

強者の戦略

研伸館理科講師，森 上総です。長らく化学主体に指導してきましたが，近年は物理や生物などにも携わっております。といった趣旨のことはたしか昨年も言ったような気がします。

さて，物理科の網干先生にここ数年，中高生に化学の指導もご担当いただいています。網干先生の化学の指導は本質をえぐるもので，ハッとさせられる部分もあるのですが，化学の雑談などの引き出しの多さなら，長く指導してきた私に分があります。一方，私には物理について網干先生から教えを請いたいことが山ほどあります。そこで，可能な限り校舎からの帰途，互いに情報共有しています。「互いに情報共有」というと五分五分のように聞こえて，アンフェアですね。私の方が，より様々な刺激をいただいております。

先だって，「物質量の計算の単元を取り扱うが，同じ単元で，単なる計算ではない，思考させるような話ができないか」と相談されました。まだ，受験勉強の前段階の土台を固める段階の学年でも，知的好奇心をくすぐる内容を盛り込みたい，という「網干先生らしい」ご相談だと思いました。

ところで，これがなかなかの難題に思えました。例えば，ステアリン酸の単分子膜に関する実験に関する問題などが物質量の単元でよく出題されますが，問題の読解さえ正しくできればあとは単なる計算です。悩んで，「単位の定義に関する問題などはどうでしょう」と解答させていただきました。「1 mol が 6.0×10^{23} 個ではなく 1.00×10^{23} 個に変更された」とすると，以下の値は(1)6.0 倍になる，(2)変化しない，(3)1/6 倍になる，のどれでしょう」といった問題が入試においても時々問われます。これがかなり思考力を要求されるのです。

これを提案させていただいたのは，「時間調整できる雑談にも事欠かない」のも理由です。生徒の食いつきに応じて，次々と情報を繰り出せる「雑談」は指導上，重宝するものです。さて，この話に関連して話せる雑談は，ズバリ「2019 年の SI 基本単位の再定義」です。

世間的には小さなニュースでしたが，2019 年にキログラム，アンペア，ケルビン，モルについて，定義の変更が行われました。授業で「実際に定義が変わることもある」という話をすれば，網干先生のお得意であろう物理量の話も出来るでしょうし，「なぜ定義を変える必要があるのだろう」とさらに突っ込んで思考させることもできます。

「なるほど確かに面白いね！ あとはちょっと授業組み立ててみるわ。うん，ありがとう，うん」とおっしゃっていました。その後，網干先生がどのような授業をされていたかは追跡していませんが，生徒を惹きつける授業をされたことでしょう。

今回紹介する問題は SI 基本単位の再定義があったその年である，2019 年の慶応義塾大学医学部の問題です。ちょうど，単位の定義の変更やアボガドロ定数の測定法について多角的に取り上げられています。有機化学や高分子に関する問題も多いので，高3 生でも進度が速い学校にお通いでないと，まだ難しい部分もあるかも知れません。しかし，この問題もやはり知的好奇心を刺激するものだと思います。出来る限りでも良いので，ぜひチャレンジしてみてください。

強者の戦略

【問題】

次の文を読み、問いに答えよ。

18世紀のヨーロッパでは、都市や地域によって長さや重さの異なる単位が使われていた。この状況を打開すべく、革命直後のフランスでメートル法が考案された。1799年には、メートル原器とキログラム原器が作られ、その後、メートル条約の成立にともない、キログラム原器が作り直されたが、100年間で質量に変動の兆候がみられた。人工物を質量の基準にしているため、これまでのアボガドロ数の定義、つまり「ア原子12g中に含まれる原子数」も、厳密にはその変動の影響を受けることになる。そこで、国際単位系について、プランク定数を用いて質量を定義し直し、(a)アボガドロ定数を不確かさのない値として定め、原子量の定義「ア=12」を廃止する案が2018年11月の国際度量衡総会で可決され、翌年5月に発効することになった。

現時点で、アボガドロ定数を最も精度高く測定する方法の一つはX線結晶密度法である。この測定には高純度の(b)ケイ素の単結晶を球体に研磨したものが用いられる。ケイ素の結晶はそのイ元素である炭素のウの一つであるダイヤモンドと同形で、その単位格子は図1に示すように立方体である。ケイ素には天然に3種類のエが存在し、その比率の測定精度も問題となる。そこで、実際には ^{28}Si の存在割合を99.99%に高めた試料が用意された。

なお、簡便にアボガドロ定数を求めるには、(c)ステアリン酸の膜の面積を測定する方法がある。ステアリン酸はオ性のアルキル基とカ性のカルボキシ基からなる。このベンゼン溶液をシャーレの中の水に滴下すると、ベンゼンの蒸発にともない、ステアリン酸はカルボキシ基を水中に入れ、アルキル基を空気側に向け、水面に対して垂直に立ち、密に並んだキ膜が形成される。他に(d)電気分解の実験でも測定できる。物理学の実験としては、(e)微小なポリスチレンの白色粒子が水中で不規則に移動する現象、すなわち、ク運動を顕微鏡で観察する方法もある。

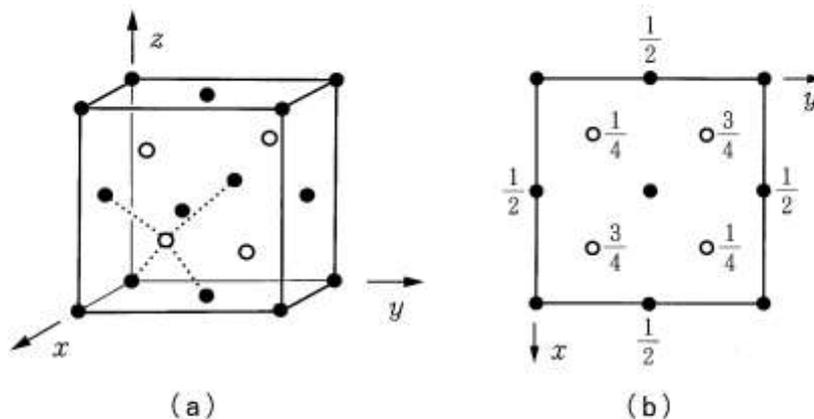


図1 ケイ素の単位格子の (a) 立体図と (b) z軸方向投影図

黒丸は面心立方格子の配列をしている原子、白丸はそれらの正四面体の中央に位置する原子を示す。(a)の点線は、1個の原子の最近接原子間の結合を示している。(b)における各原子の近くの数字は、z方向の高さ(単位格子の一边の長さを1としたときの分率)を表し、数字が書いていない黒丸の高さは0および1を意味する。

強者の戦略

1. 空欄 ~ にあてはまる最も適切な用語あるいは記号を記せ。
2. 下線部(a)について、これまでの原子量の定義を廃止する理由を簡潔に述べよ。
3. 下線部(b)について、球の半径を r cm, 質量を m g として以下の設問に答えよ。
 - (1) ケイ素の結晶の格子定数(単位格子の一辺の長さ)を a cm, ケイ素のモル質量を w g/mol として、アボガドロ定数 N_A を文字式で表せ。
 - (2) 上の設問では無視したが、球体の表面は厚さが約 2nm の自然酸化膜で覆われており、石英と同じ組成である。この組成式を示せ。
4. 下線部(c)について、以下の設問に答えよ。なお、関連する脂肪酸のデータを表 1 に示した。ただし、膜中において脂肪酸分子はすきまなく並んでいるものとする。

表 1 脂肪酸の示性式と融点

名称	示性式	融点/°C
オレイン酸	$C_{17}H_{33}COOH$	13~16
ステアリン酸	$C_{17}H_{35}COOH$	67~72
パルミチン酸	$C_{15}H_{31}COOH$	61~64
リノール酸	$C_{17}H_{31}COOH$	-5.2~-5.0

- (1) シャーレに水を入れ、マーブリング(墨流し)用のインクを水面に薄く浮かべた。ステアリン酸 x g をベンゼンに溶かして y mL とし、その溶液 z mL を先の水面に滴下すると透明な膜が生じた。ろ紙を水面にあてて膜の形を写しとり、その面積を測定したところ S cm² であった。ステアリン酸のモル質量を M g/mol, 分子 1 個の占有面積を A cm² として、アボガドロ定数 N_A を文字式で表せ。
- (2) ステアリン酸の代わりに a)パルミチン酸, b)オレイン酸を使って上記と同様の実験を行うと、分子占有面積 A がステアリン酸に比べて一方はわずかに大きく、他方は 2 倍近くにもなる。a)と b)で分子占有面積がより大きいほうはどちらか。解答欄の該当する記号を○で囲み、その理由を簡潔に述べよ。

強者の戦略

5. 下線部(d)について、図2に示すように硫酸酸性の硫酸銅(II)水溶液に電極として銅板を2枚入れ、直流電源につないだ。以下の設問に答えよ。

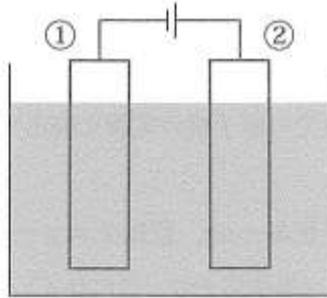


図2 硫酸銅水溶液を用いた電気分解

- (1) 電極①と②における反応式を書け。
- (2) 電流 I A を t 分流したところ、電極の一方の質量が b g だけ増加した。銅のモル質量を w g/mol, 電気素量(電子1個が持つ電気量の絶対値)を e C として、アボガドロ定数 N_A を文字式で表せ。ただし、反応によって生じた析出物は、電極と一体になっていると仮定する。

6. 下線部(e)について、以下の設問に対し解答欄の該当する記号を○で囲んで答えよ。

- (1) ポリスチレンの原料は図3に示すモノマーa)~d)のどれか。

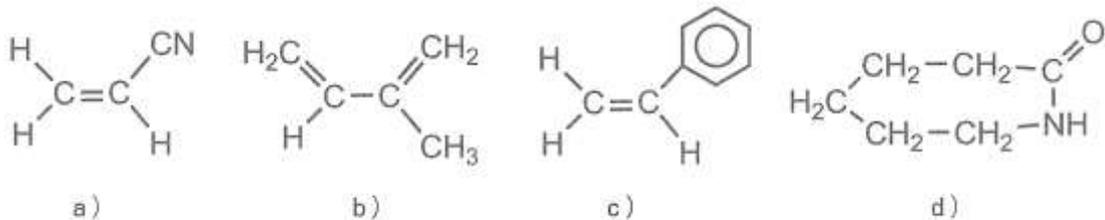


図3 モノマーの例

- (2) 下記に示すポリスチレンの特徴の中で、この実験に使用する理由として重要なものを二つ選べ。
 - a) リモネン(柑橘類の成分)に溶ける。
 - b) 熱に比較的安定で成形しやすい。
 - c) 室温における密度が $1.04 \sim 1.07 \text{ g/cm}^3$ である。
 - d) 発泡ポリスチレンは断熱材、衝撃吸収材として使用される。
 - e) 電気絶縁性が高い。