

学生姓名：_____

实验活动学习单

海洋酸化：二氧化碳扮演的角色

在这个实验中我们将会探讨温度对海洋吸收二氧化碳量的影响，请写下计算过程。

第一部分：动手做科学

老师会利用宝特瓶、水与指示剂来模拟二氧化碳从大气中进入到海洋中的情形，选定的指示剂在中性溶液中呈现黄色，在酸性（ $\text{pH}<4$ ）环境下则会变成红色，实验亦会比较海水与淡水是否有不同的反应，请仔细观察并记录你的回答。

问题1：原本的水是什么颜色？

问题2：二氧化碳加入到淡水后，你观察到什么变化？在海水瓶中又发生什么变化？

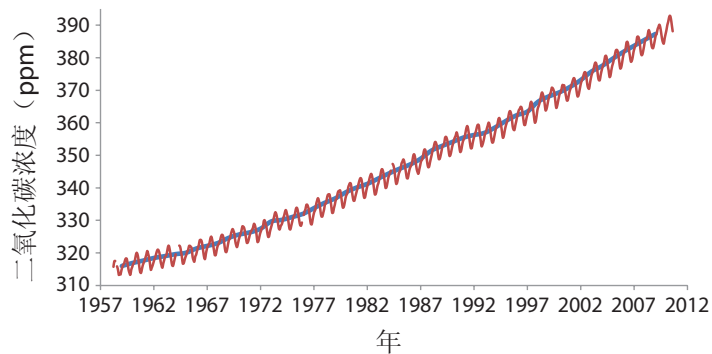
问题3：哪些物理机制控制了二氧化碳进入到瓶内的水中的运动？

问题4：有没有办法再把水变回黄色？你怎么办到的？

第二部分：大气中的二氧化碳

问题5：请利用下图一中冒纳罗亚山上纪录到的大气中二氧化碳含量变化来回答下面的问题。

1. 目前大气中二氧化碳含量为何？（译者注：请老师们打印前可以上网更新）
2. 图上有两条线，是什么机制让红色的现有上下震荡？
3. 请描述蓝线随时间变化的趋势，有什么人类活动导致这个趋势的增加？



图一、夏威夷冒纳罗亚山上测量到的大气中二氧化碳含量。蓝色线代表每一年平均的二氧化碳浓度。红色线显示每个月的值，因而可以看到大气中二氧化碳含量呈现显著的季节性的变动。图片 <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>

第三部分：大气中二氧化碳溶解于水

问题6：请写下二氧化碳溶解于水中的化学反应式，请将海水中含量最高的物种圈起来。

问题7：二氧化碳溶于水的过程如何使pH值改变？请解释。

第四部分：理想气体定律

我们可以利用理想气体定律来估算宝特瓶中的气体量，在这边，我们是利用简化的气体方程式来计算大气中的二氧化碳如何影响海水的酸度。

给老师的话：这个部分可以根据学生程度而调整内容，在本文中有指出，当二氧化碳溶到水中，只有1/400的二氧化碳分子会形成 HCO_3^- 与一个氢离子，比较精细的计算，则建议加入这个的影响。

器材

- » 2个轮胎气阀
- » 2个1公升的宝特瓶，含盖子
- » 1个500 mL量筒
- » 大约1公升热水（ $\sim 50^\circ\text{C}$ ）
- » 大约1公升冷水（ $\sim 10^\circ\text{C}$ ）
- » 1个简易胎压计
- » pH试纸（可选择性使用）

注：热水可以用饮水机的热水来调整温度，冷水则可用加入冰块的方式。

化学概念的复习

科学家利用莫耳数来描述分子或原子的数量，否则如果真正的分子或原子数量将会是很大的数目，令人眼花撩乱。

一个莫耳数代表 6.02×10^{23} 个原子或分子

理想气体定律（ $PV = nRT$ ）可以协助我们计算气体如氧气、二氧化碳、氮气等在不同温度压力下的体积，各参数的单位为

P = 压力（kPa）， V = 体积（L）， n = 莫耳（mole）， R = 气体常数 = $8.314 \text{ (J mole}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$ ， T = 温度（K）。

问题8: 把宝特瓶装满水, 再把水倒入量筒, 量测瓶子的实际体积。用“公升”作为单位, 请问瓶子的体积为何?

问题9: 利用量筒量测, 将0.8公升的水倒入宝特瓶中后, 请问瓶中的空气体积为何? 这个称为顶部空气(简称: 顶空量)。

问题10: 请利用理想气体方程式, 假设空气是理想气体, 瓶子中装入0.8公升水后, 顶空中空气的总莫耳数为何?

问题11: 宝特瓶顶空中的气体应与实验室大气中的气体组成相同, 而目前一般大气中约有0.044%是二氧化碳。(译者注: 这个数量需每年更新)

1. 请问目前宝特瓶的顶空中, 有多少莫耳的二氧化碳? (务必写下计算过程)

2. 如果顶空中的全部二氧化碳都溶于水中, 请问会有多少莫耳的氢离子可被释放出来? 注: 这是个假设的题目, 因为实际上, 气态与溶解态的气体之间会达成平衡, 也就是仍会有些许的二氧化碳留于顶空中。

3. 每一公升纯水中有 1×10^{-7} 莫耳的氢离子, 现在你的宝特瓶中有0.8公升的水, 也就是在二氧化碳溶到水中之前, 总共会有 0.8×10^{-7} 莫耳的氢离子, 如果顶空中所有的二氧化碳都溶到水中后, 将会有多少莫耳的氢离子。(必须将水中原有的氢离子再加上假设二氧化碳全部解离后贡献的氢离子。)

问题12: $\text{pH} = -\log(\text{氢离子浓度}) = -\log(\text{总氢离子莫耳数/水体积, moles/公升})$

1. 请计算纯水的pH

2. 请计算假设顶空中全部的二氧化碳溶解后水的pH

第五部分：二氧化碳的溶解

实验活动的这一部分，我们将二氧化碳溶解在温水和冷水中。在开始本练习之前，先做出假设，预测这两者会有什么差别。

给老师的话：这份练习包括使用pH计/pH试纸和手工计算pH值，计算量稍大。

问题13：假设：写一个关于在温水瓶和冷水瓶二氧化碳溶解的假设，例如描述二氧化碳在不同温度下溶解于水体中，将如何改变冷暖水瓶中溶液的pH值？

编写完假设后，继续执行以下步骤。

步骤1» 在一空瓶中加入0.4升的冷水与0.4升的热水(译者注：为制造出温热水)。

步骤2» 将0.8升冷水加入另一瓶中。

步骤3» 将瓶盖轻放于瓶子上，不要旋紧。

步骤4» 挤压每个瓶子，以除去所有空气(不会溅出水)。

步骤5» 将每个瓶子上的盖子牢固地旋紧。

问题14：从瓶子中挤出所有空气后，每个瓶子里有多少莫耳的二氧化碳？假设大气中没有二氧化碳溶解在水中。

问题15：水的pH值是多少？

步骤6» 将瓶子给讲师，用纯二氧化碳气体加压。

步骤7» 加压后可以使用轮胎压力表测量瓶内压力。

注意：如果没有立即对阀门进行密封，则瓶子中的二氧化碳将会稍稍流失；如果测量压力不止一次，瓶子中的二氧化碳亦会流失，压力会下降。

问题16： 瓶中的初始压力： _____ psi

问题17： 房间内的压力为14.7 psi（1013百帕）。为什么如果没有把瓶口封好，瓶子顶空中的二氧化碳会流失？

问题18： 和以前一样，我们可以计算瓶子顶部空间中的二氧化碳莫耳数。请记住，我们将瓶内压力加倍（从~1000百帕到~2000百帕），因此顶空中的气体量增加了一倍。使用理想气体方程式，计算瓶子顶部空间中有多少莫耳二氧化碳？

问题19： 摇动瓶子（别将阀门指向同学，以防漏水喷溅发生危险）。

1. 瓶内压力发生了什么变化？

2. 温水和冷水瓶之间的压力是否有差异？

3. 为什么瓶内压力会发生变化？

问题20：现在我们将对两瓶中溶解的二氧化碳量做一些假设：

1. 假设顶空中40%的二氧化碳溶解在温水中。多少莫耳的H⁺释放到水中？水的pH值是多少？

2. 假设顶空中60%的二氧化碳溶解在冷水中。多少莫耳的H⁺被释放到水中？水的pH值是多少？

问题21：反思你的假设。你学到了什么？

注意：为了产生可见和快速的效果，我们在瓶子中使用的二氧化碳压力比现在大气中的高得多。然而在顶部空间和瓶子中的水之间观察到的过程的确在大气和海洋之间自然发生，但速度慢得多且不太明显。

第六部分：你的碳足迹

已经了解海水的pH值如何随着二氧化碳的加入而改变，接着我们将研究一些人类活动如何影响大气中二氧化碳的浓度。（1莫耳二氧化碳 = 44.01克二氧化碳）

给老师的话：此部分有许多耗时的计算。要缩减时间，请将以下问题分给不同的学生组别讨论，然后分享。

以下问题请全部列出计算过程

问题22：列出三种你可以增加大气中二氧化碳含量的方法。你认为哪种活动将增加最多的二氧化碳到大气中。

问题23：我们吸入氧气，呼出二氧化碳，称为呼吸作用。如果你每天呼出1公斤（1,000克）的二氧化碳，那么一天的莫耳数是多少？一年有多少莫耳？

（可以在以下位置计算碳足迹：<http://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>）

问题24: 大气中二氧化碳的另一个来源是化石燃料（煤，汽油，天然气）的燃烧。驾驶汽车可能是最容易掌握的，一加仑气体的燃烧释放出8.8公斤的二氧化碳。

1. 将8.8公斤二氧化碳转化为二氧化碳莫耳数。

2. 现在让我们来看看每英里行驶中的汽车释放多少莫耳二氧化碳。

a. 一辆油耗為15英里/加仑（6.4公里/升）的汽车（大型卡车）

b. 一辆油耗為30英里/加仑（12.8公里/升）的汽车（例如本田Civic compact）

c. 一辆油耗為50英里/加仑（21.3公里/升）的油电混合车（例如丰田Prius hybrid）

3. 如果你每天驾驶10英里（16公里）的汽车，每年你会释放出多少莫耳的二氧化碳到大气中？

a. 一辆油耗為15英里/加仑（6.4公里/升）的汽车（大型卡车）

b. 一辆油耗為30英里/加仑（12.8公里/升）的汽车（例如本田Civic compact）

c. 一辆油耗為50英里/加仑（21.3公里/升）的油电混合车（例如丰田Prius hybrid）

问题25：电力是另一个不太引人注意的大气中二氧化碳来源。即使你不开车（或乘坐公共汽车），仍然会从使用电力来产生二氧化碳。电力以千瓦时（kWh）计算，而石油是许多地区的主要电力来源。一加仑的石油产生36千瓦时的电力，1千瓦的电力等于1,000瓦特（W）。

1.1加仑（3.8公升）的石油燃烧，可以提供多少小时的电力给1个100瓦的灯泡使用？

2.假设教室里的灯泡各40瓦。如果课程长达3个小时，房间里有34个灯泡，那么燃烧多少油就可以为它们供电？

问题26：在美国，每天消耗18,810,000桶石油。

1桶= 42加仑= 159升

1加仑油= 8.8公斤二氧化碳

1.计算一天内释放到大气中的二氧化碳莫耳数。

2.一年内向大气释放出多少莫耳的二氧化碳？

3.人类对二氧化碳的大气输入增加如何影响海洋？

问题27：上面的人为过程对环境的二氧化碳贡献最大的是？

第七部分：总结

问题28：如果大气中温室气体浓度增加，更多的红外辐射会反射回地球，海面温度将如何受到影响？

问题29：人类活动向大气输入的二氧化碳如何影响海洋的pH值？

问题30：随着海水温暖，如何改变海气间二氧化碳交换？这会改变大气中二氧化碳增加的速度吗？

问题31：大气中二氧化碳浓度增加会对珊瑚有孔虫等钙化生物产生怎样的影响？

问题32：如果我们继续增加大气中二氧化碳的浓度，今天使用这些瓶子的实验室练习是否真实地证明了海洋的pH值会如何变化？想想实验开始时的示范。为什么淡水组在海水组保持黄色时已变色？