تمرین های فصل دوم

بخش اول

۱- ۱۳۱ گرم از گاز زنون در ظرفی به حجم $۱dm^۳$ می تواند فشار $۲۰\ atm$ را در ۲۵ درجه سانتیگراد ایجاد کند. اگر این گاز به صورت گاز کامل عمل کند چه فشاری ایجاد می کند؟ اگر به صورت گاز واندروالس عمل کند چه فشاری را ایجاد می کند؟

حل:

معادله گاز کامل به صورت زیر است:

$$pV = nRT$$

مقدار گاز زنون برابر است با:

$$n = \frac{۱۳۱g}{۱۳۱gmol^{-۱}} = ۱.۰۰\ mol$$

$$p = \frac{(۱.۰۰mol) \times ۰.۰۸۲۱dm^۳atmK^{-۱}mol^{-۱}) \times (۲۹۸.۱۵K)}{۱.۰\ dm^۳} = ۲٤atm$$

یعنی اگر گاز کامل باشد فشار بیشتری نسبت به چیزی که در واقعیت به دیواره ها وارد می کند اعمال می کند.

اگر گاز واندروالس باشد برای زنون داریم:

$$a = ٤.۱۳۷dm^٦atmmol^{-۲} \quad , b = ٥.۱٦ \times ۱۰^{-۲}dm^۳mol^{-۱}$$

$$p = \frac{nRT}{V - nb} - a\left(\frac{n}{V}\right)^۲ \rightarrow$$

$$p = \frac{(1.00mol) \times 0.0821dm^3atmK^{-1}mol^{-1}) \times (298.15K)}{1.0\ dm^3 - \{(1.0mol) \times (5.16 \times 10^{-2}dm^3mol^{-1})\}}$$
$$- \frac{(٤.۱۳۷dm^٦atmmol^{-۲}) \times\ (۱.۰۰mol)^۲}{(۱.۰\ dm^۳)^۲} = ۲٥.۸ - ٤.۱۳۷$$
$$= ۲۲atm$$

۲- کلروفلوئور کربن ها همچون $CCl_۲F_۲$ و $CCl_۳F$ در قطب ها به اوزون متصل می‌شوند. از سال ۱۹۹٤ مقدار این گاز ۲٦۱ و ٥۰۹ بخش بر تریلیون بر حسب حجم است. غلظت مولی این گازها تحت شرایط الف) عرض جغرافیایی متوسط تروپوسفر (۱atm) و ب) استراتوسفر قطب (۰,۰٥۰ atm , ۲۰۰K) را محاسبه کنید:

حل: اصل آووگادرو بیان می کند که حجم های برابر از گازها حاوی مقدار برابر گازها هستند، بنابراین نسبت حجم مخلوط شده برابر با کسر مولی است. تعریف فشار جزئی برابر است با $p_J = x_J p$. قانون گاز کامل بیان می کند که:

$$\frac{n_J}{V} = \frac{p_J}{RT} = \frac{x_J p}{RT}$$

الف)

$$\frac{n_{CCl_2F}}{V} = \frac{(۲۶۱ \times ۱۰^{-۱۲}) \times (۱۰۰\ atm)}{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^3 atm K^{-1} mol^{-1}) \times (۱۰ + ۲۷۳.۱۵) K} = ۱.۱ \times ۱۰^{-۱۱} mol dm^{-3}$$

و

$$\frac{n_{CCl_2F_2}}{V} = \frac{(۵۰۹ \times ۱۰^{-۱۲}) \times (۱۰۰\ atm)}{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^3 atm K^{-1} mol^{-1}) \times (۱۰ + ۲۷۳.۱۵) K} = ۲.۲ \times ۱۰^{-۱۱} mol dm^{-3}$$

ب)

$$\frac{n_{CCl_2F}}{V} = \frac{(۲۶۱ \times ۱۰^{-۱۲}) \times (۱۰۰\ atm)}{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^3 atm K^{-1} mol^{-1}) \times (۲۰۰) K} = ۸.۰ \times ۱۰^{-۱۳} mol dm^{-3}$$

و

$$\frac{n_{CCl_2F_2}}{V} = \frac{(۵۰۹ \times ۱۰^{-۱۲}) \times (۱۰۰ atm)}{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^3 atm K^{-1} mol^{-1}) \times (۲۰۰) K} = ۱.۶ \times ۱۰^{-۱۲} mol dm^{-3}$$

۳- **الف)** یک نمونه ۲۵۵mg از گاز نئون در دمای ۱۲۲K حجم $۳.۰۰ dm^3$ را اشغال می‌کند. با استفاده از قانون گازهای کامل فشار گاز را محاسبه کنید. **ب)** سیستم‌های گرمایش خانگی از گاز طبیعی برای گرم کردن منزل استفاده می‌کنند که سالانه مقدار $۴.۰۰ \times ۱۰^3 m^3$ مصرف دارند. فرض کنید که گاز طبیعی به صورت کامل CH_4 می‌باشد و به صورت گاز کامل عمل می‌کند که شرایط ۱,۰۰ atm و $۲۰°C$ دارد. جرم گاز مصرفی چقدر می‌باشد؟

حل: الف) قانون گاز کامل به فرم $p = \frac{nRT}{V}$ می‌باشد با داشتن T و V، n باید محاسبه شود.

$$n = \frac{۰.۲۵۵\ g}{۲۰.۱۸\ g\ mol^{-1}} = ۱.۲۶ \times ۱۰^{-۲} mol\ ,\ T = ۱۲۲K,\ \ V = ۳.۰۰ dm^3$$

بنابراین طی جایگذاری

$$p = \frac{(1.26 \times 10^{-2}\text{mol}) \times (0.08206\ \text{dm}^3\ \text{atmK}^{-1}\text{mol}^{-1}) \times (122\text{K})}{3.00\ \text{dm}^3}$$
$$= ٤.٢٠ \times ١٠^{-٢}\text{atm}$$

ب) براساس قانون گاز کامل می‌توان مقدار گاز را از روی دما، فشار و حجم محاسبه کرد:

$$pV = nRT$$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{(1.00\ \text{atm}) \times (1.013 \times 10^5\text{Pa atm}^{-1}) \times (4.00 \times 10^3\text{m}^3)}{(8.3145\ \text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}) \times (20 + 273)\text{K}}$$
$$= ١.٦٦ \times ١٠^{٠}\text{mol}$$

ابتدا جرم گاز را می‌توان از مقدار و جرم مولی محاسبه کرد:

$$m = (١.٦٦ \times ١٠^{٦}\text{mol}) \times (١٦.٠٤\text{g mol}^{-١}) = ٢.٦٧ \times ١٠^{٦}\text{g} = ٢.٦٧ \times ١٠^{٣}\text{kg}$$

٤- **الف)** در دمای ٥٠٠°C و فشار ٩٣,٢kpa چگالی جرمی بخار گوگرد $٣.٧١٠\ \text{kgm}^{-٣}$ می‌باشد. فرمول مولکولی گوگرد تحت این شرایط چیست؟ **ب)** در دمای ١٠٠°C و فشار ١٦,٠kpa چگالی جرم بخار فسفر $٠.٦٣٨٨\ \text{kgm}^{-٣}$ می‌باشد. فرمول مولکولی فسفر تحت این شرایط چیست؟

حل: الف) از آن‌جا که $p < ١\ \text{atm}$، تقریب این که بخار گاز کامل می‌باشد کافی است. جرم مولی در قانون گاز ایده‌آل به صورت روبه‌رو وارد می‌شود $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$

طی نوآرایی

$$M = \frac{m}{V}\left(\frac{RT}{p}\right) = \rho\left(\frac{RT}{p}\right)$$
$$= (٣.٧١٠\text{kg m}^{-٣}) \times \frac{(٨.٣١٤٥\ \text{Pa m}^{٣}\text{K}^{-١}\text{mol}^{-١}) \times (٧٧٣\text{K})}{٩.٣٢ \times ١٠^{٤}\text{Pa}}$$

$$= ٠.٢٥٦\ \text{kg mol}^{-١} = ٢٥٦\ \text{g mol}^{-١}$$

این جرم مولی باید مجموع ضرب جرم مولی گوگرد اتمی باشد، از این رو

$$\text{S تعداد اتم‌های} ٨ = \frac{٢٥٦\ \text{g mol}^{-١}}{٣٢.١\ \text{g mol}^{-١}} =$$

پس فرمول بخار $S_٨$ *است.*

ب) رابطه چگالی جرمی ρ با حجم جرمی V_m طبق رابطه روبه‌رو $V_m = \frac{V}{n} = \frac{V}{m} \times \frac{m}{n} = \frac{M}{\rho}$

در این‌جا M جرم مولی است. این رابطه را در قانون گاز کامل قرار داده:

$$pV_m = RT \qquad \text{بنابراین} \qquad \frac{pM}{\rho} = RT$$

با نوآرایی این معادله عبارتی برای M بدست آمده، با دانستن جرم مولی، می‌توان با تقسیم جرم مولی اتم‌های فسفر برای تعیین اتم‌ها بر حسب مولکول گاز:

$$M = \frac{RT\rho}{p} = \frac{(۸.۳۱٤٥\ \text{pa m}^{۳}\text{mol}^{-۱}) \times [(۱۰۰ + ۲۷۳)\text{K}] \times (.٦۳۸۸\text{kg m}^{-۳}}{۱.٦۰ \times ۱۰^{٤}\text{pa}}$$

$$= ۰.۱۲٤\text{kg mol}^{-۱} = ۱۲٤\ \text{g mol}^{-۱}$$

تعداد اتم‌ها برحسب مولکول برابر است با

$$\frac{۱۲٤\ \text{kg mol}^{-۱}}{۳۱.۰\ \text{g mol}^{-۱}} = ٤.۰۰$$

فرمول پیشنهاد شده $P_٤$ است.

۵- **الف)** فشار و دما را در حالتی که ۱٫۰ mol از (الف) $NH_۳$ (ب) Xe و (ج) Heباید مشابه ۱.۰ mol $H_۲$ در ۱٫۰ atm و ۲۵°C باشد را پیشنهاد کنید. **ب)** فشار و دما را در حالتی که ۱٫۰ mol از (الف) $H_۲S$ (ب) $CO_۲$ ج) Ar باید مشابه ۱.۰ mol $N_۲$ در ۱٫۰ atm و ۲۵°C باشد را پیشنهاد کنید.

الف) دما و فشار کاسته هیدروژن از روابط روبه‌رو محاسبه می‌شود $T_r = \frac{T}{T_c}$ و $p_r = \frac{p}{p_c}$

$$, \ T_r = \frac{۲۹۸\text{K}}{۳۳.۲۳\text{K}} = ۸.۹۷ \ [T_c = ۳۳/۲۳\ \text{K}]$$

$$p_r = \frac{۱/۰\ \text{atm}}{۱۲/۸\ \text{atm}} = ۰.۰۷۸ \ [p_c = ۱۲/۸\ \text{atm}]$$

از این‌رو گازها در حالت‌های مرتبط در $T = ۸.۹۷\ T_c$ و $p = ۰.۰۷۸p_c$ قرار خواهند گرفت.

الف) برای آمونیاک $T_c = ٤۰٥.٥\text{K}$ و $p_c = ۱۱۱.۳\ \text{atm}$ ، پس

$$T = (۸.۹۷) \times (٤۰٥.٥\text{K}) = ۳.٦٤ \times ۱۰^{۳}\text{K} \ , \ \ p = (۰.۰۷۸) \times (۱۱۱.۳\text{atm}) = ۸.۷\ \text{atm}$$

(ب) برای زنون $T_c = ۲۸۹.۷٥\text{K}$ و $p_c = ٥۸.۰\ \text{atm}$ ، پس

$$T = (۸.۹۷) \times (۲۸۹.۷٥\text{K}) = ۲.٦۰ \times ۱۰^{۳}\text{K} \ , \ \ p = (۰.۰۷۸) \times (٥۸.۰\text{atm}) = ٤.٥\ \text{atm}$$

(ج) برای هلیوم $T_c = ٥.۲۱\text{K}$ و $p_c = ۲.۲٦\text{atm}$ پس

$$T = (۸.۹۷) \times (٥.۲۱\text{K}) = ٤٦.۷ \quad , \quad p = (۰.۰۷۸) \times (۲.۲٦\text{atm}) = ۰.۱۸\text{atm}$$

ب) حالت‌هایی که فشار، دما و حجم کاسته مشابه دارند ذکر می‌شود. فشار و دمای کاسته برای N_2 در ۱٫۰ atm و ۲۵°C برابر است با:

$$p_r = \frac{p}{p_c} = \frac{۱.۰ \text{atm}}{۳۳.۵٤ \text{ atm}} = ۰.۰۳۰ \quad \text{و} \quad T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{(۲۵+۲۷۳)\text{K}}{۱۲٦.۳\text{K}} = ۲.۳٦$$

حالت‌های مورد نظر برابر است با

(الف) برای H_2S

$$p = p_r p_c = (۰.۰۳۰) \times (۸۸.۳ \text{ atm}) = ۲.٦ \text{ atm}$$

$$T = T_r T_c = (۲.۳٦) \times (۳۷۳.۲\text{K}) = ۸۸۱\text{K}$$

ثابت‌های بحرانی H_2S از CRC Handbook of Chemistry and physics بدست آمده است.)

ب) برای CO_2

$$p = p_r p_c = (۰.۰۳۰) \times (۷۲.۸۵ \text{ atm}) = ۲.۲ \text{ atm}$$

$$T = T_r T_c = (۲.۳٦) \times (۳۰٤.۲\text{K}) = ۷۱۸\text{K}$$

ج) برای Ar

$$p = p_r p_c = (۰.۰۳۰) \times (٤۸.۰۰ \text{ atm}) = ۱.٤ \text{ atm}$$

$$T = T_r T_c = (۲.۳٦) \times (۱۵۰.۷۲\text{K}) = ۳۵٦\text{K}$$

٦- حجم اشغال شده به وسیله $۱.۰۰ \text{ mol } N_2$ را با استفاده از معادله واندروالس از بسط ویریال در (الف) دمای بحرانی (ب) دمای بویل و (ج) دمای وارونه آن محاسبه کنید. فرض کنید که فشار سرتاسری ۱۰atm می‌باشد. در چه دمایی گاز بیش‌تر کامل است؟

از داده‌های $b = ۰.۰۳۹۱ \text{ dm}^۳\text{mol}^{-۱}, a = ۱.۳۹۰ \text{ dm}^٦ \text{ atm mol}^{-۲}, T_e = ۱۲٦.۳\text{K}$ استفاده کنید.

حل: فاکتور تراکم گاز را می‌توان هم بر حسب معادله ویریال بر حسب p یا $\left(\frac{۱}{V_m}\right)$ نشان داد. شکل ویریال معادله واندروالس و به صورت $p = \frac{RT}{V_m}\left\{۱ + \left(b - \frac{a}{RT}\right) \times \left(\frac{۱}{V_m}\right) + \cdots\right\}$

یا نوآرایی $Z = \frac{pV}{RT} = ۱ + \left(b - \frac{a}{RT}\right) \times \left(\frac{۱}{V_m}\right) + \cdots$

با توجه به فرض این که عبارت گاز کامل برای V_m برای عبارت دوم در این بسط کافی است، به راحتی می‌توان Z را بر حسب تابع p بدست آورد.

$$Z = ۱ + \left(\frac{۱}{RT}\right) \times \left(b - \frac{a}{RT}\right) p + \cdots$$
(الف)

$$T = T_c = ۱۲۶.۳K$$

$$V_m = \left(\frac{RT}{p}\right) \times Z = \frac{RT}{p} + \left(b - \frac{a}{RT}\right) + \cdots$$

$$= \frac{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^۳ atm\ mol^{-۱}K^{-۱}) \times (۱۲۶.۳K)}{۱۰.۰\ atm}$$

$$+ \left\{(۰.۰۳۹۱\ dm^۳ mol^{-۱}) - \left(\frac{۱.۳۹۰ dm^۶ atm\ mol^{-۲}}{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^۳ atm\ mol^{-۱}K^{-۱}) \times (۱۲۶.۳K)}\right)\right\}$$

$$= (۱.۰۳۶ - ۰.۰۹۵) dm^۳ mol^{-۱} = ۰.۹۴۱\ dm^۳ mol^{-۱}$$

$$Z = \left(\frac{p}{RT}\right) = (V_m) = \frac{(۱۰.۰ atm) \times (۰.۹۴۱\ dm^۳ mol^{-۱}}{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^۳ atm\ mol^{-۱}K^{-۱}) \times (۱۲۶.۳K)} = ۰.۹۰۸$$

(ب) دمای بویل دمایی است که ضریب دوم ویریال برابر با صفر می‌باشد از این‌رو Z=۱ (تصحیح برای توان اول در p و گاز نزدیک به کامل می‌باشد. هر چند اگر فرض کنیم که $N_۲$ گاز واندروالس است زمانی که ضریب ویریال برابر با صفر است داریم:

$$T_B = \frac{a}{bR} \text{ یا } \left(R - \frac{a}{RT_B}\right) = ۰$$

$$T_B = \frac{۱.۳۹۰ dm^۶ atm\ mol^{-۲}}{(۰.۰۳۹۱\ dm^۳ mol^{-۱}) \times (۰.۰۸۲۰۶ dm^۳\ atm\ mol^{-۱}K^{-۱}} = ۴۳۳K$$

مقدار تجربی برابر ۳۲۷,۲K می‌باشد.

$$T = T_۱ = ۶۲۱$$

$$V_m = \frac{۰.۰۸۲۰۶ dm^۳ atm\ mol^{-۱}K^{-۱} \times ۶۲۱K}{۱۰.۰ atm}$$

$$+ \left\{۰.۰۳۹۱ dm^۳ mol^{-۱} \left(\frac{۱.۳۹۰ dm^۶ atm\ mol^{-۲}}{۰.۰۸۲۰۶\ dm^۳ atm\ K^{-۱} mol^{-۱} \times ۶۲۱\ K}\right)\right\}$$

$$= (۵.۰۹\bar{۶} + ۰.۰۱۲) dm^۳ mol^{-۱} = ۵.۱۱\ dm^۳ mol^{-۱}$$

$$Z = \frac{۵.۱۱\ dm^۳\ mol^{-۱}}{۵.۱۰\ dm^۳ mol^{-۱}} = ۱.۰۰۲ \approx ۱$$

بر اساس مقدار T_B و T_1 بدست آمده و فرض این که N_2 گاز واندروالس می‌باشد، مقدار محاسبه شده Z نزدیک به ۱ در معکوس دما می‌باشد، اما اختلاف مربوط به مقدار در T_B کم‌تر از صحت روش می‌باشد.

۷- در ۲۳۷K اندازه‌گیری روی آرگون $B = -۲۱.۷ cm^۳ mol^{-۱}$ و $C =$ $۱۲۰۰ cm^۶ mol^{-۲}$ را به دست می‌دهد که B و C ضرایب دوم و سوم ویریال در بسط Z بر حسب $۱/V_m$ می‌باشند. فرض کنید که قانون گاز کامل برای تخمین عبارت‌های دوم و سوم بسط بکار رفته است، ضریب تراکم آرگون را در ۱۰۰atm و ۲۷۳K محاسبه کنید با استفاده از نتایج خود حجم مولی آرگون تحت این شرایط را تخمین بزنید.

حل: با توجه به تعریف Z و معادله ویریال، Z بر حسب فرم ویریال به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Z = ۱ + B\left(\frac{۱}{V_m}\right) + C\left(\frac{۱}{V_m}\right)^۲ + \cdots$$

از آن‌جایی که $V_m = \frac{RT}{p}$ [با فرض کامل] $\frac{۱}{V_m} = \frac{p}{RT}$ ، از این‌رو با جایگزینی بر حسب عبارت $\left(\frac{۱}{V_m}\right)$

$$Z = ۱ + B\left(\frac{p}{RT}\right) + C\left(\frac{p}{RT}\right)^۲$$

$$Z = ۱ + \left(-۲۱.۷ \times ۱۰^{-۳} dm^۳ mol^{-۱}\right) \times \left(\frac{۱۰۰\ atm}{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^۳ atm\ mol^{-۱} K^{-۱}) \times (۲۷۳K)}\right) +$$

$$\left(۱.۲۰۰ \times ۱۰^{-۳} dm^۶ mol^{-۲}\right) \times \left(\frac{۱۰۰\ atm}{(۰.۰۸۲۰۶\ dm^۳ atm\ mol^{-۱} K^{-۱}) \times (۲۷۳K)}\right)^۲$$

$$Z = ۱ - (۰.۰۹۶۸) + (۰.۰۲۳۹) = ۰.۹۲۷$$

$$V_m = (۰.۹۲۷) \times \left(\frac{RT}{P}\right) = (۰.۹۲۷) \times \left(\frac{(۰.۰۸۲۱\ dm^۳\ atm\ K^{-۱} mol^{-۱}) \times (۲۳۷K)}{۱۰۰ atm}\right) = ۰.۲۰۸ dm^۳$$

۸- نمونه‌ای از ۸۷mg از یک گاز ایده‌آل در فشار ۰٫۶۰۰ bar حجمش دو برابر و دمای آن ۳ برابر شده است. فشار نهایی را پیدا کنید.

$$\frac{p_۱ V_۱}{T_۱} = \frac{p_۲ V_۲}{T_۲} \rightarrow p_۲ = \frac{p_۱ V_۱}{T_۱} \times \frac{T_۲}{V_۲} = p_۱ \frac{V_۱}{V_۲} \times \frac{T_۲}{T_۱} = p_۱ \frac{V_۱}{۲V_۱} \times \frac{۳T_۱}{T_۱} \rightarrow$$

$$p_۲ = ۱/۵ p_۱ = ۱/۵(۰/۶۰۰ bar) = ۰/۹۰۰ bar$$

۹- ۲۰/۰mg از یک گاز هیدروکربنی در یک ظرف $۵۰۰cm^۳$ در ۲۵ درجه سانتیگراد فشار $۲٤/۷\ torr$ را اعمال می‌کند. جرم مولی و وزن مولکولی گاز را پیدا کرده و آن را شناسایی کنید.

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT \rightarrow M = \frac{mRT}{pV}$$
$$= \frac{(0/02g)(82/06\text{cm}^3\ \text{atm K}^{-1}\text{mol}^{-1})(298/1K)}{(\frac{24/7}{760}\ atm)(500\text{cm}^3)}$$
$$= ۳۰/۱(g/mol)$$

تنها هیدورکربن با وزن مولکولی ۳۰، اتان است.

۱۰- چگالی $N_۲$ را در ۲۰ درجه سانتیگراد و ۰/۹٦۷ bar پیدا کنید. (در این دما و فشار $N_۲$ را یک گاز ایده‌آل در نظر بگیرید)

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT \rightarrow \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \rightarrow \rho = \frac{pM}{RT}$$

$$۰/۹٦۷\text{bar} = ۰/۹٦۷\text{bar}\left(\frac{۷۵۰\text{torr}}{۱bar}\right) = ۷۲۵torr$$

۱۱- یک پمپ دیفیوژن روغنی توسط یک پمپ اولیه مکانیکی می‌تواند به سادگی خلائی با فشار $۱۰^{-٦}torr$ حاصل کند. پمپ‌های خلا ویژه متفاوتی می‌توانند فشار را تا $۱۰^{-۱۱}torr$ کاهش دهند. در ۲۵ درجه سانتیگراد، تعداد مولکول‌ها را برحسب $\text{cm}^۳$ *درگازی با فشار الف)* $۱atm$ *ب)* $۱۰^{-٦}torr$ *ج)* $۱۰^{-۱۱}torr$ محاسبه کنید.

$$pV = nRT = \frac{N}{N_A}RT \rightarrow \frac{N}{V} = \frac{pN_A}{RT}$$

$$\rightarrow \frac{N}{V} = \frac{(٦/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}mol^{-۱})p(atm)}{۸۲/۰٦\text{cm}^۳\ \text{atm K}^{-۱}\text{mol}^{-۱}(۲۹۸K)} = ۲/٤٦ \times ۱۰^{۱۹} \times p(atm)$$

الف) $p = ۱atm \rightarrow \frac{N}{V} = ۲/٤٦ \times ۱۰^{۱۹} \times ۱\ atm = ۲/٤٦ \times ۱۰^{۱۹}cm^{-۳}$

ب) $p = (\frac{۱}{۷٦۰} \times ۱۰^{-٦}atm) \rightarrow \frac{N}{V} = ۲/٤٦ \times ۱۰^{۱۹} \times \frac{۱}{۷٦۰} \times ۱۰^{-٦}cm^{-۳}$

ج) $p = (\frac{۱}{۷٦۰} \times ۱۰^{-۱۱}atm) \rightarrow \frac{N}{V} = ۲/٤٦ \times ۱۰^{۱۹} \times \frac{۱}{۷٦۰} \times ۱۰^{-۱۱}cm^{-۳}$