



手持搅拌机提升玻璃杯实验的现象分析^{*}

李耀俊

(广西民族大学数理学院 广西南宁 530006)

何桂明

(南宁市第五中学 广西南宁 530011)

(收稿日期:2022-01-19)

摘要:手持搅拌机可以将装水的玻璃杯提升起来,由于搅拌机刀口靠近玻璃杯底部,保护罩和杯底之间形成局部低压区域,玻璃杯底部的内外压强差产生向上的作用力,玻璃杯被搅拌机向上提升。

关键词:搅拌机 玻璃杯 大气压强 作用力

1 手持搅拌机提升玻璃杯实验

手持电动搅拌机是常见的厨房小家电,可实现对蔬菜、水果、鸡蛋等搅打和制浆等功能。2014年美国物理教师协会 AAPT(American Association of Physics Teachers)主办的《物理教师》杂志(*THE PHYSICS TEACHER*)刊登了两篇论文“The puzzling immersion hand blender effect”和“Lifting a cup of water with an immersion blender”,介绍用搅拌机进行提升玻璃杯实验:启动手持搅拌机,把旋转刀口靠近装有水的玻璃杯底部,用手缓慢提起搅拌机,装水的玻璃杯可以被提升起来,不需要用手或其他物体握住玻璃杯。为了确保提升实验成功,玻璃杯和水的总质量要比较小。同时把带有保护罩的刀口十分靠近玻璃杯底部的正上方,玻璃杯直径稍微比保护罩直径大一些。实验时容器内的水从底部向上方流动,也向容器内壁的侧面流动,紧握搅拌机的手感受到一种向下的拉力作用。

针对提升玻璃杯的作用力来源和本质,一种说法是由于玻璃杯中的水高速旋转,根据流体力学的伯努利定律,高速旋转的液体压强降低,外界大气压强大于杯底液体压强,形成向上的作用力,把玻璃杯

提升起来^[1]。也有观点认为旋转刀片甩出的高速水流和玻璃杯内壁之间产生摩擦,摩擦力的方向向上,把玻璃杯提升起来^[2]。2020年3月 *THE PHYSICS TEACHER* 刊登研究论文“An Unusual Version of the Magdeburg Experiment with a Kitchen Blender”^[3],新实验采用3种功率都是600 W的不同型号搅拌机,结果表明当容器和水的总质量较小,例如为500 g,且容器底部面积较小,提升实验容易成功,如图1所示。为了检验搅拌机可能提升的最大质量,研究人员在玻璃杯底部固定一个内径更小的杯子,杯子里面装有数量不等的钢珠,逐渐增加钢珠的数量,实验能够提升的最大系统质量为2 kg,如图2所示。



图1 搅拌机提升500 g重物

^{*} 2021年广西科技开发项目“数字化科普资源的开发与科普基地的建设”,项目编号:2021AC23009

通讯作者:何桂明(1978-),女,中教一级,主要从事科学教学与实验研究。

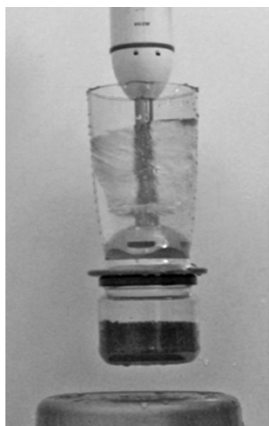


图2 搅拌机提升2 000 g重物

2 搅拌机提升实验的现象分析

为了探究旋转水流是否对玻璃杯底部施加作用力,利用一个测量精度1 g的精密电子天平,把装水玻璃杯放到天平上,如果水对玻璃杯底部的压力发生变化,电子天平的读数也会相应变化.先测量水静止在玻璃杯里电子天平的读数,然后启动搅拌机使水发生旋转,拿出搅拌机,测量玻璃杯和旋转水的总质量.前后2次测量读数相同,表明旋转水流不会改变对玻璃杯底部的作用力.

为了探究流动的水和玻璃杯内壁之间产生摩擦力的影响,把一个半径10 cm、高度16 cm、质量200 g的空心塑料圆筒浸没在装水玻璃杯中,启动搅拌机后把刀口放在玻璃杯底部以及其他各种位置,结果无法提升塑料圆筒,如图3所示.这个实验消除了容器底部水流运动形成的摩擦力,只考虑向上流动的水和容器侧壁形成的摩擦力.实验表明水和容器侧壁摩擦产生的作用力,对于提升玻璃杯的影响效果很小,可以忽略不计.



图3 搅拌机提升塑料圆筒实验

搅拌机提升实验过程中,把刀口逐渐远离玻璃杯底部,尽管减少玻璃杯和水的总质量,玻璃杯也不容易被提升起来.观察刀口旋转时的水流情况,刀口保护罩下方出现一个明显的锥状无水区域,如图4所示.刀片旋转时从保护罩下方排出一些水,锥状区域内的压强降低.由于保护罩顶端水的压强不变,锥状无水区域越大,内外压强差产生的压力也越大.当搅拌机刀口靠近玻璃杯底部,保护罩和杯底之间形成一个局部低压区域,保护罩的上、下表面存在压强差,产生的作用力吸附保护罩向下运动,手感受到向下的拉力作用.在玻璃杯底部,外界大气压强大于玻璃杯底部液体压强,内外压强差产生的作用力方向向上,玻璃杯被搅拌机向上提升.可见并不是搅拌机旋转产生提升玻璃杯的力,而是外界大气压强托举玻璃杯向上运动.

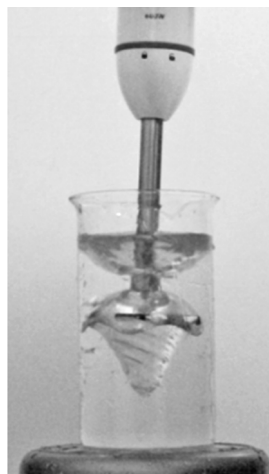


图4 保护罩下方无水锥形区

为了突出刀口保护罩对提升力的影响,把去除保护罩的刀口焊接在金属转头上,使用手持电钻进行搅动实验,如图5所示.没有保护罩的搅拌机浸没到装水玻璃杯中,尽管水流高速旋转,刀口没有产生明显的锥状无水区域,不能提升玻璃杯.改变刀口形状,使其更像推进船舶行驶的螺旋桨,水流旋转速度更快,把刀口放到玻璃杯内的不同位置,依旧不能提升玻璃杯.可见刀口保护罩是产生提升力的重要因素.如果增加玻璃杯的内径,搅拌机提升效果显著降低,一个可能原因是玻璃杯内径增加,水进入到刀口保护罩下方数量越多,降低该区域的真空度,导致

内外压强差减少. 那些内径相对较小的玻璃杯, 被刀口排出的水向上流动, 阻挡其他地方的水进入到保护罩下方, 有效维持局部低压区域.



图 5 不同形状刀口

针对较宽口径的玻璃杯, 如果把搅拌机刀口靠近玻璃杯侧壁, 而不是位于玻璃杯底部的正上方, 可以成功进行提升实验. 这是由于刀口接近内壁, 水从保护罩向外和向上流动, 抑制水从侧面和下方进入到保护罩区域, 在保护罩和容器底部之间保持局部低压区域. 在一个内径更大的容器里, 放入一个表面光滑的物体, 例如前次实验中装有钢珠的小杯子, 把搅拌机放在小杯子上面, 成功举起了它, 如图 6 所示. 值得注意的是, 提升力不一定在竖直方向, 如果刀口从水平方向接近玻璃杯内壁, 玻璃杯会在水平方向发生移动.

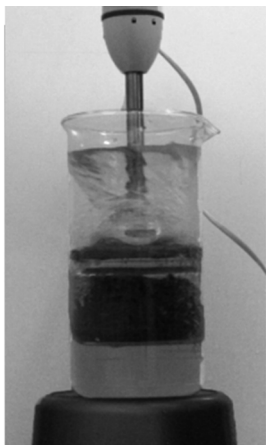


图 6 搅拌机提升水中重物

3 大气压强对搅拌机实验的影响

1654 年 5 月 8 日, 德国马德堡市的市长用两个直径 40 cm 的空心铜半球进行著名的马德堡半球实验. 搅拌机提升玻璃杯类似马德堡半球实验, 都是在两个物体之间形成低压区域, 外界压强和内部压强存在差值, 分离两个物体需要施加相应的作用力. 搅拌机通过水流高速旋转, 在两个物体之间产生低压区域, 压强变化是动态实现和保持的, 一旦水流停止旋转, 低压区域就会逐渐消失, 压力作用相应减少并最终消失. 1 个标准大气压作用在每 cm^2 面积上的力约为 10 N, 刀口护罩下的无水锥形区域半径约为 2 cm, 有效面积范围 10 至 15 cm^2 . 如果在完全真空的情况下, 保护罩受到外界大气压强产生 100 N 的压力, 搅拌机可以提升 10 kg 的物体. 由于刀口不能排出全部的水而形成绝对真空, 搅拌机能够提升的最大质量为 2 kg, 这个效果已经十分显著. 笔者认为, 针对搅拌机提升实验的深入研究, 可以改变液体种类, 比较水、矿物油、植物油、奶昔等不同粘稠液体产生的提升力差异; 或者利用搅拌机不同档位产生的转速变化, 分析水流速度对提升力的影响, 分析容器内径和刀口形状、保护罩结构等对提升力的效果差异.

参考文献

- 1 C. Chiaverina. The puzzling immersion hand blender effect[J]. *Phys. Teach.*, 2014, 52(5):310
- 2 C. E. Mungan. Lifting a cup of water with an immersion blender[J]. *Phys. Teach.*, 2014, 52(6):327
- 3 Dragia Trifonov Ivanov. An Unusual Version of the Magdeburg Experiment with a Kitchen Blender[J]. *Phys. Teach.*, 2020, 58:308

