot 10^{24} \text{ W}$
- d)  $4,32 \cdot 10^{-12} \text{ J}$  e  $4,32 \cdot 10^{26} \text{ W}$



4. (PUC-MG) A fabulosa quantidade de energia que o Sol irradia continuamente para o espaço pode ser analisada através da equação  $E = \Delta mc^2$ . Os cientistas acreditam que essa energia solar tem sua origem em reações nucleares, nas quais 4 átomos de Hidrogênio se unem para formar um átomo de Hélio, reações essas que são acompanhadas de uma grande emissão de energia. Uma reação como esta, em que núcleos leves se unem originando um núcleo mais pesado, é denominada fusão nuclear. Verifica-se que a massa do Hélio formada é de  $6,646 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  e é inferior à soma das massas dos 4 núcleos de Hidrogênio, que somadas resultam em  $6,694 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Portanto, a energia dessa fusão é função desta redução de massa, podendo ser calculada pela fórmula que relaciona massa ( $\Delta m$ ) com energia ( $E$ ) dada acima, considerando-se a velocidade da luz  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . **Estima-se que no Sol ocorrem  $10^{38}$  reações desse tipo em cada segundo.**

Tendo em vista o texto dado, pode-se calcular **a energia liberada pelo Sol em uma reação** e **a potência irradiada pelo Sol**. Os valores dessas duas grandezas serão respectivamente iguais a:

Em um reação

$$E = |\Delta m|c^2$$

$$\Delta m = 6,646 \cdot 10^{-27} - 6,694 \cdot 10^{-27}$$

$$\Delta m = -0,048 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m = -4,8 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = |\Delta m|c^2$$

$$E = 4,8 \cdot 10^{-29} \cdot (3 \cdot 10^8)^2$$

$$E = 4,8 \cdot 10^{-29} \cdot (9 \cdot 10^{16})$$

$$E = 43,2 \cdot 10^{-13} = 4,32 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad \Delta t = 1 \text{ s}$$

$$E = 10^{38} \times (4,32 \cdot 10^{-12} \text{ J})$$

$$E = 4,32 \cdot 10^{26} \text{ J}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{4,32 \cdot 10^{26}}{1} = 4,32 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

4. (PUC-MG) A fabulosa quantidade de energia que o Sol irradia continuamente para o espaço pode ser analisada através da equação  $E = \Delta mc^2$ . Os cientistas acreditam que essa energia solar tem sua origem em reações nucleares, nas quais 4 átomos de Hidrogênio se unem para formar um átomo de Hélio, reações essas que são acompanhadas de uma grande emissão de energia. Uma reação como esta, em que núcleos leves se unem originando um núcleo mais pesado, é denominada fusão nuclear. Verifica-se que a massa do Hélio formada é de  $6,646 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  e é inferior à soma das massas dos 4 núcleos de Hidrogênio, que somadas resultam em  $6,694 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Portanto, a energia dessa fusão é função desta redução de massa, podendo ser calculada pela fórmula que relaciona massa ( $\Delta m$ ) com energia ( $E$ ) dada acima, considerando-se a velocidade da luz  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Estima-se que no Sol ocorrem  $10^{38}$  reações desse tipo em cada segundo.

Tendo em vista o texto dado, pode-se calcular a energia liberada pelo Sol em uma reação e a potência irradiada pelo Sol. Os valores dessas duas grandezas serão respectivamente iguais a:

- a)  $1,20 \cdot 10^{-9} \text{ J}$  e  $1,20 \cdot 10^{24} \text{ W}$
- b)  $1,20 \cdot 10^{-9} \text{ J}$  e  $1,20 \cdot 10^{29} \text{ W}$
- c)  $4,32 \cdot 10^{-12} \text{ J}$  e  $4,32 \cdot 10^{24} \text{ W}$
- d)  $4,32 \cdot 10^{-12} \text{ J}$  e  $4,32 \cdot 10^{26} \text{ W}$  ←

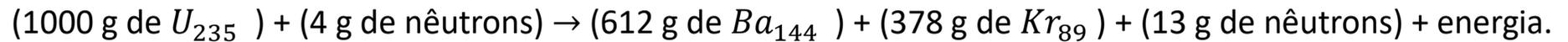
$$E = 43,2 \cdot 10^{-13} = 4,32 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{4,32 \cdot 10^{26}}{1} = 4,32 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

## *Extras do Caio*

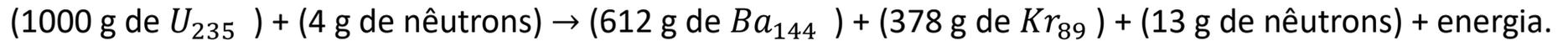
1. (Unicamp adaptada) A evolução da sociedade tem aumentado a demanda por energia limpa e renovável. Tipicamente, uma roda d'água de moinho produz cerca de 40 kWh (ou  $1,4 \cdot 10^8 \text{ J}$ ) diários. Por outro lado, usinas nucleares fornecem em torno de 20% da eletricidade do mundo e funcionam através de processos controlados de fissão nuclear em cadeia.

Numa usina nuclear, a diferença de massa  $m$  entre os reagentes e os produtos da reação de fissão é convertida em energia, segundo a equação de Einstein  $E = \Delta m \cdot c^2$ , onde  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Uma das reações de fissão que podem ocorrer em uma usina nuclear é expressa de forma aproximada por:



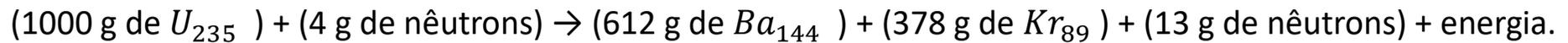
Calcule a quantidade de energia liberada na reação de fissão descrita acima.

Numa usina nuclear, a diferença de massa  $m$  entre os reagentes e os produtos da reação de fissão é convertida em energia, segundo a equação de Einstein  $E = \Delta m \cdot c^2$ , onde  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s. Uma das reações de fissão que podem ocorrer em uma usina nuclear é expressa de forma aproximada por:



Calcule a quantidade de energia liberada na reação de fissão descrita acima.

Rascunho



$$m_i = 1004 \text{ g}$$



$$m_f = 1003 \text{ g}$$

$$\Delta m = m_f - m_i = -1 \text{ g}$$

$$|\Delta m| = 1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$$

---

$$E = |\Delta m| \cdot c^2 \Rightarrow E = 0,001 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow E = 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^{16} \Rightarrow E = 9 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

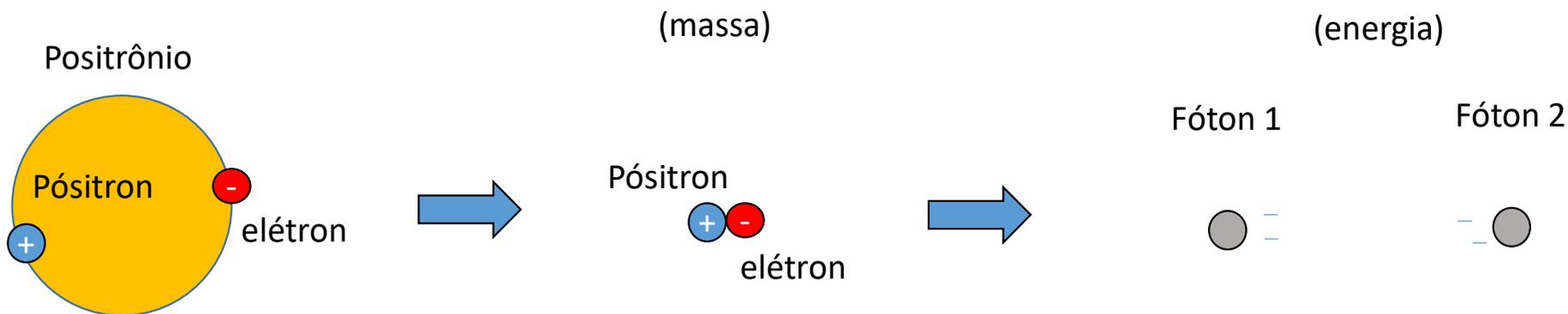
2. (Unicamp adaptada) Com um pouco de capacidade de interpretação do enunciado, é possível entender um problema de Física moderna, como o exposto a seguir, com base nos conhecimentos de ensino médio. O Positrônio é um átomo formado por um elétron e sua antipartícula, o pósitron, que possui carga oposta e massa igual à do elétron. Ele é semelhante ao átomo de Hidrogênio, que possui um elétron e um próton.

Ao contrário do átomo de Hidrogênio, o Positrônio é muito instável, pois o elétron pode aniquilar-se rapidamente com a sua antipartícula, produzindo fótons de alta energia, chamados raios gama. Considerando que as massas do elétron e do pósitron são  $m_e = m_p = 9 \cdot 10^{-31}$  kg e que, ao se aniquilarem, toda a sua energia, dada pela relação de Einstein  $E_e + E_p = m_e c^2 + m_p c^2$ , é convertida na energia de dois fótons gama, calcule a energia de cada fóton produzido. A velocidade da luz é  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

2. (Unicamp adaptada) Com um pouco de capacidade de interpretação do enunciado, é possível entender um problema de Física moderna, como o exposto a seguir, com base nos conhecimentos de ensino médio. O Positrônio é um átomo formado por um elétron e sua antipartícula, o pósitron, que possui carga oposta e massa igual à do elétron. Ele é semelhante ao átomo de Hidrogênio, que possui um elétron e um próton.

Ao contrário do átomo de Hidrogênio, o Positrônio é muito instável, pois o elétron pode aniquilar-se rapidamente com a sua antipartícula, produzindo fótons de alta energia, chamados raios gama. Considerando que as **massas do elétron e do pósitron são  $m_e = m_p = 9 \cdot 10^{-31}$  kg** e que, **ao se aniquilarem, toda a sua energia, dada pela relação de Einstein  $E_e + E_p = m_e c^2 + m_p c^2$** , é convertida na energia de dois fótons gama, calcule a energia de cada fóton produzido. A velocidade da luz é  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

Rascunho



2. (Unicamp adaptada) Com um pouco de capacidade de interpretação do enunciado, é possível entender um problema de Física moderna, como o exposto a seguir, com base nos conhecimentos de ensino médio. O Positrônio é um átomo formado por um elétron e sua antipartícula, o pósitron, que possui carga oposta e massa igual à do elétron. Ele é semelhante ao átomo de Hidrogênio, que possui um elétron e um próton.

Ao contrário do átomo de Hidrogênio, o Positrônio é muito instável, pois o elétron pode aniquilar-se rapidamente com a sua antipartícula, produzindo fótons de alta energia, chamados raios gama. Considerando que as **massas do elétron e do pósitron são  $m_e = m_p = 9 \cdot 10^{-31}$  kg** e que, **ao se aniquilarem, toda a sua energia, dada pela relação de Einstein  $E_e + E_p = m_e c^2 + m_p c^2$** , é convertida na energia de dois fótons gama, calcule a energia de cada fóton produzido. A velocidade da luz é  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s

$$\begin{array}{l}
 E_p + E_e = m_p \cdot c^2 + m_e \cdot c^2 \\
 E_p + E_e = E_{fóton 1} + E_{fóton 2} \\
 E_{fóton 1} = E_{fóton 2} = E
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \nearrow \\
 \nearrow \\
 \nearrow
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 m_p \cdot c^2 + m_e \cdot c^2 = E_{fóton 1} + E_{fóton 2} \\
 m_p \cdot c^2 + m_e \cdot c^2 = E + E \\
 m_p \cdot c^2 + m_e \cdot c^2 = 2E
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \nearrow \\
 \nearrow \\
 \nearrow
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 9 \cdot 10^{-31} (3 \cdot 10^8)^2 + 9 \cdot 10^{-31} (3 \cdot 10^8)^2 = 2E \\
 9 \cdot 10^{-31} (9 \cdot 10^{16}) + 9 \cdot 10^{-31} (9 \cdot 10^{16}) = 2E \\
 81 \cdot 10^{-15} + 81 \cdot 10^{-15} = 2E
 \end{array}$$

$E = 8,1 \cdot 10^{-1} \text{ J}$

## *Dicas para tarefa*

## Ex 4 - TM

Calor causando  
alteração da  
temperatura:  
**calor sensível**



$$Q_s = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

**Calcular** a energia contida em uma pedra

$$E = m \cdot c^2$$

**Calcular** a quantidade de massa que pode ser aquecida em 80°C

$$E = Q$$

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

## Ex 5 - TC

Tema: fusão de buracos negros

Item b)

**Calcular** a energia produzida pela fusão de 3 massas solares

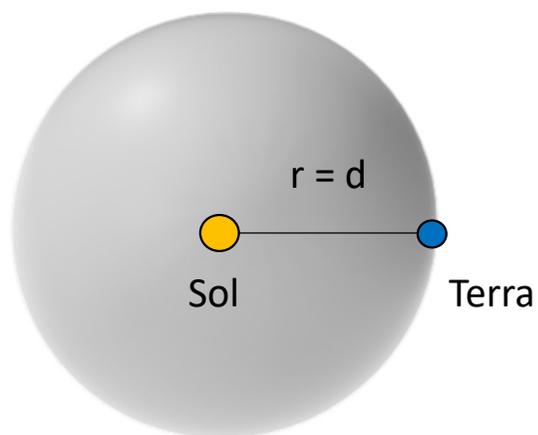
$$E = m \cdot c^2$$



**Calcular** a potência para  $\Delta t = 0,2s$

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

Item c)



Intensidade da luz na órbita da Terra:  $I = \frac{1,4 \text{ kW}}{m^2}$

$$P = I \cdot A$$

**Calcular** a potência total irradiada pelo Sol e comparar com o valor encontrado no item b

Área da superfície esférica (cinza)  
 $A = 4\pi r^2$

## Ex 6 - TC

Item a)

Intensidade da irradiação na superfície da Terra  $I = \frac{250W}{m^2}$

Fornecida pelo enunciado

$P = I \cdot A$

**Calcular a área**

Item b)

80% da potência pelo enunciado

**Calcular a potência**

$E = P \cdot \Delta t$

1 ano

Item c)

**Calcular** certo volume  $V$  de petróleo. Você pode fazer uma regra de três entre a energia contida em 1 litro de petróleo ( $10^7$  J / L ) e a energia encontrada no item b.

Item d)

Valor encontrado no item b

$E = m \cdot c^2$

**Calcular a massa**

## Ex 7 - TC

**Calcular** a energia consumida em uma residência em 1 ano. Você pode fazer regra de três a partir do consumo de 200 kwh por mês fornecido pelo enunciado. Lembre-se que  $1 \text{ kwh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

Em seguida:

Valor encontrado no passo anterior

$$E = m \cdot c^2$$

Calcular a massa

## Ex 8 - TC

Item a)

Não esquenta! Isole  $v$  na equação  $v = Hr$  e substitua na equação  $v = c\Delta\lambda/\lambda_0$

Item b)

Valor fornecido  
pelo enunciado

$$E = m \cdot c^2$$

Calcular a massa