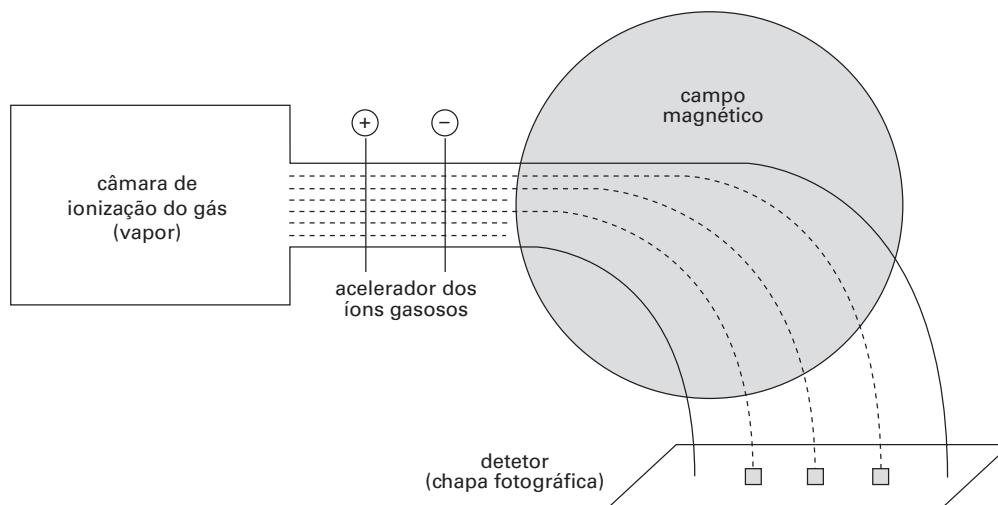


Massa Atômica e Molecular, Mol

Leia o texto seguinte, referente ao espectrógrafo de massa, e a seguir resolva os exercícios de 1 a 6.

É um aparelho capaz de fornecer a composição isotópica qualitativa e quantitativa de um elemento químico, bem como os valores mais precisos para as massas atômicas desses isótopos. Esse aparelho consta de três partes essenciais:

- 1) Fonte de íons gasosos positivos do elemento analisado. Estes íons são obtidos pelo bombardeio das moléculas gasosas contendo o elemento analisado por um feixe de elétrons produzidos por um filamento incandescente; os íons gasosos formam-se pela colisão dos elétrons com as moléculas, da mesma maneira que nos tubos de Goldstein.
- 2) Um dispositivo pelo qual os íons gasosos são acelerados por um campo elétrico, passam por uma fenda e entram num tubo sob alto vácuo e sob a ação de um campo magnético. Os íons gasosos são desviados pelo campo magnético e o raio de curvatura das respectivas trajetórias varia com a relação e/m (carga/massa) de cada íon.
- 3) Um detector, que localiza as trajetórias percorridas pelos diferentes íons.



O raio r da trajetória circular do íon gasoso, acelerado por uma diferença de voltagem V e desviado por um campo magnético B é dado pela expressão $1/r^2 = (B^2/2V)(e/m)$, onde e é a carga do íon e m a massa.

Para B e V constantes, a relação entre os raios das trajetórias de dois íons gasosos será:

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{m_1 \cdot e_2}{m_2 \cdot e_1}}$$

Consideremos a análise dos isótopos do neônio no espectrógrafo de massa. O neônio é formado de três isótopos nas seguintes proporções:

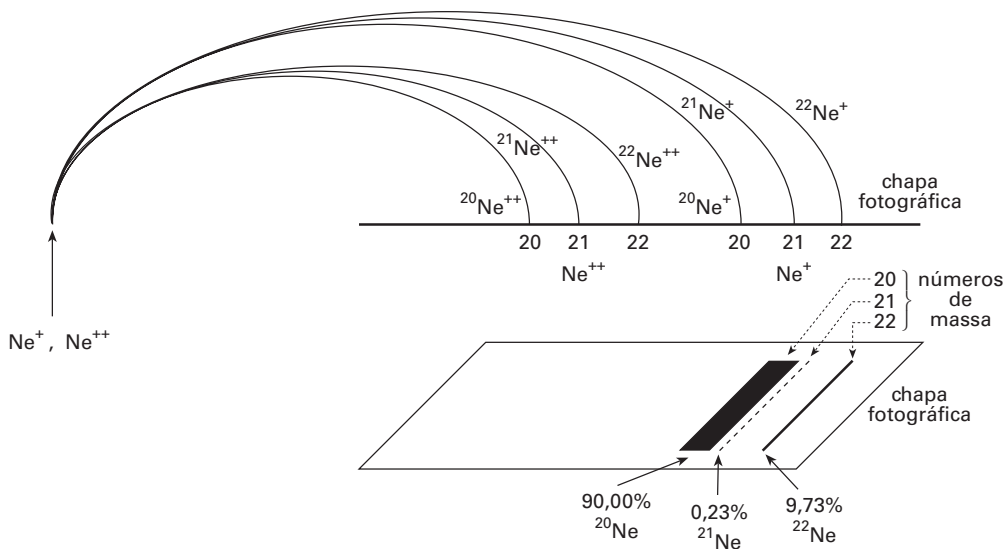
^{20}Ne 90,00%, ^{21}Ne 0,27%, ^{22}Ne 9,73%

No espectrômetro vão-se formar íons gasosos monopositivos (Ne^+), bipoisitivos (Ne^{++}), etc., dos três isótopos do neônio. Considerando-se apenas os íons mono e bipoisitivos, temos:

$^{20}\text{Ne}^{++}$ $^{21}\text{Ne}^{++}$ $^{22}\text{Ne}^{++}$

$^{20}\text{Ne}^+$ $^{21}\text{Ne}^+$ $^{22}\text{Ne}^+$

A carga dos íons Ne^{++} é o dobro da carga dos íons Ne^+ ; devido a esta grande diferença de carga, os íons Ne^{++} são muito mais desviados; com isso os íons Ne^{++} e Ne^+ vão incidir em regiões bem afastadas uma da outra, na chapa fotográfica. As diferenças de massa entre os isótopos do neônio são pequenas (1/20 e 2/20), por isto, os desvios sofridos pelos íons de mesma carga e de massas diferentes de neônio não diferem muito entre si e, conseqüentemente, esses íons vão incidir em regiões bem próximas umas das outras na chapa fotográfica. Esta é impressionada muito mais fortemente nas regiões onde incidem os íons gasosos positivos do isótopo 20 do neônio, porque este é o isótopo predominante na mistura. Nas regiões onde incidem os íons gasosos positivos do isótopo 21 do neônio aparece uma leve impressão na chapa fotográfica, porque este isótopo entra em pequena porcentagem (0,23%) na mistura isotópica. Pela comparação entre a intensidade de impressão nas diversas regiões de chapa fotográfica determina-se a porcentagem de cada isótopo na mistura isotópica.



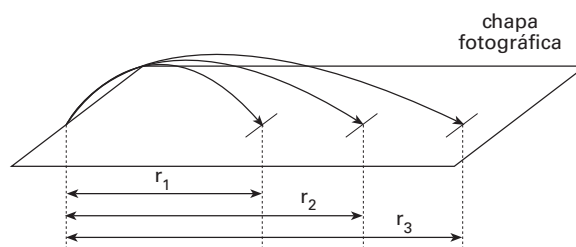
A quantidade dos íons bipoisitivos, tripoisitivos, etc., é insignificante em relação aos íons monoisitivos formados na câmara de ionização.

Exercícios

1. A figura ao lado, representa a trajetória dos íons gasosos positivos do hidrogênio obtidos num espectrógrafo de massa.

Associe r_1 , r_2 e r_3 com os íons:

- a) H^+ b) D^+ c) H_2^+ d) D_2^+



Resolução:

Como as cargas dos íons é igual (+1) os raios de curvatura são diretamente proporcionais às raízes quadradas de suas massas.

$$\begin{array}{ccc} \text{Massas} \Rightarrow \text{H}^+ < \text{D}^+ = \text{H}_2^+ < \text{D}_2^+ \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ r_1 & r_2 & r_3 \end{array} \quad (\text{Resposta})$$

2. A relação entre as distâncias r_1 , r_2 e r_3 no exercício 1 é igual a:

- a) $r_1 : r_2 : r_3 :: 1 : 2 : 4$ c) $r_1 : r_2 : r_3 :: 1 : 2 : 3$
 b) $r_1 : r_2 : r_3 :: 1 : \sqrt{2} : 2$ d) $r_1 : r_2 : r_3 :: 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$

Resolução:

a) $\frac{r_1}{\sqrt{m_1}} = \frac{r_2}{\sqrt{m_2}} = \frac{r_3}{\sqrt{m_3}} = \dots$

$$b) \frac{r_{H^+}}{\sqrt{1}} = \frac{r_{D^+}}{\sqrt{2}} = \frac{r_{H_2^+}}{\sqrt{2}} = \frac{r_{D_2^+}}{\sqrt{4}}$$

$$c) \frac{r_{H^+}}{1} = \frac{r_{D^+}}{\sqrt{2}} = \frac{r_{H_2^+}}{\sqrt{2}} = \frac{r_{D_2^+}}{4}$$

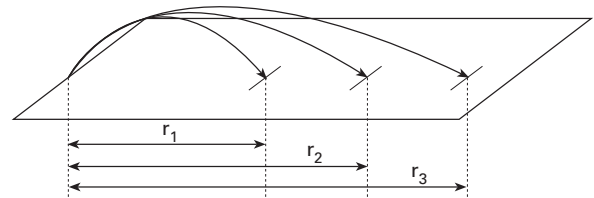
$$d) \frac{r_1}{1} = \frac{r_2}{\sqrt{2}} = \frac{r_3}{2}$$

Resposta: B

3. A figura ao lado, representa a trajetória dos íons gasosos positivos do oxigênio, isótopo 16 (puro), obtidos num espectrógrafo de massa.

Associe r_1 , r_2 e r_3 com os íons:

- a) $^{16}O^+$ c) $^{16}O_2^+$
 b) $^{16}O^{2+}$ d) $^{16}O_2^{2+}$



Resolução:

$$r = k \sqrt{\frac{m}{e}}$$

$$\frac{r_1}{\sqrt{\frac{m_1}{e_1}}} = \frac{r_2}{\sqrt{\frac{m_2}{e_2}}} = \frac{r_3}{\sqrt{\frac{m_3}{e_3}}} = \frac{r_4}{\sqrt{\frac{m_4}{e_4}}}$$

$$\frac{r_{^{16}O^+}}{\sqrt{\frac{16}{1}}} = \frac{r_{^{16}O_2^+}}{\sqrt{\frac{16}{2}}} = \frac{r_{^{16}O_2^+}}{\sqrt{\frac{32}{1}}} = \frac{r_{^{16}O_2^{2+}}}{\sqrt{\frac{32}{2}}}$$

$$\frac{r_{^{16}O^+}}{4} = \frac{r_{^{16}O_2^+}}{2\sqrt{2}} = \frac{r_{^{16}O_2^+}}{4\sqrt{2}} = \frac{r_{^{16}O_2^{2+}}}{4}$$

$$r_{^{16}O_2^+} < r_{^{16}O^+} = r_{^{16}O_2^{2+}} < r_{^{16}O^{2+}} \quad (\text{Resposta})$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ r_1 & r_2 & r_3 \end{array}$$

4. Qual a relação entre as distâncias r_1 , r_2 e r_3 do exercício 3?

Resolução:

$$\frac{r_1}{2\sqrt{2}} = \frac{r_2}{4} = \frac{r_3}{4\sqrt{2}} \quad (\text{Resposta})$$

5. Chamando-se de r_1 , r_2 , r_3 e r_4 , respectivamente, os raios relativos às trajetórias dos íons gasosos $^{35}Cl^{2+}$, $^{37}Cl^+$, $^{35}Cl^+$, $^{35}Cl_2^+$ obtidos num espectrógrafo de massa, podemos afirmar que:

a) $r_1 : r_2 : r_3 : r_4 :: 70 : 37 : 35 : 70$

c) $r_1 : r_2 : r_3 : r_4 :: 1 : \sqrt{2} : \sqrt{2} : 2$

b) $r_1 : r_2 : r_3 : r_4 :: 35 : 37 : 35 : 70$

d) $r_1 : r_2 : r_3 : r_4 :: 1 : 1,454 : 1,414 : 2$

Resolução:

$$\sqrt{\frac{m}{e}} \rightarrow \sqrt{\frac{35}{2}} : \sqrt{\frac{37}{1}} : \sqrt{\frac{35}{1}} : \sqrt{\frac{70}{1}}$$

$$4,18 : 6,08 : 5,92 : 8,37$$

$$\frac{4,18}{4,18} : \frac{6,08}{4,18} : \frac{5,92}{4,18} : \frac{8,37}{4,18}$$

$$1 : 1,45 : 1,42 : 2 \quad (\text{Resposta d})$$

6. (ITA) O lítio natural, de massa molar $6,939 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, é formado dos isótopos Li^6 e Li^7 , cujas massas molares são respectivamente, $6,015$ e $7,016 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. A densidade do lítio natural sólido, a 0°C e a 1 atm é de $0,53 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. A respeito do lítio eletricamente neutro fazem-se as seguintes afirmações:

- I. $2,313 \text{ g}$ de lítio natural contém um mol de elétrons.
- II. 10^{-23} g de Li^6 contém 3 nêutrons.
- III. $2,313 \times 10^{20}$ átomos de Li^7 ocupam um volume de $\frac{2,313}{6,023} \times 22,4 \text{ cm}^3$ no estado de vapor, numa temperatura T e pressão P , tal que $T/P = 273 \text{ K} \cdot \text{atm}^{-1}$.
- IV. $6,939 \times 10^{20}$ átomos de lítio natural ocupam apenas $\frac{(6,939)^2}{6,023 \times 0,53} \text{ mm}^3$ no estado sólido a 0°C e 1 atm .

Quais das afirmações acima estão corretas? Justifique.

Resolução:

- I. $6,939 \text{ g}$ de ${}_3\text{Li}$ — 1 mol de ${}_3\text{Li}$ — 3 mols de elétrons
 $2,313 \text{ g}$ de ${}_3\text{Li}$ ————— 1 mol de elétrons

- II. Massa de 1 átomo de ${}^6\text{Li} = \frac{6}{6 \times 10^{23}} = 10^{-23} \text{ g}$
 10^{-23} g de ${}^6\text{Li}$ contém 3 nêutrons.

- III. $n_{7\text{Li}} = \frac{2,313 \times 10^{20}}{6,023 \times 10^{23}} = \frac{2,313}{6,023} \times 10^{-3} \text{ mol}$
 $v = \frac{2,313}{6,023} \times 10^{-3} \times 22.400 \text{ cm}^3 = \frac{2,313}{6,023} \times 22,4 \text{ cm}^3$

- IV. $6,023 \times 10^{23}$ átomos $\rightarrow 6,939 \text{ g}$
 $6,939 \times 10^{20}$ átomos $\rightarrow X \text{ g}$

$$X = \frac{(6,939)^2}{6,023} \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$0,53 \text{ g} \text{ ————— } 1 \text{ cm}^3$$

$$\frac{(6,939)^2}{6,023} \times 10^{-3} \text{ g} \text{ ————— } y$$

$$y = \frac{(6,939)^2 \cdot 10^{-3}}{6,023 \times 0,53} \text{ cm}^3 = \frac{(6,939)^2}{6,023 \times 0,53} \text{ mm}^3$$

Conclusão: I, II, III e IV estão corretos.

7. O gráfico ao lado representa o espectro de massa do zinco, onde estão indicadas as abundâncias de cada um dos seus isótopos naturais.

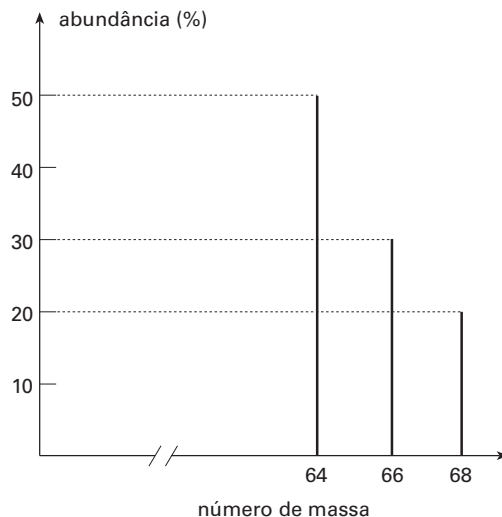
Sabendo que o número atômico do zinco é 30, calcule:

- a) O número de elétrons contidos em $130,8 \text{ g}$ de zinco metálico.
- b) A quantidade em mol de prótons contida em $10,9 \text{ g}$ de zinco metálico.
- c) A quantidade em mol de nêutrons contida em $65,4 \text{ g}$ de zinco metálico.

Resolução:

- a) Massa atômica de ${}_{30}\text{Zn} = 64 \times 0,50 + 66 \times 0,30 + 68 \times 0,20 = 65,4 \text{ u}$.

$$n_{{}_{30}\text{Zn}} = \frac{130,8 \text{ g}}{65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 2,0 \text{ mol de átomos}$$



Número de átomos ${}_{30}\text{Zn} = 2,0 \text{ mol} \times 6,0 \times 10^{23} \text{ átomo} \cdot \text{mol}^{-1} = 1,2 \times 10^{24} \text{ átomos } {}_{30}\text{Zn}$

Número de elétrons $= 1,2 \times 10^{24} \times 30 = 3,6 \times 10^{25}$ (Resposta a)

$$\text{b) } n_{{}_{30}\text{Zn}} = \frac{10,9 \text{ g}}{65,4 \text{ g/mol}} = 0,167 \text{ mol}$$

Número de prótons em mol $= 0,167 \text{ mol} \times 30 \text{ prótons/mol} = 5,0 \text{ mol de prótons}$ (Resposta b)

$$\text{c) } n_{\text{Zn}} = 1,0 \text{ mol}$$

50% de ${}^{64}_{30}\text{Zn}$ $\therefore 0,50 \text{ mol de } {}^{64}_{30}\text{Zn} \therefore 0,50 \times 34 = 17 \text{ mol de neutrons}$

30% de ${}^{66}_{30}\text{Zn}$ $\therefore 0,30 \text{ mol de } {}^{66}_{30}\text{Zn} \therefore 0,30 \times 36 = 10,8 \text{ mol de neutrons}$

20% de ${}^{68}_{30}\text{Zn}$ $\therefore 0,20 \text{ mol de } {}^{68}_{30}\text{Zn} \therefore 0,20 \times 38 = 7,6 \text{ mol de neutrons}$

Total de neutrons $= 17 + 10,8 + 7,6 = 35,4 \text{ mol de neutrons}$. (Resposta c)

8. Considere a reação nuclear



Qual a energia liberada em J/mol de ${}^4_2\text{He}$?

Dados:

Massa de ${}^2_1\text{H} = 2,01355 \text{ u}$

Massa de ${}^4_2\text{He} = 4,00151 \text{ u}$

Velocidade da luz $= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Constante de Avogadro $= 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Resolução:

Massa inicial $= 2 \times 2,01355 = 4,02710 \text{ u}$

Massa final $= 4,00151 \text{ u}$

$\Delta m = 0,02559 \text{ u/nuclídeo } {}^4_2\text{He}$

$$1 \text{ u} \xrightarrow{\frac{1}{6 \times 10^{23}} \text{ g}} \xrightarrow{\frac{1}{6 \times 10^{26}} \text{ kg}}$$

$$0,02559 \text{ u} \xrightarrow{\hspace{10em}} x$$

$$x = \frac{0,02559}{6 \times 10^{26}} \text{ kg/nuclídeo } {}^4_2\text{He}$$

$$e = mc^2 = \frac{0,02559}{6 \times 10^{26}} \text{ kg} \times (3 \times 10^8)^2 (\text{m/s})^2$$

$$e = 3,84 \times 10^{-12} \text{ J/nuclídeo } {}^4_2\text{He}$$

$$3,84 \times 10^{-12} \text{ J} \times 6 \times 10^{23} = 2,304 \times 10^{12} \text{ J/mol de } {}^4_2\text{He}$$

9. $5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$ de um óleo são colocados numa bandeja com água. O óleo se espalha na superfície da água constituindo uma mancha com 42 cm^2 de área. Sabendo que essa mancha é formada apenas por uma camada de moléculas de óleo e admitindo que o volume de uma molécula de óleo é igual ao de um cubo de aresta igual à espessura da camada de óleo, determine o valor da constante de Avogadro.

O óleo utilizado na experiência é a trioleína pura ($\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$, $M = 884 \text{ g/mol}$, $d = 0,884 \text{ g/cm}^3$).

Resolução:

$$\text{Espessura da camada de óleo} = \frac{5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3}{42 \text{ cm}^2} = 1,19 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

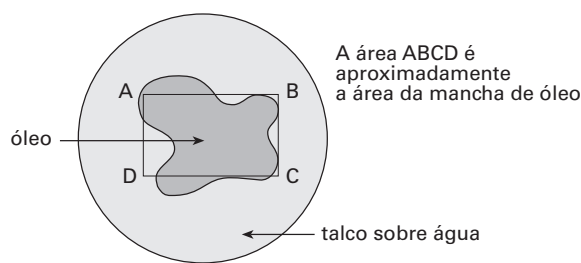
$$\text{Volume de 1 molécula do óleo} = (1,19 \times 10^{-7} \text{ cm})^3 = 1,68 \times 10^{-21} \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume de 1 mol de óleo} = \frac{884 \text{ g}}{0,884 \text{ g/cm}^3} 1000 \text{ cm}^3$$

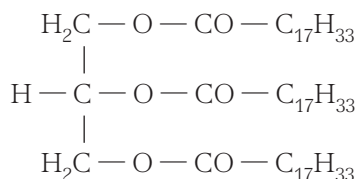
$$\left\{ \begin{array}{l} N \text{ moléculas} \text{ — } 1000 \text{ cm}^3 \\ 1 \text{ molécula} \text{ — } 1,68 \times 10^{-21} \text{ cm}^3 \end{array} \right.$$

$$N = \frac{1000}{1,68 \times 10^{-21}} = 6 \times 10^{23}$$

10. Um professor de Química fez a seguinte experiência para mostrar aos alunos como poderia ser calculada a espessura de uma molécula de óleo. Tomou uma bandeja e colocou água até a altura aproximada de 1 cm. A seguir, pulverizou na superfície da água um pouco de talco. Colocou numa bureta uma solução preparada dissolvendo 1 cm³ do óleo em 10 litros de éter de petróleo. Deixou cair da bureta 1 gota dessa solução na bandeja. Esta (a gota) rapidamente se espalhou na superfície da água, empurrando o talco para a periferia. O éter de petróleo rapidamente evaporou, ficando uma película monomolecular de óleo sobre a água. O contorno dessa película (mancha) ficou bem nítida porque ficou limitada pelo talco. A medida da área dessa película deu como resultado aproximadamente 34 cm². Numa operação paralela, o professor contou quantas gotas deveriam cair da bureta para o volume no seu interior se reduzir de 1 cm³ e encontrou o valor de 20 gotas.



- a) Com base no resultado experimental, calcule a espessura aproximada da molécula de óleo expressa em nanometro (nm). 1 nm = 10⁻⁹ m
- b) Sabendo que o óleo utilizado na experiência descrita foi trioleína pura, cuja densidade é igual a 0,884 g/cm³, calcule o valor da constante de Avogadro. Considere que a molécula da trioleína é esférica.



Trioleína Massa molar = 884 g/mol

Resolução:

a) Volume da gota de solução = $\frac{1 \text{ cm}^3}{20} = 5 \times 10^{-2} \text{ cm}^3$

$$\begin{array}{l} 10 \text{ L solução} \text{ — } 10^4 \text{ cm}^3 \text{ solução} \text{ — } 1 \text{ cm}^3 \text{ de óleo} \\ 5 \times 10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ solução} \text{ — } x \\ x = 5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ de óleo} \end{array}$$

$$\text{Espessura da película de óleo} = \frac{5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3}{34 \text{ cm}^2} = 0,147 \times 10^{-6} \text{ cm} = 0,147 \times 10^{-8} \text{ m} = 1,47 \times 10^{-9} \text{ m} = 1,47 \text{ nm}$$

- b) Como a película de óleo é monomolecular a sua espessura é o diâmetro da molécula.

$$V_{\text{molécula}} = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,14}{3} \times \left(\frac{1,47 \times 10^{-7}}{2} \text{ cm} \right)^3 = 1,7 \times 10^{-21} \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{óleo}} \text{ na bandeja} = 5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$$

$$\text{Número de moléculas de óleo na bandeja} = \frac{5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3}{1,7 \times 10^{-21} \text{ cm}^3} = 3 \times 10^{15}$$

$$\text{Massa de óleo na bandeja} = 5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \times 0,884 \text{ g/cm}^3 = 5 \times 0,884 \times 10^{-6} \text{ g}$$

$$\begin{array}{l} \text{MM do óleo} = \quad 884 \text{ g} \text{ ————— } \text{N moléculas/mol} \\ \quad \quad \quad 5 \times 0,884 \times 10^{-6} \text{ g} \text{ ————— } 3 \times 10^{15} \text{ moléculas} \end{array}$$

$$N = \frac{884 \times 3 \times 10^{15}}{5 \times 0,884 \times 10^{-6}} = \frac{3 \times 10^{18}}{5 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$