

同侪团讨对科学概念改变之探讨

陈正治¹、刘嘉茹²

¹ 国立科学工艺博物馆 科技教育组

² 国立高雄师范大学 科学教育暨环境教育研究所

¹ 电邮: nelson@mail.nstm.gov.tw

² 电邮: chiaju1105@gmail.com

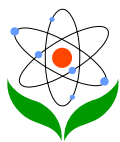
收稿日期：二零一七年五月九日

(于二零一七年六月二十七日再修定)

内容

- [摘要](#)
- [壹、绪论](#)
- [贰、文献探讨](#)
- [参、研究设计与方法](#)
- [肆、结果与讨论](#)
- [伍、结论与建议](#)
- [参考文献](#)

摘要



本研究以同侪团讨教学策略，操作「科学类博物馆科学学习认知」课程，并以准实验教学设计与质性研究，探讨此教学课程对一般大学生，在日常生活中，空气流体运动相关的物理学概念上，概念转换与学习成效造成的影响。

在资料分析方面，本研究采用 114 名来自各大学校院系的大学生当样本，在他们莅临科工馆担任夏令营的实习生勤前教育训练时进行资料收集，将其随机分为 3 个研究群组(A 组、B 组与 C 组)，分别进行无讨论、小组一次讨论与二次讨论等不同任务，每群组再细分数个小队，每小队成员 3-4 人，采用次数分配分析、独立样本 t 考验、变异数分析法及概念改变的过程。研究结果显示：

1. 同型式的前置讨论，有助于一般大学生在科学学习上概念的转变
2. 同侪讨论可以有效促进非理工背景之大学，对于日常生活中有关空气流体对日常活动之影响概念建立及应用。
3. 同侪团讨二次讨论的学习成效较佳。

研究亦发现，一般大学生对空气流体特性概念之欠缺，藉由动手做实验活动，眼见为凭，始能有效传播科普知识，同时藉由不同背景的同侪团讨，可以避免偏见。

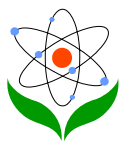
关键词:同侪团讨、准实验教学设计、概念改变、科学学习、科学博物馆

壹、绪论

一、研究动机、背景

依据研究者在一些大学的通识教育中，有关生活中物理学科普演讲中，进行的观察与调查，发现到约有 80%的在场学生，同意与肯定物理科学之实用性与重要性，可是在物理学习上具有兴趣的学生，比率仅 0.5%，甚至，非常讨厌物理的学生竟超过一成，排斥学习物理的现象令人好奇，究其原因不外乎是在国中、高中阶段，纸笔考试评量的比例过高，一般实用性的科普实验贫乏。

环顾现今大学的科学教育或科教类通识课程之设计越趋实务应用，对理工科系的学生，是为一大福音，但是，对于非理工科类的大学生，在学校中能与



科学教育的接触或学习，仍属机会鲜少。特别是自 1990 年后，台湾地区广设大学后，属于非理工类(如设计与管理)的学院与就学人数比例大增，传统理工学院的学生比例相对减少，也因此，对于一些日常生活中科学现象的发生，较少关心。研究者亦发现许多的通识科教或科普演说，大都是讲者言之、听者闻之，高度欠缺学习前的先备知识交流与讨论、更遑论学习中的互动与体验，以及学习后的成效检验。

然而，物理现象的普及与应用，却高频率地出现在日常生活之中，例如：电磁波、奇异的共振现象，或因空气流体压差产生的交通事故等，均与科学应用概念有关，常见于新闻报导，以交通事故相关的新闻为例：

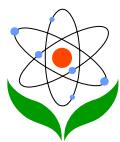
1. 骑乘机车者与大卡车会车或超车时，被气流卷入大卡车轮下的事故；
2. 站立在火车站月台上的黄色警戒线危险标示区内，过站未停的火车带来高速气流压差，外侧空气将人推挤至轨道区域的事故；
3. 高速公路上疾行的货车，当后车斗无遮盖物时，车斗内轻巧的物体，往上往后飞车外，造成砸中紧随在后车辆的安全事故。
4. 高铁火车会车时产生抖动，高速公路上同向车速差异太大时也会产生抖动现象。
5. 河川外侧凸出弯流处水流速大于内侧凹陷处，。

事故发生，新闻总会巨细靡遗的描述与报导事故中，人事时地物之细节，再以意外事故总结，鲜少就事件的因果，做科学性的探讨与论述，以避免再次发生类似事故，科学观念与教育的推广与普及，确实为当务之急。

另一方面，研究者也对大学生获取一般科学新知的管道做了观察与访谈，不意外地，网络知识与维基百科是主要提供数据与信息的来源，但仅止于信息传递，却无法针对科学新知做进一步的互动、学习，或是解惑。此外，根据观察，在学校内许多科学属性的通识课程，多采用传统讲述式的教学，教学设计上，与老师讨论科学议题的机会不多，学生有感科学离生活越来越远、也越来越生疏。科教教学与学习的调整，确实有其必要。

二、研究目的

为推广与普及科学观念与教育，并尝试在科教教学与学习的调整，本研究设计以位于高雄的国立科学工艺博物馆(简称科工馆)为实验场域，该馆在每年寒、暑假期间，均有大批大学生报名从事实习或社会服务等志工类工作，科工



馆举办之科学类营队的大学生实习志工，于短期(约两周)志工勤前教育训练

中，融入生活物理科学重点学习(如：柏努利定律)，运用「同侪讨论」教学策略，操作「科学类博物馆科学学习认知」课程，进行物理科学学习。研究目的在以准实验教学设计与质性研究，探讨此同侪讨论教学对大学生在生活物理学上，概念转换与学习成效造成的影响，检验概念改变教学策略在大学生的科学观念与教育的推广与普及上发挥的效能。

三、名词释义

(一) 科学工艺博物馆：

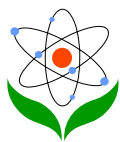
科学工艺博物馆主要的任务是提供一般民众在科学教育上的终身学习(Long Life Learning)、自由探索的场域，其服务内容科学展示教育、科学类典藏物品的搜藏、科学教育的推广及民众休闲娱乐的需要，换言之，人人均可自由来去科工馆，自无像学校般有固定的时间与课程进度的安排，因此，会莅临科工馆活动者，不论其背景殊异，基本上是对科学教育或科普新知，有股学习、吸收与参与热诚。

(二) 科工馆科学营队与实习志工：

科工馆于寒、暑假期间，会提供各式科普活动营队让一般民众报名参加，为提供较佳的服务质量，科工馆便开放实习机会，供一般在学大学生，不论其所学或背景，参与社会服务或具学分的校外实习，担任志工。但在服务前，科工馆提供其必要的服务勤前教育训练，训练内容包含应对进退、服务态度、服务热诚、机动能力、解决问题能力与相关的科学知识与科技技术、技法与概念。然而，从实习报到开始，到营队开办日，时间很紧迫；科学概念的建立，非一朝一夕可成，故研究者在勤前教育期间，必须采短期密集的训练，并融入重点学习之教学策略，并求取较高训练效能。

(三)、柏努利定律(Bernoulli's Principle)

流体在同一水平面上流动，则在流体流速快的地方压力会变大，反之，流体流速慢时压力会变小，此理论由瑞士物理学家丹尼尔-柏努利(Daniel Bernoulli, 1700-1782)于 1738 年出版他的理论《Hydro-dynamic》，描述流体沿着一条稳定、非粘滞、不可压缩的流线移动行为。柏努利从牛顿运动学中，能量守恒观念：动能+位能=定值，推导出



柏努利定律：动能+压力=定值。

当液体流速减少时，压力便会增加。

柏努利定律简单的说就是"流体流速愈大 压力愈小"

飞机能飞在空中即利用此原理

飞机向前飞 在机头的空气不管是背部或腹部 皆须同时到达机尾

因为飞机背部呈弧形 腹部成平面状

所以背部的空气流速快 相对腹部压力就较小

所以压力大的腹部空气可以支撑飞机的重量 飞机也就飞起来了

这是水平状态的应用。

(四)、康达效应(Coanda Effect)：

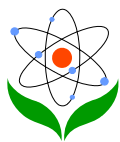
直进的喷流束空气(吹风机吹出的气流)碰到圆柱(球)状的障碍物时，因流体具黏滞性，会随着凸出障碍物表面流动倾向的康达效应(Coanda Effect)，空气会绕过圆柱(球)状的障碍物后，会继续前进；本活动使用的圆球四周被流动空气团团围住，球外未受到喷流束影响的空气压力相对比球表面流动的空气压力较大些，此即柏努利原理(Bernoulli's principle)应用，使球不致于离开喷流束航道；另外球的重量与空气吹力大小相等，方向相反，使球得以稳定地飘浮在空中。

贰、文献探讨

一、认知发展(Cognitive Development)与概念改变 (Conceptual Change)

目前有关概念改变之研究，大致上可从学习理论、认知心理学、及本体论之观点加以探讨。本节拟就各观点作一扼要说明。Posner 等人(1982)从学习的观点指出，概念改变的形式可分为同化(Assimilation)及调适(Accommodation)二类。若学习者仅是将新知识加入原有的知识当中，而新、旧知识二者并未重新组织，称之为同化，这种学习方式并未使原有的概念体系发生重大的改变。若学习者之现有概念不适当，无法成功地掌握新情况时，学习者必须取代或重新组织他们的中心概念，此称之为调适，这种学习方式需要较大规模结构上之概念改变。因此，如果我们希望修正学生原有错误想法，则必须使学生发生调适学习。

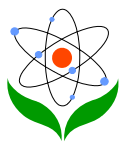
概念学习的理论强调「学生的学习」即为「概念的改变」(Conceptual Change)，教师的工作除了教授学科知识之外，于教学活动中帮助学生建构概念改变的机制与桥梁，达成概念的成长与跃迁就更形重要了。在科学哲学与科学史中，自1962年孔恩(T. Kuhn)发表了科学革命的结构一书后，革命性的概念改变理论，



开始受到了重视(Paul, 1992)。近年来,「概念改变」也开始被科学教育社群视为科学研究与教学的重要议题(Wandersee, 1993; Paul, 1992)。从建构主义的观点来看,学习就是概念的转变,包括新旧概念两者之间的交互作用。若新旧概念之间能够互相协调,得到一致,学习就没有困难;反之,新旧概念之间无法配合,便须重新建构既有的概念或转变成新的概念(Posner et al, 1982; Hewson, 1981)。李玉贞(2000)指出,一般而言学生的学习之所以常会固守先前概念(Prior Knowledge)的原因,乃因对学生而言,此概念系来自于周遭事物的亲身经验,由于经常使用,具有自动自发、不易改变的特性。学生会有偏见,经常倾向于只注意到此概念可以适用的情况,而忽略其他不适用的情况,倘若教师未能留意学生个别的概念,且学校的评量也忽视了对学生想法的了解,即使学生的想法有误,也不见得能够及时予以纠正(Hashweh, 1986)。教师如果想要运用传统的讲述方式来改变学生的概念,通常是失败的,学生如果在教师教学后仍表现出相同于之前的「素朴概念」(Naive Conception),学习者本身自行建构,用以解释某些科学概念时所抱持的基本理论。学习者经由日常生活经验与对于周遭环境事物的了解,产生一些原始想法,甚而形成理论架构,用以解释、解决所面临的科学概念、问题。然而,由学习者所建构的素朴理论出发,对科学现象进行预测、说明或原因的解釋时,常衍生异于科学家想法的迷思概念(Mis-conception),或与课室中科学概念的学习相互作用而产生预期之外的学习成果,则整个学习活动当属于无效的学习。Carey(1986)曾指出有个矛盾的情形普遍存在于学生学习过程之中:要理解一个概念,必须要有更新于先备知识的数据予以支持,可是这个先备知识「自己使之有意义的一种工具」却要改变了,这就是 Toulmin(1972)所说的「概念改变的难题了」。学生若长期具有另有概念,亦不利于科学知识的学习。例如 Champagne, Klopfer, & Anderson(1980)和 Champagne & Klopfer(1982)等人的研究发现,并不是学生没有先备知识才导致学习发生困难,而是学生的「先前知识」或「另有概念」与学校的教学有所冲突所致。另有概念(Alternative Conception)一辞根据黄文俊(1994)的说法,其意义为学生在尚未学习科学概念之前的直觉知识(Intuitive Knowledge),或与正统科学不符的概念,而这些概念通常是错误的。

瑞士教育心理学者皮亚杰(Piaget, 1972)的认知发展理论(Cognitive Development)指出,当学生发现外界客观世界与其内在的认知结构不一致时,将失去平衡状态(Disequilibrium),因此想重新组织以期恢复平衡,学习就是一中恢复平衡的方式之一。但学生对学习新概念,也不是一味的来者不拒,唯有下列情形发生时,学生比较容易进入并打开接受新概念的形成的(Posner, Strike, Hewson & Gertzog 1982)。

1. 对自己的先备概念或另有概念感到不满意(Dissatisfaction): 个体只有在遭遇异例(Anomalies)或无法解释的现象时,才会想要发生概念的改变,

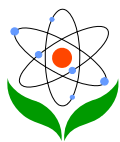


亦即发现对于新概念若只采取「同化」是不够的, 必须发生「调适」才行。

2. 能提供易于领悟(Intelligible)的其他条件(Alternative): 新概念必须提供易于理解的方法、事例, 否则个体会考虑只「修正」之前的先备概念, 更甚者不理睬眼前那个明显的难题, 而回归到原有的概念, 故可运用适当的模拟(Analogy)与暗喻(Metaphor), 使新概念更易于理解, 来达成概念的改变。
3. 条件是合理的(Plausible): 纵使某些新概念是易于领悟的例子, 但要被个体接受, 则必须此一概念与其他的知识是一致的、合理的, 才能发生概念的改变。
4. 与切身相关者(Relative Status): 当两个彼此相抗衡的概念同时并存时, 与学生切身相关的想法将决定学生选择哪一个概念 (Hewson et al 1992)。

在认知心理学方面, 有关概念改变的分野不一。如 Keil 分为根本的重建(Radical Restructuring)及较少的根本重建(Less Radical Restructuring)。Carey 则分为强烈的(Strong)概念改变与轻微的(Weak)概念改变(Chi, 1992)。Vosniadou & Brewer(1987)则将概念改变分为根本的概念改变(即 Carey 所谓的强烈的概念改变)与轻微的概念改变。Vosniadou & Brewer 认为当新、旧基模所包含的概念、结构、及所解释的现象有所不同时, 则发生根本的重建。譬如 Kuhn 的典范转移(paradigm shift)为根本的概念改变(Vosniadou & Brewer, 1987) 而若仅是专家特质的获得(Acquisition of Expertise)一如知识表征内容的增加(Carey, 1985)或是 Rumelhart Norman (1981) 所认为的增加(Accretion)、调整(Tuning)、甚至重建(Restructuring)以获得较深层的理解与顿悟的过程, 则属于轻微的概念改变。事实上, 轻微的概念改变与根本的概念改变与上述的同化及调适有异曲同工之效。Chi、Slotta 以及 de Leeuw(1994)从本体论的观点将实体(Entities)分为三个类别:物质(Matter)、过程(Processes)及心智状态(Mental states), 每一类别中皆有其阶层性。所谓根本的概念改变是指类别之间概念的改变(Across Ontological Categories)如某一概念由物质类别转至过程类别。若概念的改变仅涉及类别内的改变(within Ontological Categories), 则属于轻微的概念改变。如修正部分和全体的关系、形成新的上阶(Super ordinate)或下阶(Subordinate)类别、重新分类既有的类别、顿悟、或在同一本体类别内直接重新指定某一概念的类别(Chi, 1992)。

根据 Chi 一连串精致的研究结果指出, 如果学生的迷思概念无一致性、不同年龄间的表现不同、可随发展而改变、学生的迷思概念与中世纪时的迷思概念并无相似性、再加上学生的学习与阻止科学发现的历史障碍无关者, 则皆属于轻微的概念改变月相盈亏之概念改变(邱美虹、陈英嫻, 1994), 若概念的形成牵涉到个人经验、学生的迷思概念具一致性、不同年龄学生间的表现相似、



学生的迷思概念与中世纪时的迷思概念非常相似(如物理中的力学概念, Chi 等人, 1989), 要学生进行根本的概念类别转移, 放弃原有的素朴概念, 则有赖根本的概念改变(Chi, 1992)。根据 Chi 的看法, 类别间根本的概念改变在日常生活中并不常见, 因为通常我们在面对一些现象时并不需要修正先备知识的本体状态, 即可解释或预测许多物理事件。

综上所述, 学习者首要认知其学习上的需要, 概念改变方得以进行。而概念改变依其所属类型而难易不同, 并非皆为困难的。由于本研究主要的目的是在了解学生在物理科学学习上的心智模式以及概念改变的机制, 故将以学习理论以及认知心理学中知识表征为主, 并参考 Chi 之研究以进行实验设计与执行。

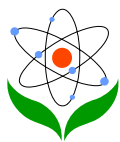
二、同侪对话与互动

有关对话(Dialogue)一词, 可从古老的希腊「Dialogos(对话)」文字中找到一些线索, Dialogos 是分别由「Dia」与「Logos」组合而成, 分别意指「经由(Through)」和「文字(Word)」, 简言之, 对话就是在同侪或团体群组间从事谈话或争论。新进有关对话(Dialogue)的定义是一种个人与它人间口语交换, 且至少获得一个以上的回答(Howe, 1981)。

Thagard(1992)认为当概念改变牵涉到知识元素的新增、删减或修正时, 会驱使概念改变的程度更复杂化, 也就是说要改变学生的刻板印象, 所需花费的时间与精神将更多。Cobern(1993)认为, 学生在其文化内涵里所建构的知识才是有意义的知识, 例如社会学习理论所讲述的近侧发展区(the Zone of Proximal Development theory)、专家鹰架理论(Expert Scaffolding Theory)、苏格拉底探究对话(Socratic Dialogue Theories)及交互式教学(reciprocal teaching), 也在强调交互式的学习比较容易让学生进行概念的改变。

Palincsar & Brown (1984) 也支持相同的看法, 他们一致认为团队合作可以创建一个专家次文化(sub-culture of expertise), 采用轮流且有次序的意见发表、讨论及咨议, 对新认知的理解、建构与妥协, 确实扮演着重要的角色。

在当下的上课活动中, 教师通常是采权威式的授课方式, 其目的是要学生专心一致地听从老师的对某一目标的教学, 但从对话式的教学活动中, 教师认知并企图将学生反馈的意见或看法纳入其教学活动中, 并得知不同的看法与观点(Scott et al., 2006).因此, Louis Pasture 认为, 学生学习科学前的前置讨论, 可以培养其预备心态(prepared mind), 有助其对后续的某一欲学习的科学观点有所帮助, 本研究将此前置讨论学习方式称为课前预备讨论学习, 其与一般所谓的课前预习有所相似, 为了促进彼此合作学习可以增强学生对某一主题的理解, 学生必需拥有并提出不同的意见或见解(Howe, et al., 1995)。换言之, 对话



式的讨论本质有其学习的丰富性，在对话式的讨论中，所有正反意见得被尊重与维护，正反意见必需能充份表达其欲陈述与说服的理由，并给与不同综合优点评量基准(Kuhn, 1991)，因此，小组间内部对话将内化成个人内在的想法，因为所有较高层次的思考，将会在人群中显现出关系来。(Vygotsky, 1978)。同时，协同合作可以协助参与人员的观察，并注意各种现象产生，并对不同意见或见解的处理(Howe, 2010)。

黄俊儒、杨文金以国中学生为样本，从学生之间同侪互动的角度，探讨国中理化实验课中教学安排的方式。透过对于理化实验课中相关理论基础的探讨，分析一堂理化实验课中所可能面临的问题，并从任务性质及教学处置两方面的考虑，发展三阶段的教学处置，以期从理论的讨论上提供改善学生间互动质量的方法，促进同侪间角色关系的平衡(黄俊儒、杨文金 2000)。

刘新等学者在其研究的「小组合作学习的教学理念与实务」一文表述，依据建构者的架构，学习不单是增加一点新知识而已，而是修正既存知识的过程。先备概念会影响学生对于新学习内容的记忆，标准化的自然科成就测验可能无法确实点出学生科学知识上与个人信念矛盾之处，此乃因许多测验题偏重记忆性的题型。因此教师常常需要诊断学生的迷思概念，检测学生何以发展出这种与科学理论和模式相悖的错误概念。概念改变的教学策略因而发展(刘新、林如愷、李秀玉、杨雯仙、张永达，2006)。

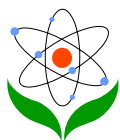
同侪对话在数学上的应用，确实能促进反思与数学教学知识发展，且帮助教师理解教学中的学习、教学行动与数学知识等问题(陈彦廷、康木村、柳贤，2010)，但在科学上的同侪对话，仍是鲜少有相关文献可供参阅(陈信助、陈正治、刘嘉茹，2016)。

综上所述，虽然学理上说前置讨论很重要且有效，但近年来的研究显示，不但课前对话少，讨论式的对话也很少。此外，有关同侪间对话式的科学新知探讨的相关文献稀少，实验或操作模式也多属口耳相传，难有互动体验式的科学探究活动可供学习。在同侪讨论或合作学习的研究对象，大多以国中小生为样本，鲜少有大学生当作研究对象，故本研究设计以概念改变教学策略，透过大学生同侪讨论，操作科学学习认知课程，探讨此教学课程对大学生在生活物理学上，概念转换与学习成效造成的影响。

参、研究设计与方法

一、研究问题

概念改变是教学活动中重要的任务，特别是科学教育上，教学的目的往往是要学生做一些概念的改变。一般人总是相信自己朴素概念(Naive Concept)、



另有概念(Alternative Concept), 统称为既有概念(Existed Concept)。除非做教学前的调查, 否则很难得知其既有概念为何, 而且学习主体进行学习时, 其既有的科学概念不是被动或静态的等待新知识的加入, 反而发挥主动且动态的功能指导认知主体去理解与融合新的知识。经由学习的过程, 学习者的既有概念可能不变也可能改变。学习者的科学概念可分为人为概念与自然概念, 前者指当代科学社群所认可的, 也通常是学校教材所呈现的科学概念; 后者是学童在其生长过程中, 经验外在事物所得到的科学概念。学习者在观察自然现象建构自然概念的过程, 深受信念架构、既有知识、认知过程、情感、价值, 甚至美学等因素的影响。因此人为概念与自然概念在内容上可能相同但经常非常不一致, 而且自然概念的固着性较强且保留时间较长, 要让学习者想要进行内心世界既有概念的改变, 则需要强而有力的说服力。进行概念改变的策略有团队合作学习或同侪讨论, 训练学生、以理服人、眼见为凭、学然后知不足的科学研究。

本研究尝试藉由营队开办前的教育训练课程, 将生活中的议题导入(如骑乘机车与大货车贴近的危险性), 分析科工馆服务的的大学生志工, 在短时间之内(1-3 天), 能否藉由同侪团体讨论、提供眼见为凭的科学演示, 对影响其日常生活中的空气流体特性, 有更深更新的认识、应用及概念的改变, 并藉由调查是否会延伸应用的其他类似的案例上, 进而探讨大学生对科学学习认知与概念改变的学习历程与成效。

因此, 本研究问题聚焦于以下两点:

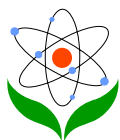
1. 同侪间的前置讨论(Pre-discussion)对学习新概念是否对学习新知有所帮助?
2. 对空气流体的特性与应用学习, 同侪讨论的延宕成效是否显著?

二、研究对象:

本研究以莅临科工馆从事暑假夏令营服务的实习与社会服务大学生为研究共计 114 名为对象与样本, 其中仅有 7 名的学生是理工学院背景, 有关训练课程主题空气动力学的概念, 这批志工学生多数(94%)属先备知识不足。114 名大学生依据所属学院分布状态, 如表一:

表一、调查样本之所属学院背景比例(单位: 人/%)

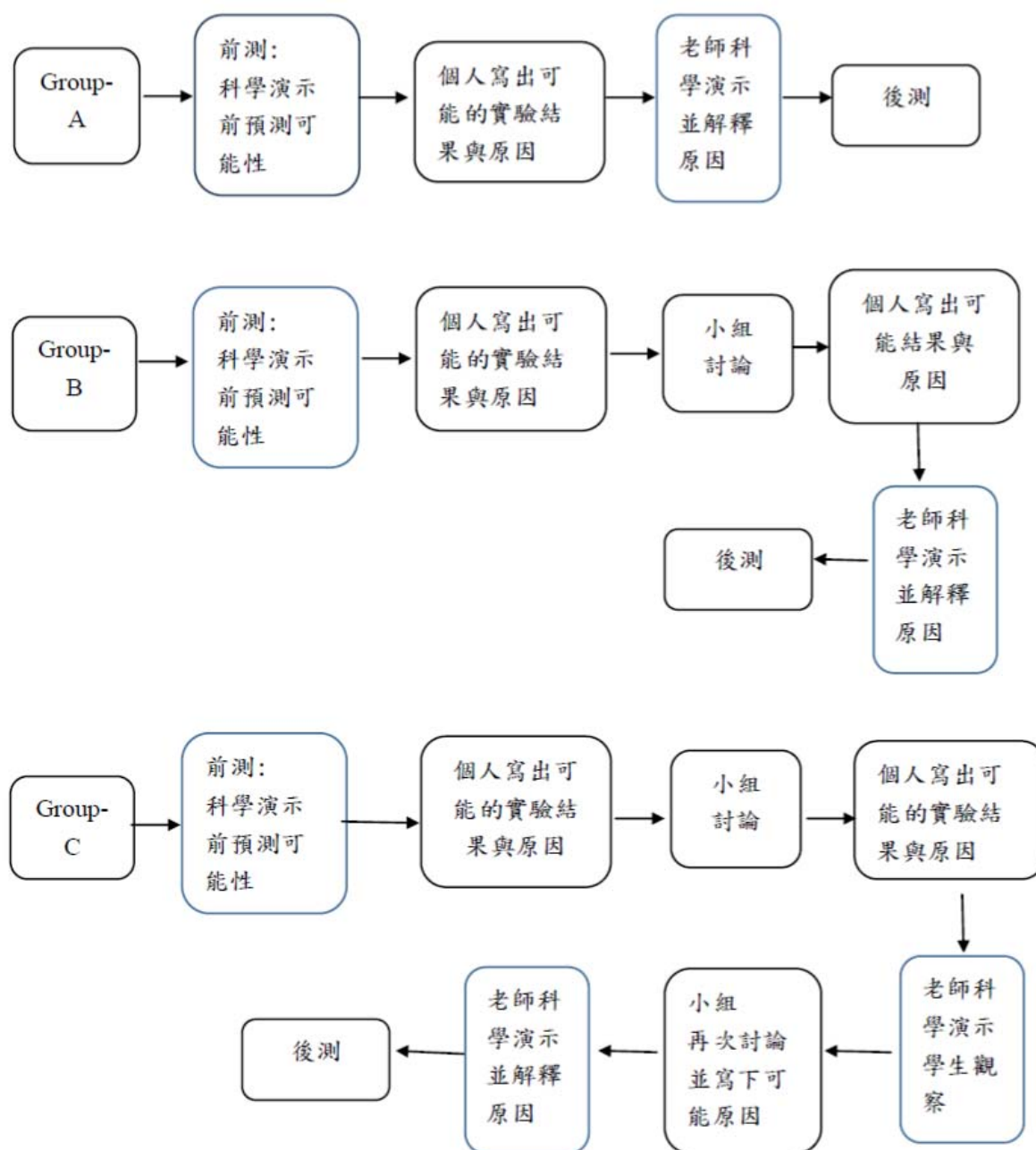
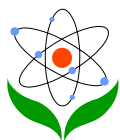
背景	工程学院	教育学院	文学院	商学院	设计学院
样本数	7 (6.14%)	3 (2.63%)	3 (2.63%)	6 (5.26%)	2 (1.75%)
背景	医学院	管理学院	法律	社会学院	艺术学院



样本数	1 (0.88%)	63 (55.26%)	0 (0%)	6 (5.26%)	2 (1.75%)
背景	农学院	其它	合计		
样本数	21 (18.42%)	0 (0%)	114 (100%)		

三、研究分组与实验设计

本研究为了解运用课前同侪团体讨论，是否对大学生在新概念学习上有所帮助，将学员随机分为三组(Group -A, Group-B & Group-C)，每一组的讨论的学习策略不同，并设计如下的实验设计操作流程，如图一：

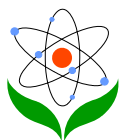


图一、分组操作流程图

教学策略采独立学习、独立学习-小组讨论，独立学习-小组讨论-小组再次讨论，并将样本随机分为三组: Group-A, Group -B and Group- C), 如下表二，并进行前测。

表二、教学策略与分组表

组别/样本人数	独立学习	独立学习-小组讨论	独立学习-小组讨论-小组再
---------	------	-----------	---------------

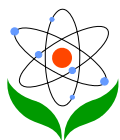


			次讨论
操作方式	1. 教师进行科学实验预演，但未呈现实验结果。 2. 学生各自独立学习，进行示范实验的臆测结果与解释原因。	1. 三人一小组，组内相互讨论臆测结果与解释原因，并统整出一个小组结论。 2. 小组成员写出个人讨论后的臆测结果与解释原因 3. 标示个人与小组是否有差异。	1. 教师呈现实验结果。 2. 小组成员再次解释为何会有如此的实验结果并解释产生这种结果的原因。 3. 3. 标示个人与小组是否有差异。
Group-A (N=29, 7 teams)	V		
Group -B (N=42, 12 teams)	V	V	
Group-C (N=43, 13 teams)	V	V	V

四、研究工具与资料分析

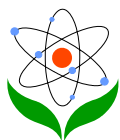
本研究为让非科学类组背景的大学生，生活周遭事物，能有亲身经验与体验的机会，经由动手做 (Hands-on) 的实验设计，采准实验研究法 (Quasi-experimental method)，设计数个与空气流体有关的实验，并经藉由开放式半结构问卷的前、后测设计，以测试前置讨论对学生学习科学新知的成效进行评量，前测采五种以空气流体中应用柏努利原理(Bernoulli's Principle)有关的科学演示实验，请学员臆测结果并解释原因，并进行统计单因子变异数分析 (One-Way ANOVA)；后测部分也是设计与空气流体中应用柏努利原理的实验，请学员解臆测结果并解释原因。

开放式质性问卷(题目卷详如附录)，问卷并经来自以色列的科教专家效度检定，其测量功能与目的，在前测上欲测验原有先备概念(pre-conception)及小组讨论是否获得概念改变；隔数日后，再次设计相同原理应用，但不同的实验方式，再进行仅有图示与无讨论的纸笔后测，测量其答题正确率。兹将问卷内容与各组填写的方式如表三，

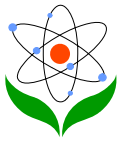


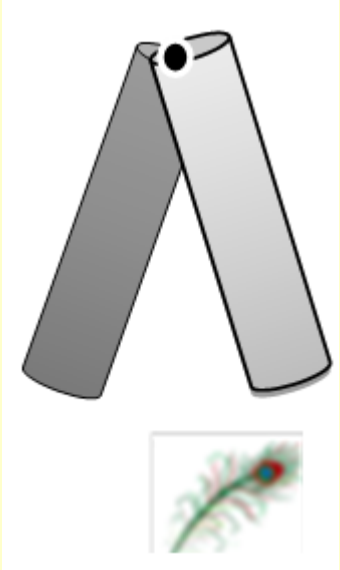
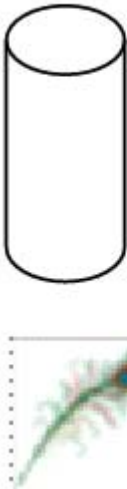
表三、大学生对空气流体特性之概念同侪前置讨论检测表

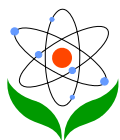
前测状况(Pre-test Situation, PS)与图示	各组前测题目	对应之后测状况(Post-Test Situation, PTS) 与图示	各组后测题目
PS1.在纸片上、下方分别吹气 (Blowing air below and above a page of paper)  	Group-A 个人臆测结果与原因 1.吹纸片下方 2.吹纸片上方	PTS1 如图示，在纸片上方吹气 	Group-A : 纸片会如何运动, 请解释原因
	Group-B 1.个人臆测结果与原因 2.小组讨论后知臆测结果与原因		Group-B : 纸片会如何运动, 请解释原因
	Group-C 1. 个人臆测结果与原因。 2. 小组讨论后知臆测结果与原因 3. 在观察实验结果后, 小组讨论并解释原因。		Group-C : 纸片会如何运动, 请解释原因
PS2. 在两纸片中间吹气 (Blowing air between two papers) 	Group-A 个人臆测结果与原因:	PTS2 与 PTS5 1. 在两纸片中间吹气 2. 在水中悬吊二金属球, 在两球中央处喷射一水柱	Group-A : 纸片会如何运动, 请解释原因
	Group-B 1. 个人臆测结果与原因 小组讨论后知臆测结果与原因		Group-B : 纸片会如何运动, 请解释原因 

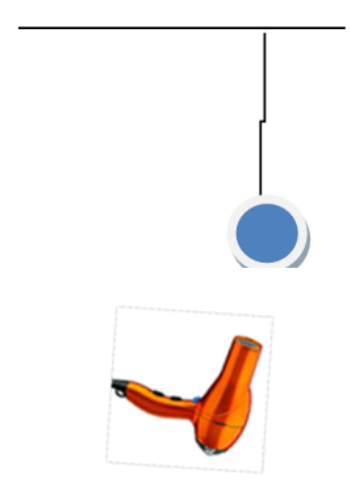
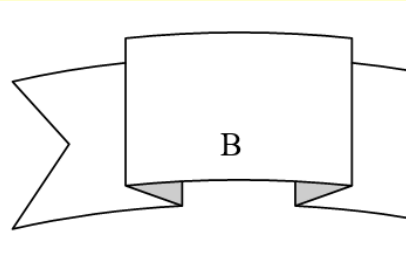


	Group-C 1. 个人臆测结果与原因 2. 小组讨论后知臆测结果与原因 3. 在观察实验结果后，小组讨论并解释原因		Group-C : 纸片会如何运动，请解释原因
PS3.使用吹风机吹球(Blowing air on ping-pong ball with a hair dryer?) 	Group-A 个人臆测结果与原因:	PTS3 使用吹风机吹球(Blowing air on ping-pong ball with a hair dryer?) 	Group-A : 球会如何运动，请解释原因
	Group-B 1. 个人臆测结果与原因 2. 小组讨论后知臆测结果与原因		Group-B : 球会如何运动，请解释原因
	Group-C 1. 个人臆测结果与原因 2. 小组讨论后知臆测结果与原因 3. 在观察实验结果后，小组讨论并解释原因		Group-C : 球会如何运动，请解释原因
PS4 摇摆中空管后，观察羽毛运动型况(A shaken tube and a feather) 手握上端，下动上不动	Group-A 个人臆测结果与原因:	PTS4 中空管下方放置羽毛，上方吹气	Group-A : 羽毛如何运动，请解释原因



 手握中间，上下皆动	Group-B 1. 个人臆测结果与原因 2. 小组讨论后知臆测结果与原因		Group-B : 羽毛会如何运动，请解释原因
 手握下端，上动下不动	Group-C 1. 个人臆测结果与原因 2. 小组讨论后知臆测结果与原因 3. 在观察实验结果后，小组讨论并解释原因		Group-C : 羽毛会如何运动，请解释原因

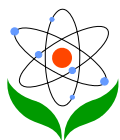


PS5 在悬吊的乒乓球侧边吹风 (Blowing wind on the side of hang ping-pong ball) 	Group-A 个人臆测 结果与原因:	PT5 将纸折成如图桥梁状 	怎么吹气才会使 B 点上下运动，至少写出两种方法
	Group-B 1. 个人臆测结果与原因 2. 小组讨论后知臆测结果与原因		怎么吹气才会使 B 点上下运动，至少写出两种方法
	Group-C 1. 个人臆测结果与原因 2. 小组讨论后知臆测结果与原因 3. 在观察实验结果后，小组讨论并解释原因		怎么吹气才会使 B 点上下运动，至少写出两种方法

待各组完成问卷给分标准(coding criteria) ， 如表四：

表四、开放式质性问卷给分标准

前测给分基准	臆测结果错误 解释原因错误	臆测结果错误 解释原因正确	臆测结果正确 解释原因错误	臆测结果正确 解释原因正确
前测得分	0	1	1	2
前测给分基准	臆测结果错误 解释错误	臆测结果错误 解释原因正确	臆测结果正确 解释错误	臆测结果正确 解释原因正确
后测得分	0	1	1	2



肆、结果与讨论

本研究经由前后、测的资料收集，依不同的实验项目(如表三)，参照表四的计分方式，就受测者的得分，进行初步的统计分析，结果如下表五至表九

表五、分别在纸片上、下方吹气

	个人臆测答对率(PS)-无小组讨论	第 1 次小组讨论答对率-无科学演示	第 2 次小组讨论原因答对率-科学演示后	后测-1 (PTS-1)
Group-A	0.59	-	-	1.80
Group-B	0.24	0.57		1.68
Group-C	0.28	0.37	1.12	1.66

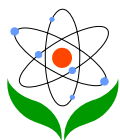
理论上，当在纸片下方吹气时，很自然地会吹到纸片，使纸片受到吹力往上飘扬。但当在纸片上方吹气时，依据柏努利原理，纸片会因空气在纸条上方流动所产生的压力，比纸片下方静止不动的空气要小一些，因此纸条会往上飘，但上飘后又因重力作用，纸条又会往下降，如吹气不间断，纸条就会上下飘动。

调查结果显示如下：

1. 第 1 组的前测个人臆测平均得分率由 0.59 分，增为后测之 1.80 分(增幅 205%)。
2. 第 2 组的前测个人臆测平均得分率由 0.24 分，但在第 1 次小组讨论后，平均得分增为 0.57 分(增幅 136%)；在后测变为 1.68 分(增幅 600%)，增幅比第 1 组大。
3. 第 3 组的前测个人臆测平均得分率由 0.28 分，在第 1 次小组讨论后，平均得分增为 0.37 分(增幅 32%)，增幅比第 2 组小；但观摩演示后第 2 次小组讨论，平均得分为 1.12(增幅 300%)，在后测变为 1.66 分(增幅 493%)；
4. 数据显示，小组讨论后得分有增加，且在全体均观摩过科学演示后，对于空气流体在纸片上方吹气的所产生的上、下压力差异，均能作正确地回答其产生的原因。

表六、在两纸片中间吹气

	个人臆测答对率(PS)-无小组讨论	第 1 次小组讨论答对率-无科学演示	第 2 次小组讨论原因答对率-科学演示后	后测-2 与 5 (PTS-2/ PTS-5)



Group-A	0.55			1.80/1.12
Group-B	0.38	0.60		1.68/1.03
Group-C	0.56	0.93	1.35	1.66/1.34

理论上，当在两纸纸片中间吹气时，两纸片中间会因空气流动所产生的压力，比两纸片外静止不动的空气要小一些，因此两纸片会相互吸引。

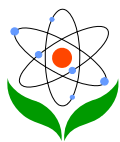
当在两纸片中间吹气时，加入后测的液体流体实验(PTS-5)，结果显示如下：

1. 第1组的前测个人臆测平均得分率由 0.55 分，增为后测之 1.80 分，与 1.12 分(增幅 227%，104%)，似乎学生认为空气流体与液体流体压力差不同。
2. 第2组的前测个人臆测平均得分率由 0.38 分，但在第1次小组讨论后，平均得分增为 0.60 分(增幅 58%)；在后测变为 1.68 分与 1.03 分(增幅 342% 与 171%)，增幅比第1组大，在认为空气流体与液体流体压力差异时，与第1组雷同。
3. 第3组的前测个人臆测平均得分率由 0.56 分，在第1次小组讨论后，平均得分增为 0.97 分(增幅 66%)，增幅比第2组稍大；但观摩演示后第2次小组讨论，平均得分为 1.35 分(增幅 141%)，在后测变为 1.66 分与 1.34 分(增幅 196% 与 139%)，在认为空气流体与液体流体压力差异时，与第1、2组雷同。
4. 数据显示，小组讨论后得分有增加，且在全体均观摩过科学演示后，均能体会并解释流体在两物中间穿过时，会使两物外侧与中间的压力差产生变化，且两物会相互吸引，唯在液体中的效果答对率较低。

表七、使用吹风机吹球

	个人臆测答对率(PS)-无小组讨论	第1次小组讨论答对率-无科学演示	第2次小组讨论原因答对率-科学演示后	后测-3 (PTS-3)
Group-A	0.45			1.44
Group-B	0.74	0.81		1.25
Group-C	0.84	0.74	0.86	1.54

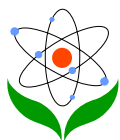
理论上，当空气碰到圆球曲面球体时，依据康达效应(Coanda Effect)，球面四周的空气会沿着球面由下往上运动并在球的上方会合，继续前进，此时在球上方放一纸条，即可清楚见到纸挑会往往飘动；此时球表面的空气速度流速



比球外静止的空气快，球四周外侧空气压力大，往球体四周挤压，使球不致于脱离空气运动轨道，即使将吹风机倾斜吹球，球也不会离开空气运动轨道，此时球所受到力的平衡，实时往上的风力与球本身的重量。

当使用吹风机吹球时，结果显示如下：

1. 第 1 组的前测个人臆测平均得分率由 0.45 分，增为后测之 1.44 分(增幅 99%)。
2. 第 2 组的前测个人臆测平均得分率由 0.74 分，但在第 1 次小组讨论后，平均得分增为 0.81 分(增幅 7%)；在后测变为 1.25 分(增幅 69%)，增幅比第 1 组小。
3. 第 3 组的前测个人臆测平均得分率由 0.84 分，在第 1 次小组讨论后，平均得分增为 0.74 分(降幅 12%)，原因值得探究；但观摩演示后第 2 次小组讨论，平均得分为 0.86(增幅 2%)；在后测变为 1.54 分(增幅 83%)，第 3 组的后测得平均得分比第 1、2 组较佳。
4. 数据显示，小组讨论后得分虽有增加，但增加幅度微小。



表八、摇摆中空管后，观察羽毛运动型况对照 中空管下方放置羽毛、上方吹气

	个人臆测答对率(PS)-无小组讨论	第 1 次小组讨论答对率-无科学演示	第 2 次小组讨论原因答对率-科学演示后	后测-3 (PTS-3)
Group-A	0.63			1.40
Group-B	0.83	0.88		1.10
Group-C	0.63	0.97	0.99	1.57

本摇摆中空管实验中，摇摆方式计有 3 种，分述如下：

A 型：手持中空管上端当轴，并带动管径下端左右运动

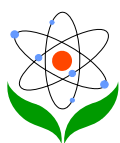
X 型：手持中空中段当轴，并带动管径上、下端左右运动

V 型：手持中空管下端当轴，并带动管径上端左右运动

理论上，当采用”A 型”摇动时，羽毛会在桌面上飘动，此时学习者总认为是游戏杆下端左右运动，驱使空气运动，带动羽毛飘动；但当采”X 型”摇动时，即使游戏杆下端左右运动，但羽毛却静止不动，足见驱动羽毛飘动的原因并不是左右运动的游戏杆；如果采用”V 型”摇动时，羽毛会沿着管径内侧由下往上运动，显见有一股力量驱使羽毛往上运动。经进一步探究，当管径上方空气因游戏杆摆动快速时，管径上的空气流速相对比管径下方快些，相对空气压力较小，驱使空气由下往上运动，带动羽毛往上飘动。

依上述三种方式运动，分别进行实验，并取其平均得分值，再将观察羽毛运动型况对照中空管下方放置羽毛、上方吹气，结果显示如下：

1. 第 1 组的前测个人臆测平均得分率由 0.63 分，变为后测之 1.40 分(增幅 122%)。
2. 第 2 组的前测个人臆测平均得分率由 0.83 分，但在第 1 次小组讨论后，平均得分变为 0.88 分(增幅 6%)；在后测变为 1.10 分(增幅 33%)。
3. 第 3 组的前测个人臆测平均得分率由 0.63 分，在第 1 次小组讨论后，平均得分增为 0.97 分(增幅 54%)；但观摩演示后第 2 次小组讨论，平均得分仍为 0.99(增幅 57%)，显示学生对空气流动产生压力差，会有基本的认知，但是如细看各种摇摆方式得分，对于「V 型」的摇摆方式所产生的吸羽毛结果，许多学生表示无法理解。
4. 数据显示，对于中空游戏杆产生的上、下压力差，学生很难理解，但在中空管上吹气时，仍会认知压力较小，会带动羽毛往上飞升。



表九、在悬吊的乒乓球侧边吹风对照纸折桥梁状

	个人臆测答对率(PS)-无小组讨论	第 1 次小组讨论答对率-无科学演示	第 2 次小组讨论原因答对率-科学演示后	后测-3 (PTS-3)
Group-A	0.41			0.96
Group-B	0.76	0.83		1.03
Group-C	0.74	0.56	1.00	0.83

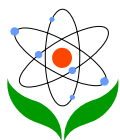
理论上，在球单边吹气，球应会往吹气方移动。

在悬吊的乒乓球侧边吹风对照纸折桥梁状，结果显示如下：

1. 第 1 组的前测个人臆测平均得分率由 0.41 分，增为后测之 0.96 分(增幅 134%)。
2. 第 2 组的前测个人臆测平均得分率由 0.76 分，但在第 1 次小组讨论后，平均得分增为 0.83 分(增幅 9%)；在后测变为 1.03 分(增幅 36%)。
3. 第 3 组的前测个人臆测平均得分率由 0.74 分，在第 1 次小组讨论后，平均得分增为 0.56 分(降幅 24%)，原因值得探究；但观摩演示后第 2 次小组讨论，平均得分为 1.00 分(增幅 35%)；在后测变为 0.83 分(增幅 12%)，第 3 组的后测得平均得分比第 1、2 组较差，原因也值得探讨。
4. 数据显示，小组讨论后得分虽有增加，但增加幅度微小。

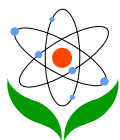
研究结果显示：

1. 三个随机分配编组的小组，对于前测时个人的无讨论时的臆测结果与解释原因，并无统计上的显著差异($F=1.823$, $P=.169 > .05$)，显见随机分组可信度高。
2. 从各小组的前、后测得分成长量来看，除了有关使用不同摇摆中空管方式，对纸片运动的实验项目，小组间差异性的统计显著水平较大($F=3.21$, $P<0.05$)，其他四个实验设计，小组间差异度统计显著水平不明显。
3. 个人的先备概念与小组成员不同时，个人会愿意投入讨论，倘被小组说服时，也会接受小组讨论结果。
4. 般大学科学通识课程有关柏努利原理的应用，学生间彼此无机会相互讨论，本实验研究设计中，发现即使学生无先备概念，就算被小组成员说服概念改变，也愿投入讨论。
5. 从学生前后、测的开放式问卷中，择几件样本观察，会发现学生的概念改变的历程，如表十



表十、学生概念改变的历程

组别	就读学院	前测状况	前测臆测结果与解释原因	后测状况	后测臆测结果与解释原因	改变的历程
A	艺术	PS1	吹纸下方，会会飞起来，因受力；出纸上方，纸不动，因无受力	PTS1	纸会往上飘扬	1. 眼见为凭，记忆与经验延宕难以连结。 2. 大自然里总存在一些莫名的奥妙，用感性的字眼比较容易接受。
A	工程	PS1	当吹纸上方时，纸会飘动，原因是吹气的气流随者纸片传至下方，所以力量较强。	PTS1	纸会往上飘扬	1. 会解释纸片上方压力比下方较小 2. 日常生活中，流动空气无所不在，穿风衣骑车时，风衣容易鼓起也是流动空气所产生的因果关系。
A	管理	PS3	球会往上直飞，因为风流是往上	PTS3	两球会相互吸引，因两球中间压力比两球外侧小。	1. 会解释流体速大压小的现象。 2. 喜用直觉观察并表现空气的运动。
B	文学	PS4	“V 型”上动下不动时，羽毛不会动，因无任外力作用	PTS4	羽毛沿管径上飘，因上端压力大	1. 无法说明上下压力差的原由。 2. 无法解释或理解较复杂的科学实验。 3. 空气压力的感觉太抽象。
B	文学	PS2	两纸不会动，因无任何力作用利在纸上；小组讨论后认为，纸会受力往外往上飞。	PTS2	纸会相互吸引，因纸外侧压力大于内侧	1. 会经由实验则归纳出纸的运动是受流体压力差。 2. 与日常生活的经验难以连结与解析。
B	社会	PS5	球不会动，因球体未受到风吹力；小组讨论后，以吹风机吹干头发经验，头发会飞扬，所以球会飞扬往外。	PTS5	在 B 点处上方与下方吹气，均会使 B 点上下运动	1. 会解析 B 点会动，除了直接受力外，当体速度改变时，也会影响其运动。 2. 相同的原理、不同的表征方式，学习者难以作连结。

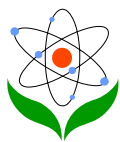


C	文学	PS1	1. 吹纸上方，未知纸会如何 2. 小组团讨后，认为纸会飞起来，但无法解释原因 3. 观察实验后，团讨认为是因为风行程气流，使纸飞起来	PTS1	吹纸上方，纸会往上飞扬，是因为纸上方空气流速快，压力小所致。	会观察并说出影响纸张运动的主要原因是压力
C	管理	PS5	1. 球会远离出风口 2. 第一次团讨后无共识 3. 科学演示后，第二次团讨，认为球会旋转、内转与公转，但未知原因。	PTS5	1. 吹 B 点下方会使 B 往下陷。 2. 吹 B 点上方，会使 B 往上飘扬	1.未明示吹 B 点时，由上往下吹会使 B 受力下陷，但如在 B 点上方横吹，如力气够大可能会使 B 点往上飘扬。 2. 误认为所有的空气流动总会产生压力差，原因在于无法探究力的作用方式与作用点。

伍、结论与建议

本准实验研究中，经由实验结果，可以归纳出下列数项结论：

1. 藉由几个空气流体的实验设计，前测平均得分(Group-A 至 Group-C)仅 0.58 分来看，非理工科背景学生对空气流体的特性与认知(如柏努力原理)仍很缺乏。
2. 无科学演示前，经由小组第 1 次讨论后，学生的前测平均得分(Group-B 及 Group-C)增为 0.72 分，显示透过课前讨论，对教学策略有正向的帮助。



3. 有科学演示后，小组第 2 次讨论，对科学现象的解释，前测平均得分为 1.06 分，显示有一半以上的学生能在观察科学演示后能精准地说出其中可能原因。
4. 无论是雷同实验或类似的科学原理应用，即使是非理工科学生，也可以大部份进行推理与应用。
5. 比较高层次且复杂的思考题，如中空管「V 型」摇摆方式与纸折桥梁状的空气流体实验，学生比较无法理解与解惑，表示影响其结果的原因并非单一作用力，此部份就不是一般非理工科学生可以想象与理解。由此也可以观察到，一般非理工科学学对空气流体的特性，仅能片面地认为是流动空气与不流动空气的压力差异，当导引至深层思考与探究时，即无法更精准地说明其因果关系。
6. 藉由科学演示与小组课前讨论，学生的后测平均得分达 1.37 分，可以有效提升学生学习成效。
7. 理工科背景学生对于相同的原理、不同的应用，比一般文学、管理学及设计学的学习者较强一些。在一个综合领域的日常生活动，同侪讨论与团队合作始能弥补彼此之不足。
8. 一般大学生对科学的探究能力不足，如在 PT5 将纸折成桥梁状实验中，误认为所有的空气流动总会产生压力差，原因在于无法探究力的作用方式与作用点。

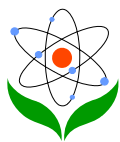
本研究结果呼应 Louis Pasture 的理论，学习者前置讨论(Pre-discussion)，使学生具有备妥心智(Prepared mind)，对学生学习有所帮助。亦显示小组同侪前置讨论某一主题，可以培养其对该学习主题的兴趣与热情，特别对初次学习的学生而言，效果有正向作用。

此外，实验中对于不同摇摆中空管方式，对纸片运动，小组间差异显著的可能原因，是影响纸条运动因素之一是流体因流速度同，产生压差，另一原因是当中空管上端摆动幅度较大时，其运动方式类似物体圆周运动(Circular Motion)，产生的离心力(Centrifugal force)也影响纸条的运动。

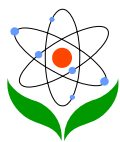
过去数十年，虽然概念改变的研究日益增加，但是通常只用单一观点研究，而后发现使用单一观点似乎没有办法完全解释复杂的情境，建议采用多面向的观点，才能增加复杂度，以便解释复杂的情境。利用多面向观点才能提供足够的架构，让研究者可以进行教与学的研究。

参考文献

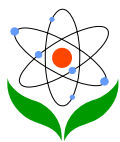
李玉贞（民 89）：《光学史融入教学对高中生科学本质观及光概念的改变之研究》。硕士论文，国立高雄师范大学科学教育研究所。



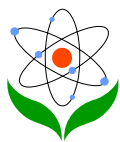
- 全中平(1994): 师范学院学生对学习物理力学概念之分析研究。国立台北师范学院学报, 7, 481~506。
- 任宗浩(2001): 心智模式动态变化之研究-物理现象的观察与诠释。科学教育月刊, 9(2), 147-168。
- 吴怡娴(2007): 跨年级学生气体心智模式演变历程之探究与分析。国立台湾师范大学科学教育研究所硕士论文(未出版)。
- 吴明珠(2008): 科学模型本质剖析: 认识论面向初探。科学教育月刊, 307, 2-8。
- 周金城(2008): 探究中学生对科学模型的分类与组成本质的理解。科学教育月刊, 306, 10-17。
- 林静雯与邱美虹(2008): 从认识/方法论之向度初探高中学生模型及建模历程之知识。科学教育月刊, 307, 9-14。
- 邱美虹(2000): 概念改变研究的省思与启示。科学教育月刊, 8(1), 1-34。
- 邱美虹(2007): 建模能力分析指标的应用-以电化学为例, 行政院国家科学委员会专题研究计划成果报告, NSC 95-2511-S-003-024-MY2。
- 邱美虹(2008): 模型与建模能力之理论架构。科学教育月刊, 306, 2-9。
- 邱美虹与林静雯(2002): 以多重模拟探究儿童电流心智模式之改变。科学教育, 10(2), 109-134。
- 黄文俊(民 83): 《国中生物物理压力迷思概念及概念改变教学可行性之研究》。硕士论文, 私立淡江大学教育资料科学研究所。
- 郭重吉、杨其安(1989): 利用临床晤谈探究国中学生对力学概念的另有架构。科学教育, 1, 37-59。
- 陈英娴(民 83)。不同学习模式对学生学习『月相盈亏』之影响, 国立台湾师范大学地球科学研究所硕士论文。
- 陈盈吉(2004): 探究动态模拟对于科学概念学习与概念改变历程之研究-以国二学生学习气体粒子概念为例。国立台湾师范大学科学教育研究所硕士论文(未出版)。
- 董正玲、郭重吉(1992): 探究小学儿童运动与力概念的另有架构。科学教育, 3, 93-121。
- 黄俊儒、杨文金(2000): 从同侪互动的观点讨论中学理化实验课之教学安排。物理教育, 4(1), 19-31。doi:10.6212/CPE.2000.0401.02。
- 刘新、林如悛、李秀玉、杨雯仙、张永达(2006): 小组合作学习的教学理念与实务, 台湾师范大学科学教育中心, 科学教育月刊, 294, 34-46。
- 陈彦廷、康木村、柳贤(2010)。同侪对话促进两位国中数学教师教学反思与专业成长。科学教育月刊, 18(4), 331-359。
- 陈信助、陈正治、刘嘉茹(2016)。运用概念改变教学策略对大学生在科学学习成效之探讨。载于台湾工程教育与管理学会(主编), 工程与科技教育学术研讨会论文集(99-118页)。台湾: 台湾工程教育与管理学会。doi:10.6571/CETE.2016.05.08
- Alles, D. L. (2005). The nature of evolution. *The American Biology Teacher*, 67(1), 7-10.
- Au, T. K. (1994). Developing an intuitive understanding of substance kinds. *Cognitive Psychology*, 27(1), 71-111.
- Caravita S., & Halldén, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change [special issue]. *Learning and Instruction*, 4, 89-111.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT press.
- Carey, S. (1986, April). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind* (pp. 257-291). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.



- Carey, S., & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 169-200). New York: Cambridge University Press.
- Chi, M. T., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H., & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanation sim-proves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction: The Journal of the European Association for search on Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074-1079.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E. (1982). A cusal model of students achievement in a college physics course. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 299-309.
- Chan, C. C., Tsui, M. S., & Chan, M. Y. C. (2002). Applying the structure of the observed learning outcomes (SOLO) taxonomy on students' learning outcomes: an empirical study. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 27(6).
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, (pp.129-186). University of Minnesota Press: Minneapolis, MN.
- Chi, M. T. H. & Roscoe, R.D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limon and L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp 3-27.
- Chi, M. T. H., Siler, S. A., & Jeong, H. (2004). Can tutors monitor students' understanding accurately? *Cognition and Instruction*, 22(3), 363-387.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
- Clark, D. B. (2006). Longitudinal conceptual change in students' understanding of thermal equilibrium: An examination of the process of conceptual restructuring. *Cognition and Instruction*, 24(4), 467-563.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism. In G. Glover, R. Ronning & C. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity, assessment, theory and research*. New York: Plenum.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Cobern, W. W. (1993). Contextual Constructivism: The Impact of Culture on the Learning and Teaching of Science, In K. Tobin (Ed.), *The Practice of Constructivism in Science Education*, (pp51-70). Washington, D. C.: AAAS Press.
- Cohen, G. (1983). *The psychology of cognition*. New York: Academic Press, Inc.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1987). *Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing, and mathematics*. In L. Resnick (Ed.), *Learning, knowing, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. University Press.



- diSessa, A. A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843-900.
- Dori, Y. J., & Belcher, J. (2007). Learning electromagnetism with visualizations and active learning. In J. K. Gilbert (Eds.), *Visualization in Science Education* (pp. 187-216). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphor in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R., & Glynn, S. (1996). Mental modeling. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp. 166-176). London: Falmer Press.
- Dykstra, D. I., Boyle, C. R., & Monarch, I. A. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science Education*, 76(6), 615-652.
- Eckstein, S. G., & Shemesh, M. (1989). Development of children's ideas on motion: Intuition vs. logical thinking. *International Journal of Science Education*, 11, 327-336.
- Fensham, P.J. & Kass, H. (1988). Inconsistent or discrepant events in science instruction. *Studies in Science Education*, 15, 1-16.
- Finegold M., & Gorsky, P. (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: A search for consistency. *International Journal of Science Education*, 13, 97-113.
- Finegold, M., & Grosky, P. (1988). Learning about forces: Simulating the outcomes of pupils' misconceptions. *Physics all Science*, 17, 251-261.
- Franco, C., de Barros, H. L., Colinviaux, D., Krapas, S., Queiroz, G., & Alves, F. (1999). From scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: relationships between theories, models, mental models and conceptions. *International Journal of Science Education*, 21(3), 277-291.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modeling. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 52-66).
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science education: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- Hewson, P. W., Zeichner, K. M., Tabachnick, B. R., Blomker, K. B., & Toolin, R. (1992). A conceptual change approach to science teacher education at the University Wisconsin-Madison. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Education Research Association*, San Francisco, CA.
- Howe, C. (1981). *Acquiring language in a conversational context*. London: Academic Press.
- Howe, C., Tolmie, A., & Mackenzie, M. (1995). Collaborative learning in physics: Some implications for computer design. In C. O'Malley (Ed.), *Computer-supported collaborative learning* (pp. 51-68). Berlin: Springer-Verlag.
- Howe, C. (2010). *Peer groups and children's development*. Oxford: Blackwell.
- Hestenes, D. (1995). Modeling software for learning and doing physics. In Bernardini, C., Tarsitani, C., & Vincentini, M. (Eds.), *Thinking physics for teaching*. (pp. 25-66.) New York: Plenum.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Kember, D., Jones, A., Loke, A., McKay, J., Sinclair, K., Tse, H., et al. (1999). Determining the level of reflective thinking from students' written journals using a coding scheme based on the work of Mezirow. *International Journal of Lifelong Education*, 18(1), 18-31.



- Klausmeier, H. J. (1974). *Conceptual Learning and Development*. New York Academic Press.
- Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions (2nd edition)*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of arguments*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Meheut, M. (2004). Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, 26(5), 605-618.
- Novak, J. D. (1988). Learning science and the science of learning. *Studies in Science Education*, 15, 77-101.
- Ohlsson, S. (1984). Induced strategy shifts in spatial reasoning. *Acta Psychologica*, 57, 46-67.
- Paul, T. (1992). *Conceptual Revolutions*. New Jersey: Longevity of the Council on Library Resources.
- Palincsar, A. S., & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1, 117-175.
- Pella, M. O. (1975). *Concept of concept*. University of Wisconsin-Madison Press.
- Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. New York: Basic Books.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Posner, G.J. & Strike, K. A. (1985). A Conceptual Change View of Learning and Understanding. In L. H. T. West & A.L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press, INC., pp.211-232.
- Rumelhard, D. E., & Norman, D. A. (1981). Accretion, tuning and restructuring: Three modes of learning. In R. Klatsky & J. W. Cotton (Eds.) *Semantic factor in cognition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Scott, P.H., Mortimer, E.F., & Aguiar, O.G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90, 605-631.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition & Instruction*, 23(2), 165-205.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & Joolingen, W. R. V. (2005). The Difficult Process of Scientific Modeling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modeling. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1695-1721.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Toulmin, S (1972). *Human understanding*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Wandersee, J.H. (1993). The declared research interests of NARST members: An analysis of the 1992 NARST "Directory of Members." *J.R.S.T.* 30, pp.319-320.
- Vosniadou S & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Education research*, 57, 51-67.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teacher's knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1154.
- Vygotsky, L. S. (1962). Development of science concepts in childhood. In E. Hanfman & G. Vakar (Eds), *Thought and Language* (pp. 82-118). Cambridge, MA: MIT Press.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.