

1. 貴ガスの化合物の一つ、XeF₄について、以下の問いに答えよ。(計 14 点)

(1) この分子のルイス構造を書け。ただし非共有電子対は全て省略せず書き、F 原子は 8 電子則を満たすが、中心の Xe 原子は 8 電子則を満たさないと考えてよい。(4 点)

(2) この分子の立体構造がどのようになるのかを VSEPR に基づき説明せよ。(5 点)

※単に「○○型になる」ではなく、なぜそのように考えられるのかも説明すること。

※「分子の形」は、「軌道の伸び方」ではなく、「原子の並び方」で答えること。

(例えば、H₂O は O の軌道は「四面体」だが、分子の形は「折れ線」になる)

(3) 「Xe 分子が 1 mol と F₂ 分子が 2 mol」である場合と、「XeF₄ 分子が 1 mol」の場合では、どちらがどれだけエネルギーが低いのかを計算して答えよ(エネルギー差だけではなく、どちらのエネルギーが低いのか、もちろんと答えること!)。ただし、Xe-F 単結合の結合エネルギーは 142 kJ/mol、F-F 単結合の結合エネルギーは 158 kJ/mol とする。(5 点)

2. 原子番号 20 番の Ca について、次の (1) ~ (3) に答えよ。(計 10 点)

(1) 電氣的に中性な Ca 原子の電子配置を書き、最外殻の主量子数も答えよ。例えば Li であれば、「(1s)²(2s)¹、最外殻の主量子数○○」のように答えればよい。電子配置を書くときには内殻電子も省略しないこと!(2 点)

(2) Ca の最外殻電子に対する有効核電荷をスレーターの規則により計算せよ。(3 点)

(3) ある電子を引き抜くのに必要なエネルギー E が、その電子に対する有効核電荷を Z_{eff} 、その電子の主量子数を n としたとき、 $E = E_0 \times (Z_{\text{eff}} \div n)^2$ で近似できるものとする (E_0 はある正の定数)。このとき、Ca⁺を Ca²⁺にするのに必要なエネルギーと、Ca²⁺を Ca³⁺にするのに必要なエネルギーを、それぞれ E_0 を用いて表せ。(5 点)

※有効核電荷の値は、スレーターの規則で計算される値を用いる事。

3. 貴ガス元素に関する以下の問いに答えよ。ただし、「閉殻だから」とか「閉殻で安定だから」というのは何の説明にもなっていないので回答として認めない。(各 5 点、計 10 点)

※さらに言うと、閉殻なのは He と Ne だけで、それ以外の貴ガスは閉殻ではない。

(1) 同じ周期の元素と比べ、貴ガス元素は陽イオンになりにくい。この原因を説明せよ。

(2) 貴ガス元素は陰イオンになりにくい。この原因を説明せよ。

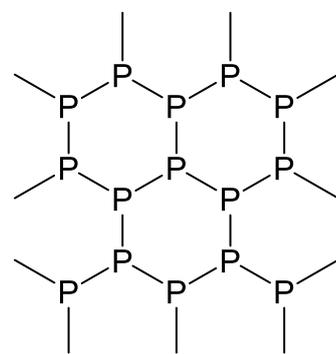
4. 次の(a)~(c)の3つの問いの中から一つを選び回答せよ。どれを選んだのかわかるようにすること。(8点)

※余裕があれば、複数回答しても良い。その場合ボーナスとして、2つ正解で合計12点(通常+4点)、3つ正解で合計16点(通常+8点)を与える。

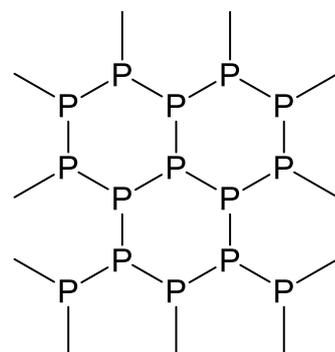
(a) 貴ガス元素でも周期表の下の方にある元素はそこそこ反応性があり、例えばXeの化合物は多数知られている。ところが、Xeよりも周期表で下にあるRnの化合物に関してはあまり研究が進んでいない。この理由を説明せよ。

(b) 日本のような火山性の酸性土壌では、土に含まれるリン(P)のうち植物が利用できるものが少なくなるため、肥料などとしてPを加えることが重要となる。なぜ酸性土壌ではPが利用しにくくなるのかを説明せよ。

(c) 黒リンはリン原子(P)が六員環状につながった右図のような分子であり、一見するとグラフェンとよく似ている。しかしながら、グラフェンが平面構造なのに対し、黒リンの2次元シートはジグザグに波うった構造となっている。黒リンのシートが平面ではない曲がった構造をとることを、VSEPRを用いて説明せよ。



5. リンの同素体のうち、シート状の2次元構造をもつ黒リン(右図)と、二原子分子 $P\equiv P$ を考える。2 molのリン原子が、シート状の黒リン、または二原子分子の $P\equiv P$ となった場合を考え、以下の問いに答えよ。(計11点)



(1) 2 molのリン原子からできているシート状の黒リンをバラバラにするには、何 mol本の単結合を切断する必要があるか?(3点)

(2) 2 molのリン原子からできている $P\equiv P$ 二原子分子をバラバラにするには、何 mol本の三重結合を切断する必要があるか?(3点) ※三重結合1つを「1本」と数える。

(3) 黒リンにおけるP-P単結合の結合エネルギーはおよそ209 kJ/mol、 $P\equiv P$ 二原子分子における三重結合の結合エネルギーはおよそ480 kJ/molである。2 molのリン原子が「黒リン状構造となった場合」と「二原子分子となった場合」を比較すると、どちらの方がどれだけエネルギーが低いのかを計算せよ。ただしここでは、物質のエネルギーは結合エネルギーだけで決まると考える。(5点)

6. SiO_2 のみからできている石英ガラスの軟化点（ある程度柔らかくなっていく温度）は $1700\text{ }^\circ\text{C}$ とかなり高温なのに対し，日常的に使われているガラス（ソーダ石灰ガラス）の軟化点は $7\sim 800\text{ }^\circ\text{C}$ とだいぶ低くなっている．この理由を説明せよ．（6点）

7. 元素の反応性に関する以下の問いに答えよ（各5点，計10点）．

(1) アルカリ土類金属である Mg ， Ca ， Sr ， Ba の単体を，水との反応性が激しい順（より激しい方が左側）に並べ，そのような順序になる原因を説明せよ．

(2) ハロゲン元素の単体である F_2 ， Cl_2 ， Br_2 ， I_2 を，金属アルミニウムとの反応性が激しい順（より激しい方が左側）に並べ，そのような順序になる原因を説明せよ．

8. 以下の表は，さまざまな元素の水素化物と，そのおおまかな沸点を示している．これに関し，下の問い (1) ～ (3) に答えよ．（計12点）

		族			
		14	15	16	17
周期	2	CH_4 $-162\text{ }^\circ\text{C}$	NH_3 $-33\text{ }^\circ\text{C}$	H_2O $100\text{ }^\circ\text{C}$	HF $20\text{ }^\circ\text{C}$
	3	SiH_4 $-112\text{ }^\circ\text{C}$	PH_3 $-88\text{ }^\circ\text{C}$	H_2S $-60\text{ }^\circ\text{C}$	HCl $-85\text{ }^\circ\text{C}$
	4	GeH_4 $-88\text{ }^\circ\text{C}$	AsH_3 $-63\text{ }^\circ\text{C}$	H_2Se $-41\text{ }^\circ\text{C}$	HBr $-66\text{ }^\circ\text{C}$
	5	SnH_4 $-52\text{ }^\circ\text{C}$	SbH_3 $-17\text{ }^\circ\text{C}$	H_2Te $-2\text{ }^\circ\text{C}$	HI $-35\text{ }^\circ\text{C}$

(1) 第二周期では， CH_4 に比べ NH_3 ， H_2O ， HF の3種類の分子の沸点が顕著に高い．これは何の効果によるものか？（3点）

(2) 第15～17族元素の水素化物について考える．第二周期の元素の水素化物では(1)の効果で沸点が非常に高くなっているのに，第三周期以降ではその効果があまり効かず沸点が低くなっている．第三周期以降ではなぜ(1)の効果が働かないのかを説明せよ．（5点）

(3) この表の分子以外で，(1)の効果で沸点が高くなっている分子を1つ挙げよ．（4点）