

強者の戦略

みなさんこんにちは。もしくはこんばんは。研伸館化学科、森 上総です。ということで、「森・古谷コラボレーション」の第2回。前回の古谷先生チョイスの問題の解説を行います。

ですので、先週アップロードされた問題にまだ目を通していない人は、確認しておいてください。なかなか面白い問題ですよ。なお、ここでいう「面白い」は「interesting」というより「funny」。受験生を面食らわせようとしているのでしょうか。それとも、もしかしたら「こういった場」で取り上げられるのが狙いの問題でしょうか。もしそうなら、森・古谷は作問者の手の上で踊らされている、ということになりますね。

ま、とりあえず解説です。折角なので1文1文でいねいに見ていきましょう。

【解説】

「僕は酸素分子です。」

しゃべったー！！

「分子が見える悪魔」なんていうのは有名な思考実験ですが(気になる人は「マックスウェルの悪魔」で検索！)、「喋る分子」はありそうで、しかしそう見かけなかったですね。フィクションで「喋る酵母」ならありましたが。

「原子」ではなく「分子」が人格をもつのも面白いですね。他にも電子を擬人化とかできそうです。「どこからの視点で世界を見るか」を変えるだけで、世界が違って見えそうです。

「今、仲間の酸素分子と一緒にある容器の中で気体になっています。」

果たして酸素分子は「自分は気体になっている」と考えるのでしょうか。気体状態というのは分子が分子間力を振り切るほどに激しく熱運動し、分子どうしが離れて存在している「状態」です。分子1個1個では「気体」も何もあったものではありません。「自分と仲間と一緒に気体になっている」ではなく「気体の状態、すなわちお互い

に離れた状態で、自分と仲間が存在している」となるのではないのでしょうか。少し引っ掛かりを感じる1文です。

同種分子どうしは仲間なのですね。

「容器の中には他の物質はいません。」

これは良いでしょう。状況の確認ですね。

「僕は直線運動しようとしています、すぐに他の酸素分子と衝突してしまいます。」

分子と分子の間は何もありません。真空です。妨げるものがないので分子は等速直線運動をすることになります。「直線運動しようとしています」というのはそういうことです。

「衝突すると運動する方向が変わってしまうので、あちらこちら衝突する毎に方向を変えながら、(ア)運動しています。」

前の1文がなければ「等速直線運動」なんて答えでも大丈夫そうですが、すでに述べられてしまっています。(それに選択肢にありませんしね。) ということで、答えは「熱運動」となります。

分子は、ここまでで述べられている通り、他の分子に衝突するまでは直線的に、他の分子にぶつかられるとその都度向きを変えて激しく動き回っています。この運動は分子のもつ熱エネルギーが大きいほど激しくなりますので、熱運動と呼ばれるわけです。

「ある時は容器の壁に衝突します。」

そんなこともあるでしょう。

「僕以外の分子も壁と衝突します。」

さっきは「仲間」って言っていたのに、今は「僕以外の分子」だなんてドライな表現。どちらが「僕」の本当の顔なのでしょうか。

ちなみに密閉容器内に入れられている気体分子は

強者の戦略

器壁に衝突することになりますが、それ以外の、例えば空気中の窒素分子や酸素分子なども当然熱運動しているわけで、我々は絶えず窒素分子や酸素分子にビッシン衝突されています。

「この分子の壁への衝突は (イ) として測定されます。」

分子は器壁に弾性衝突します。つまり、理想的には器壁と平行な方向には速度を変えず、器壁に垂直な方向には速度の正負が逆転することとなります。この際に、器壁に対して力を及ぼします。ので、(イ)には「力」と入りたいところですが、やはり選択肢にありません。

密閉容器に入っているのは“僕”だけではありませんでした。「僕以外の分子」もビッシンと器壁にぶつかります。こうなると衝突は「1点に働く力」としては測定されなくなります。では、どう測定されるのか。単位面積あたりに働く力の大きさ、すなわち圧力となります。

「しばらくすると、温度が変わらないまま、容器の大きさが半分になりました。」

ひとりでに容器が小さくなった印象を受けます。酸素の立場なら、そんな風を感じるのかな、と受け流すことも出来そうですが、違う解釈もできそうですよ。

容器の体積を小さくする際、内部の分子が壁にビッシンぶつかるのに逆らって壁を動かす必要があります。すなわち外部からエネルギーを与える必要があります。そのため、一息にダーンって容器の大きさを半分にしてしまうと、内部の気体はエネルギーを受け取ってしまいますので、温度が上がってしまうのです。(断熱圧縮ですね。) 温度が変わらず、容器の大きさが半分……これには極めてゆっくり器壁を動かして体積を半分にする必要があります。「気づかないぐらいゆっくり器壁が動かされたから、知らない間に体積が半分になっていた」ということなのかもしれませんね。

「壁への単位面積当たり、単位時間当りに衝突する分子の数は (ウ) 倍になりました。」

同じ温度なら同じ激しさで分子が動き回っています。

しかし、動き回れる空間は半分です。ということは、壁には2倍の分子がぶつかりますね。

お分かりですか。この部分はボイルの法則について述べられています。「圧力と体積は反比例する」ということです。

「今度は、温度が下がってきました。」

酸素分子の立場に立てば、これは周りの分子の熱運動が穏やかになった、ということから類推できたのでしょうね。

「温度が下がると共に、僕の運動エネルギーも低下し、壁への衝突の力も衰えてきました。」

ん？ 温度が下がる→運動エネルギーが低下、と認識するんでしょうかね、酸素は。ちょっと酸素の立場に立ってみないと分からない部分ですね。

化学的に見ていきましょう。熱運動が穏やかになったので、圧力が下がるわけです。状態方程式 $PV=nRT$ より、体積 V 、物質質量 n が変わらないとき、気体定数 R は一定なので圧力 P と絶対温度 T は比例します。このことについての記述であるわけです。

「温度がはじめの温度(絶対温度)の (エ) 倍になったとき、(イ) ははじめと同じ値になりました。」

先ほど圧力が2倍になっていましたから、元と同じ圧力にするためには圧力を 0.5 倍にする必要があります。ということは絶対温度も 0.5 倍にしなくてはなりません。

「さらに温度が下がってきました。」

自分の動きが穏やかになったと感じたのでしょうか。

とにかく、さらなる新しい状態に変わったわけです。圧縮され、冷却され、さらに冷却され、忙しいですね。

「よく見ると、僕の仲間の中には身を寄せ合って液体になっているものもたくさん出てきました。」

強者の戦略

なんだか、「ザ・擬人化」って感じがします。「寒くなったから身を寄せ合っている」……なるほど、と思います。

「僕も液体中の一つの分子になってしまいました。」

“僕”も「身を寄せ合った」んですね。

「液体になると他の仲間たちからの (オ) の影響を受け易くなります。」

えー？ これも因果関係がおかしい気がします。「寒いと身を寄せ合う」は「擬人化」としては悪くないと思いますが、実際に分子が「寒がって」「くっつくとして」「身を寄せる」わけではありません。恒温動物のヒトと同じ感覚で「化学的な事象」まで語ってはいけないと思います。

さて、ではより正確に表現するとどうなるのか。分子の熱運動が穏やかになると、分子どうしが「すれ違う」のに時間がかかります。また、分子どうしがガツンとぶつかって跳ね返るのも激しくは起こらず穏やかになっていきます。

そうすると、分子どうしは分子間力の影響で引き合うこととなります。分子間力は分子と分子の距離が近いほど強く働きます。ゆっくりすれ違うと、分子どうしが近くにある時間が長くなるわけです。穏やかに衝突する場合もそうですね。すると分子間力が長く強く働いて、分子どうしが引き付けあった状態、すなわち液体になるわけです。

「もっと温度が下がってきました。」

えらいこっちゃ。

「(オ) が優勢となって、僕はある点を中心に振動するだけで、大きく動けなくなってしまいました。」

液体の状態では分子はまだ熱運動をしています。ただ、分子どうしが引っ付いているので、空いたすき間に分子が入り込み、そのまた空いたすき間に別の分子が入り込み、といった感じの運動になります。この液体の状態における分子の運動を特に並進運動という場合もあります。

さらに冷却されてしまったので、この並進運動すらできない、という状態になったわけですね。すなわち、固体です。

「よく見ると、隣の分子もその隣の分子も同様に動けなくなって、僕たちは規則正しく並んでいます。」

「規則正しい」がキーワードです。

「このように原子が規則正しく並んだ状態を (カ) といいます。」

固体は構成粒子が規則正しく配列した状態と、不規則に配列した状態とがあります。前者が結晶、後者をアモルファスといいます。アモルファスの例としてはガラス、ゴム、プラスチックぐらいがスッと出てくればいい感じですよ。

「また温度が上がり、みんな気体になってしまいました。」

気体になることは多少残念なことなのですね。「しまいました」なんてね。

「前のように、他の酸素分子と衝突を繰り返してあちらこちらに動き回っていると、別の分子と出会いました。」

急展開。そろそろクライマックスですよー。

「それは水素分子でした。どうもはるか彼方にあった壁が破れたようです。」

温度が上がって、圧力があがったために壁が破れたのでしょうか。しかし、水素の発火点は約 500℃。元が何℃だったかわかりませんが、仮に常温だったとして3倍に満たない圧力です。あまり強くない壁だったのでしょうか。それとも、かなり元の圧力が高かったのでしょうか。

多分、酸素の立場だから気づきませんが、この「壁の破れ」も「人為的」でしょう。体積が減少し、冷却され、冷

強者の戦略

却され、冷却され、加熱され、コックを開く。実に「気体の実験」にありそうな状況だと思いませんか。

「水素分子は僕たちの容器と壁を隔てた別の容器中にいたのです。」

ですから、これは「容器 A 中には 1mol の酸素が、容器 B 中には 2mol の水素が入っており、この2容器はコック付きの管で連結されている」といった状況だったのでしょう。

「水素分子は他の水素分子や酸素分子と衝突しながらあちらこちらに行った挙げ句、ここまで来たのです。」

その「ここ」って、どこやねーん！

「このことを (キ) といいます。」

「ここ」がどこで、「このこと」がどのことを指しているか不明瞭な以上、ちょっと乱暴な気がしますね。しかし、選択肢がありますから、空気を読んでそれらしいのを選びましょう。

水素分子はいろいろな分子にぶつかりながらも、おそらくは奥の方まで「徐々に広がってきた」ので、拡散してきたわけですね。

「よく見ると、水素分子の速さは僕たち酸素分子より (ク) ものが多いようです。」

これは物理選択でないといけないのでしょうか。

運動エネルギーは $\frac{1}{2}mv^2$ です。 m は質量で、 v は速度ですね。分子がもっている平均のエネルギーは同じ温度なので同じです。したがって、水素分子と酸素分子では酸素分子の方が 16 倍重いのですから、分子の平均の速度は水素の方が 4 倍大きい、とわかります。

「そして、ついには全体的に混じってしまいました。」

どこを飛んでも、酸素と水素が同じぐらいの比で視界

に入る、ということかな、と想像つきますね。

「周りにいる水素分子と酸素分子の数を数えてみました。」

「周りにいる」ということは目の届く範囲の数、でしょうかね。全数調査ではなく標本調査してみたということでしょうね。なかなか機転が利きますね、「僕」は。

「どうも水素分子と酸素分子の数は 2:1 に近くなっているようです。」

「僕」は気づかなかったようですが、先も述べたようにどうやらこれは人為的に操作された「実験」ですから、おそらくはかなり正確に 2:1 だったのではないのでしょうか。

「何もなければこのままで水素と一緒に (ケ) の状態でいられますが、結構微妙になっています。」

文章からだけでは(ケ)も埋めきれませんが、これは 2 種類以上の純物質が混ざった状態を指す、混合物を入れるのが妥当でしょう。水素という純物質と酸素という純物質が混ざった状態ですね。

ところで、この状態が「微妙」とは、なかなか「微妙」な表現を使いますね。「微妙」のそもそもの意味は「何とも言いがたい味わい深さがある様子」といった意味ですよ。プラスですよ。マイナスの意味で使われだしたのは割と最近になってから。どうやら、「僕」はまだまだ若いようです。

「もし、火花が飛んだりすると、あっという間に僕はばらばらにされて2つの水分子になってしまいます。」

$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ という反応のことを指しています。ちなみに水素と酸素が 2:1 で含まれている気体は「水素爆鳴気」と呼びます。試験管などに水素をためて、試験管の口に火を近づける、という実験をしたことはありませんか。ポンッという音をだして反応したはずですよ。音とともに反応するので「爆鳴気」です。

強者の戦略

「これは (コ) 反応なので、水分子は大きな (サ) を得ることになります。」

要するに水素の燃焼ですからね。発熱反応です。発生したエネルギーを水が受け取り激しく熱運動することとなります。(サ)は運動エネルギーとなります。

「この (サ) はとても大きいので、多くの水分子は壁に衝突して簡単に壁を壊してしまうでしょう。」

やっぱり壁の素材が気になります。水素爆鳴気の実験の時に試験管は壊れましたか。壊れなかったですよ。さほどの威力じゃないですよ。それとも、よほど大規模な実験を行っているのでしょうか。

……いつから実験だと勘違いしていた？

「そうです。“爆発”してしまうのです。…と、思った瞬間火花が飛びました…。」

些末的ですが、これだと、「容器を壊すことが爆発」と誤解してしまいそう。「急激な(気体の)熱膨張」が爆発です。そんなに気にすることでもありませんが。

最後に火花が飛んでしまって、余韻、そして物語の終わり。思い出してください。この文章では「人格」をもっているのは「酸素分子」でした。ということは反応し、酸素が水に変化すると、酸素分子としての“命”が終わるわけですね。

ありがとう、“僕”。キミのことは忘れないよ……。

こうして、じっくり味わってみると色々と考えられて作られているようにも思えますし、そうでないようにも思える部分もあります。しかし、全体通して、なかなか楽しめる問題なのではないかと思えます。

化学では、マクロな現象を、ミクロな粒子の挙動から解き明かしていく、というアプローチをすることが多いです。ですので、巨視的と微視的、視点の切り替えがスムーズにできるのは意味があることだと思います。そういう意味でもいい問題ですね。

【解答】

(ア) 06

(イ) 02

(ウ) 27

(エ) 32

(オ) 01

(カ) 09

(キ) 14

(ク) 28

(ケ) 21

(コ) 16

(サ) 25