

2017 年海峡两岸中小学「基于科技进步的教育革新」学术研讨会

扩增实境(Augmented Reality)于国中小微观粒子教学之开发与应用

吴文龙¹、徐俊龙²、唐尉天³

¹ 国家教育研究院课程及教学研究中心助理研究员

² 新北市立永和国民中学教师

³ 奇为有限公司工程师

摘要：台湾目前正值新一波课程改革，其中自然科学领域课纲(草案)为达成国中小的概念衔接，将部份微观粒子概念安排于第三学习阶段(五、六年级)。为响应教学现场的需求，本研究藉由扩增实境的新兴科技将抽象概念具体化，同时开发相对应的教学设计。虚拟现实(Virtual Reality, VR)与扩增实境(Augmented Reality, AR)为目前经常提到的实境模拟技术，VR 与 AR 最大的不同点在于空间的取代程度，AR 仍是在现实空间中显示虚拟效果，为本研究主要运用的技术，优点是能与教材内容直接连结。本研究之研究法采取无结构访谈法，访谈过程分两阶段，第一阶段为受访者自由说明开发历程中扮演的角色与相关回馈，第二阶段由研究者针对第一阶段之内容拟出大纲，以特定议题进行更深入的讨论。访谈对象为国中与小学教师各 1 名，系统开发工程师 1 名。本研究所开发之微观粒子扩增实境教学(Interactive Microscopic Augmented Reality, IMAR)包括物质三态之粒子运动模拟与三态变化过程模拟，已取得专利(吴文龙，2016)。IMAR 之特点为：(1)以 3D 仿真程序取代动画，用户可由各角度观察粒子运动 (2)特效与教学相互搭配，如粒子的颜色标示可以协助使用者观察粒子，又或粒子运动轨迹与屏幕截取可以提供共学时的讨论。本研究之研究结论如下：(1)扩增实境的建模历程需要经历反复修正的设计，且应与动手作活动应相互配合，以达成虚实互补的功能；(2)教学用的粒子模型与科学模型目的不同，更注重特效与教学方法的配合，增加软件与现场教学的关联性；(3)扩增实境应透过互动过程培养学生的多元表征，以及自主学习的能力，透过撷图等功能让学生可以分享和讨论学习内容，呼应课纲中沟通互动的理念。

关键词：扩增实境、微观粒子教学、国中小阶段、自然科学领域课程纲要

前言

根据十二年国民基本教育自然科学领域课程纲要草案(国教院, 2017), 本次领纲内容为衔接七年级生物的营养成份与扩散作用, 将部份微观粒子概念移第三学习阶段(五、六年级), 包括物质由微观粒子组成及运动。因此本研究针对微观粒子开发一系列扩增实境(Augmented Reality, AR)的内容, 将原先抽象的概念以具体的粒子模型呈现, 以利课纲实施后的教学需要。

本研究在开发扩增实境的过程中已累积许多开发的经验, 可针对此类开发新兴科技融入教学之历程提供相关建议。在本研究中主要运用的科技为扩增实境, 此扩增实境教学软件名称为交互式微观扩增实境 (Interactive Microscopic Augmented Reality, IMAR)。在计划中, 增进扩增实境与使用者的互动性为最重要目标, 不同传统上一个目标图仅能对应单一 AR 内容, IMAR 可依用户先后扫描的图片, 可以出现不同三态变化现象的扩增实境, 此部份已取得新型专利(吴文龙, 2016)。最后, 本研究透过自然科学相关教师与资讯工程人员之合作开发历程, 了解不同专业背景人员对于扩增实境教学开发的需求与困难, 提供未来运用科技融入教学的引导与建议。

综合上述, 本研究之研究目的如下:

- (一)藉由开发微观粒子概念扩增实境教学(IMAR)之历程, 了解研发团队对于开发新兴科技融入教材与教学之多元观点。
- (二)以本研究开发之微观粒子概念扩增实境教学为例, 探讨扩增实境教学的开发重点与应用。

文献探讨

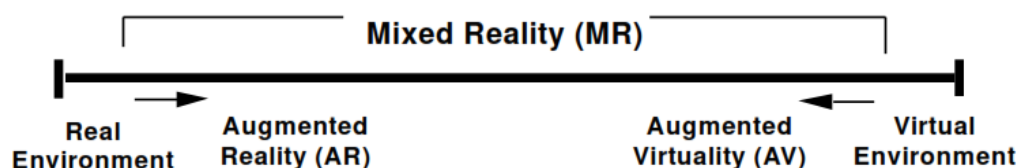
随十二年国民基本教育课程纲要的研修工作进行, 自然科学领域纲要(以下简称自然领纲)也在总纲发布后开始研修, 本次课程改革的重点之一为各教育阶段的连贯统整。以自然领纲为例, 研修范围由三至十二年级跨越小学阶段、国中阶段及高中阶段三个教育阶段。经研究者分析后发现本次国中小阶段最大的差异在于「粒子概念」、「细胞概念」与「能量的形式与转换」三大项概念, 过去在小学阶段无抽象的粒子概念, 限制于能具体观察与操作的概念, 但在本次为衔接国中小的学习内容, 领纲研修小组(国教院, 2017)将部份微观粒子概念移至小学第三学习阶段(五、六年级), 其条目内容为:

「Ia-III-1 物质是由微小的粒子所组成, 而且粒子不断的运动。」

可知, 小学阶段的内容主要为物质组成与粒子运动, 但粒子本身为抽象的概念, 对于小学阶段学生需要提供更具体可观察的学习素材。因此本研究透过扩增实境(AR)开发相对应的教学, 发挥 AR 的长处并且将虚实的内容整合, 提供教学用的粒子运动科学模型。

扩增实境(AR)与虚拟现实(VR)为台湾的翻译名词, 在中国相对应的翻译名词为增强现实与虚拟现实, 两岸间翻译名词不同, 但所代表的技术相同。Milgram,

Takemura , Utsumi and Kishino (1994)采用光谱的方式说明 VR 与 AR 模拟的技术,如图一。



图一 真实到虚拟环境的连续区

由图一可看出愈向左边就愈接近真实环境,而愈向右边则愈接近虚拟的环境。扩增实境较靠近左边,也就是在真实环境中增加虚拟对象,而在虚拟现实,使用者可以完全忽略所处的真实环境,因此较靠近右边的虚拟环境。从虚拟现实到扩增实境,最大的共同点在于提供使用者身历其境(immersive environment)的感受。本研究虽然是扩增实境教学,但透过技术的引入与变化,也能提供多角度的观察来达成提供学生沉浸性的环境。

蔡苏、王沛文、杨阳、刘恩睿(2017)提出扩增实境教学的特点与功能有五项:(一)将抽象的学习内容可视化、形象化;(二)支持泛在环境下的情境式学习;(三)提升学习者的存在感、直觉与专注度;(四)使用自然的方式交互学习对象;(五)把正式学习与非正式学习相结合。藉由上述特点可知 AR 有助于抽象概念具体化,以及能在虚实整合下,有效促进学生理解不可直接观察的科学现象。

化学学科中涉及大量无法直接观察到的内容,因此在教学上可以用扩增实境的方式呈现化学物质立体结构与平面图片,并进行虚拟整合,同时强化学生的学习兴趣以及对微观结构的理解。此外,提供理想化的科学实验环境也是 AR 重要的功能之一,Cai, Wang and Chiang(2014)指出 AR 最常被应用在两个情境:其一,当现象无法准确地现实中被模拟,如太阳系星球大小与距离的真实比例模拟;其二,当真实实验会有明显缺点时,如凸透镜聚焦实验时所使用的烛火,在实务上可能会造成火灾的危险。因此,扩增实境可以在这方面提供合适的教学支持。由上述可知,化学抽象概念的困难点在于微观概念本身与学习兴趣低,AR 教学的特点可针对上述的困难提供合适与标准环境的解决方案。

在教育研究方面, Sommerauer and Müller(2014)比较 2006 至 2014 年间 7 个 AR 教育学实证研究后,认为目前主要研究场域为教室,并且多以知识获得与学业表现为变项,但研究结果不完全都能达到显著差异,此部份可能与信息化教学的限制有关。此外,控制组多以纸本式、多媒体、游戏等进行,可知目前教育研究的方向就是希望找出与一般多媒体教学的差异,进而强化扩增实境的应用优势。在台湾的研究中,针对扩增实境应用于教学现场(如图书馆教育,陈志铭、蔡雁农,2013),主要是提高学生对学习的吸引力,提升学生的学习专注力与学习动机。本研究立基在过去已有的研究基础,不只针对提高学生的学习兴趣,更进一步从抽象概念本身的特性出发,开发出会影响到概念学习的虚实整合教学平台。

Wu, Lee, Chang and Liang(2013)认为扩增实境对于各领域研究者来说有许多不同的意义,提出将扩充实境视为一种概念,而非单指一种新兴科技,如此对教育学者、研究者及设计者能有更具生产力的结果。Craig(2013)以解决问题为前提而提出 10 个可行的步骤,分别为确认问题、确定是否有其他的解决方案、确定扩增实境是否有助于解决问题、设计扩增实境应用软件、实行扩增实境应用软件、测试扩增实境应用软件、评估扩增实境对问题的贡献、修正设计和应用软件、再测试已修正之应用软件、反复地循环修正而达到优化。本研究的研发历程参考教育现场的需求开发,而不单只是应用新兴科技到教育上,配合教育现场的需求可使开发成果更具有生产力;此外,扩增实境教学的开发也是不断修正与应用的过程,评估产品是否具有解决现场问题也会是扩增实境能否大规模推广的重要关键。

研究方法



本研究之研究法采取无结构访谈法,访谈过程分两阶段,第一阶段为受访者自由说明开发历程中扮演的角色与相关回馈,第二阶段由研究者针对第一阶段之内容拟出大纲,以特定议题进行更深入的讨论。访谈对象为国中与小学教师各 1 名,系统开发工程师 1 名。访谈主要目的为了解开发扩增实境教学时,研究合作教师与系统开发工程师之开发历程、成果及困难点。访谈稿编号第一码为访谈对象,系统工程师为 E,小学教师 T1,国中教师 T2;第二码为第一阶段或第二阶段,而如为第一阶段访谈编码为 1,第二阶段为 2。

研究成果-IMAR 系统介绍


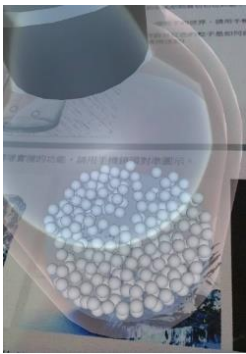
根据本研究需求,使用者必需能从各个角度观看观增实境,且能拉近观察细节,因此一般粒子动画与影像无法满足研发的要求,为此本研究改采实时性的 3D 仿真程序。简单来说,扩增实境的内容并非事先录制,而是行动装置在扫描到图片后实时运算每一颗粒子的运动状况与碰撞。可知每次扩增实境的模拟都不同,也符合粒子的随机运动。

其次,本计划之固体、液体、气体的 3D 仿真程序共享相同仿真程序,此点为本计划的重大突破。例如,固体的粒子原地振动,液体粒子速率较慢且集中于容器下方,气体粒子速率最快且散布在容器内,都可透过参数的调整来改变粒子运动的情形与位置,并且能依据行动装置的效能变化粒子数量。最后,共享程序最大的优点就是能依使用者的操作历程,AR 可以逐步转换模拟另一种状态粒子,也就能达成本计划模拟三态物质转变的目标。将 IMAR 的内容分述如下:


(一)固体微观粒子运动 3D 程序仿真

AR 目标图	AR 程序仿真	开发重点
		<ul style="list-style-type: none"> ● 固体微观粒子有固定位置且原地振动。 ● 可拉近观察粒子原地振动。




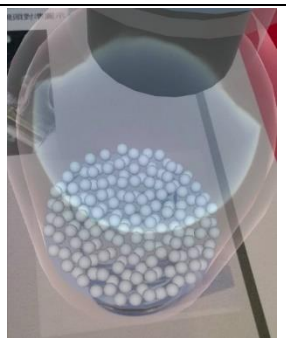
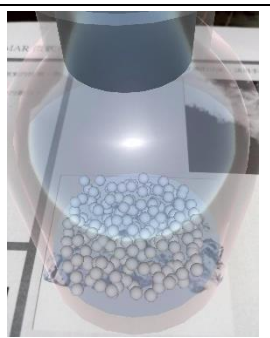
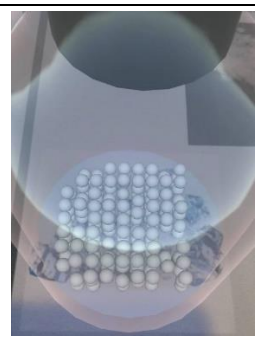
(二)液体微观粒子运动 3D 程序仿真

AR 目标图	AR 程序仿真	开发重点
		<ul style="list-style-type: none"> ● 液体粒子速率较慢且集中于容器下方。 ● 可拉近观察粒子运动且进入瓶子内观察。




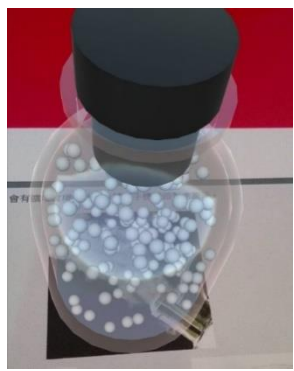
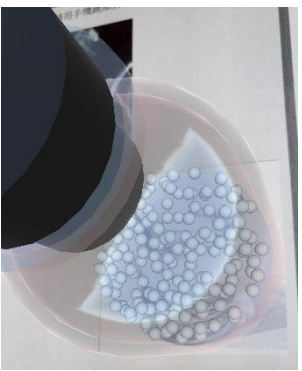
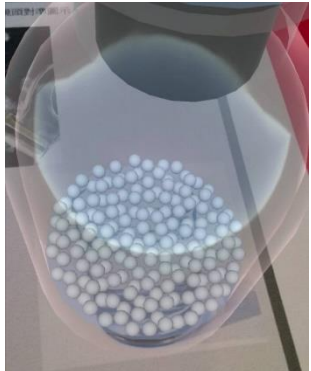
(三)气体微观粒子运动 3D 程序仿真

AR 目标图	AR 程序仿真	开发重点
		<ul style="list-style-type: none"> ● 气体粒子速率最快且散布在容器内。 ● 可拉近观察粒子运动且进入瓶子内观察。





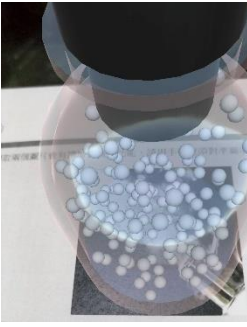
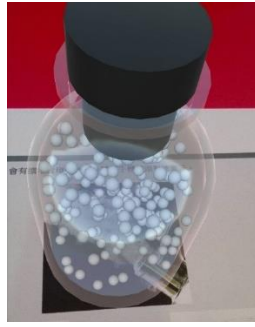
(四)融化-凝固现象交互式 3D 程序仿真

	原状态	变化过程	变化完成
AR 目 标 图			
AR 程 序 仿 真			
开 发 重 点	<ul style="list-style-type: none"> ● 用户先于液体图片上显示液态粒子的扩增实境内容，再移至固体图片上，粒子运动速度变慢，且逐渐变为原地振动，此为模拟凝固现象。反之，如果先扫描固体图片再扫描液体图片，则仿真融化现象。 ● 追踪标示、撷图等的功能于三态变化历程时亦可以使用。 		

(6)凝结-蒸发现象交互式 3D 程序仿真

	原状态	变化过程	变化完成
AR 目 标 图			
AR 程 序 仿 真			
开 发 重 点	<ul style="list-style-type: none"> ● 用户先于气体图片显示气态粒子的扩增实境内容，再移至液体图片上，粒子运动速度变慢，且逐渐凝聚于容器下方，但仍粒子仍可以自由运动，此为模拟凝结现象。反之，如果先扫描液体再扫描气体，则仿真蒸发现象。 ● 追踪标示、撷图等的功能于三态变化历程时亦可以使用。 		

(7)凝华-升华现象交互式 3D 程序仿真

	原状态	变化过程	变化完成
AR 目标 图			
AR 程序 仿真			
开发 重点	<ul style="list-style-type: none"> ● 用户先于固体图片上显示固态粒子的扩增实境内容，再移至气体图片上，粒子运动速度变快，从原地振动直接变为自由运动，且逐渐分布在容器内，此为模拟升华现象。反之，如果先扫描气体图片再扫描固体图片，则仿真凝华现象。 ● 追踪标示、撷图等的功能于三态变化历程时亦可以使用。 		

研究结果与结论

本研究之 IMAR 为结合虚拟对象到现实环境的应用技术，用户可透过行动装置在教学媒材上呈现扩增实境效果，再依不同先后顺序堆栈的扫描次序，显示特定的虚拟场景与对象，进而出现不同的学习内容。上述功能，可以增加用户自行探究学习内容的自学机会，以及提供同侪沟通互学的平台。透过与本研究之合作教师与系统工程师的访谈，本研究提出开发 AR 教学时团队成员之多元观点与建议，分述如下：

(一)微观粒子扩增实境之建模历程

首先，IMAR 开发团队的专业沟通方面，系统开发工程师与合作教师的专业背景不同，在本研究中发现到建立粒子模型需要花费相当多的时间进行沟通，逐步达成科学模型的建模与教学应用。

「老师的自然科学概念比较多，他们对这个概念具体化、实体化地显示这个模型，这个是老师们的专业，这方面我就是照老师们的建议修改(访谈编号：E-1)。」

「在老师们还没有看到这些应用程序出来 demo 的这个状况的时候，他们没有用过，他们没有看到，他们不会想到这些事情，不会有新的想法。但是，直到他们看到的时候，好像有蛮多建议跟想法出来。他有更多的想法。所以，这个互相交流也是蛮不错的(访谈编号：E-1)。」

「过去在教书的时候比较属于使用教学资源或使用教学工具，没有什么机会去接触开发的过程，所以这次我在参与这个计划、和工程师讨论的时候，看到工

师在因应教学的需要做一些开发，原来这以这样子做。然后每一次有多一点点东西，再新加一点东西的时候就可以开始加到教学上的使用(访谈编号：T2-1)。」

工程师在开发程中主要以教师的意见为主，逐次修改扩增实境的内容，而且教师也会因为看到扩增实境而产生新的教学方式，两者间为双向互动的过程。与Craig(2013)的开发模式相同，本研究之工程师依程序设计逻辑所开发的粒子运动模拟，经过与合作教师多次讨论与修正后才逐渐符合科学模型或教学模型，过程中也能评估产品是否能符合现场的教育需求，上述都是开发教学系统时必经的磨合阶段。

其次，对于合作教师来说，开发扩增实境的粒子模型也是教师重新审视自己原先科学概念的过程。

「在开发过程中会让我自己的科学模型概念更清楚，因为在讨论研发过程中，会比较深入了解整个粒子模型运作(访谈编号：T1-1)。」

「沟通的过程是在相互影响，理想的学科概念和现象可能应该要怎么样被呈现的时候，就会跟工程师讨论，但工程师有时候会提出有困难度，就会需要回去再想一下。工程师配合我们教学需要去调整后，有很多状态的转换已经符合我们认知的科学现象应有的历程(访谈编号：T2-1)。」

合作教师对于建模的过程提出许多的意见，但是很多状况下，工程师并无法将程序模式的结果完全符合教师的需求，因此，扩增实境的粒子模型也会有教学上的限制，这方面需要由教学内容来补充。

最后，因应教学的需求，研发团队会以不同的特效来呈现粒子模型的运动或特征，此部份并非要符合科学模型，而是以教学效能为出发点。

「粒子原地震动的部份，不会快到看得不明显，这部份有作过微调。在气体粒子的部份，要呈现空间内气体粒子是可以很自由一直占满那个空间的移动，后来才设限在特定的空间(瓶子)。粒子追踪的功能比较容易引导学生聚焦，观察到粒子和粒子一直会移动(访谈编号：T2-1)。」

本计划开发的粒子运动模型原先是限制在特定范围，但为更符合现实情况，将粒子运动范围改限于虚拟的瓶子内；而为有利于观察，新增一项将粒子上色的功能，并且留下行进的轨迹，上述的两项特效都不是让扩增实境更符合科学模型，而是要配合教学的需求。蔡苏等人(2017)指出扩增实境具有提供学习者直觉观察与专注度的功能，本研究为达成此项功能而改变科学模型。以研究者的观点来看，扩增实境的模拟不应只是符合科学模型，对于教师与学习者的便利性也是要考虑的一点，才能达成具有生产力的AR教学。

(二)扩增实境教学开发的困难与突破

首先，在目标图的辨识方面，本研究受限于扩增实境技术的发展，并无法将原先课本内的图片直接作为辨识的目标图。

「因为辨识的原理并不是所有的图片都足以作为目标图，特别在图片是logo而辨识度不高，这部份并不是写程序就可以解决(访谈编号：E-1)。」

以辨识技术的限制来看,有些图片的复杂度不足而无法作为扩增实境的目标图,且无法透过程序来进行修正,本研究为因应此限制,需由工程师设计目标图,如固体、液体、气体的图片,透过增加图型复杂度来完成辨识的功能。

其次,扩增实境软件开发的困难包括「三态物质共享程序」与「版本更新」两大项。三态物质共享程序为 IMAR 的重要特色,也使得三态变化历程可以透过参数的变化来达成。

「三态物质共享程度开发的过程中,想到一个通用的方法难度较高,以碰撞来说,固体不能开碰撞侦测以防止弹开,但气体和液体又有需要。在参数化后也有很多优点,可以直接输入然后再来产生这个模拟的画面,也有助于减少手机程序仿真的负担。而在困难点方面,其中任一状态出现 bug 的修正,都会影响到其他两种状态(访谈编号:E-1)。」

本计划的工程师于计划初期为固体、液体、气体的粒子运动分别建立不同的程序,但后来为方便微调三态变化的运动情况与三态变化的模拟,开发出三态物质的共享程序,让 IMAR 变为参数化的模拟。Crag(2013)指出软件开发与设计会经历修正与再测试,进而达成优化。为使 IMAR 有效运作而开发共同程序,这也是本计划最重要的突破。最后,工程师另外指出未来还会有软件开发使用套件和手机操作系统的更新问题,每次发布更新后,都必需对软件同步修正,才能确保 IMAR 持续完整功能。

(三)专业背景在研发过程的角色

本研究共有两位自然科学专长的合作教师,因此对于粒子的科学模型有科学上与教学上的不同需求,在程序仿真的限制下开发适合现场教学的扩增实境内容。

「因为团队会用不同的角度在看一个东西,每个人看法不同,但我觉得工程师还蛮配合教学需求的,但还没特别沟通前大家的想象都是不太一样的(访谈编号:T2-1)。」

「我发现要把一个微观的东西、科学的模型建立起来是蛮不容易的,一方面也要克服软件程序设计的一些限制,所以有时候我觉得他(工程师)设计出来的东西,可能因为程序限制,所以没有办法完全符合我们的想象,建立起来的模型还是会有一些局限存在,就没有办法百分之百呈现出来(访谈编号:T1-1)。」

「在过程当中,有时候工程师做到不是很符合我们教学认知的时候,其实我会想到学生也有可能是这么想的,学生也有某些迷思概念,这就是一般学生有可能会遇到的状况(访谈编号:T2-1)。」

在开发过程中,两位合作教师皆能了解到计划中团队各自扮演的角色,以及工程师对对粒子相关概念的认知不足,建立良好的合作及沟通模式有助于开发此类扩增实境的效率。

此外,工程师着重于粒子运动的模拟,而合作教师更进一步会注意到巨观和微观的连结,促进学生理解扩增实境内容能用来解释日常自然现象。

「学的东西就是要有具体的东西。如果我们做完实验以后有一个类似图片的东西说：『这个就是结霜』。然后结霜的某个区块去放大，就是所谓微观的水分子凝固的部分，这比较能把 AR 和课本上的东西做连结，这样比我们自己讲放大之后就是这个样子更清楚(访谈编号：T1-1)。」

「困难的部份在于连结学生巨观观察经验和 AR 观察的经验，毕竟我们给学生看到内容也是一种想象，只是我们把它具体化呈现。我在写教案时一直在想办法让学生可以接受微观粒子有这样的特性，跟我们巨观观察是不谋而合的，或是某些部份我们是用粒子的角度去解释。实验是用巨观的去做，但口头解释的时候是用微观的粒子去解释(访谈编号：T2-1)。」

合作教师对于促进学生理解粒子模型有两项不同的教学方法，其一为巨观现象与微观模拟直接相对应；其二为使用微观粒子特性或粒子角度去解释现象。两项的教学方式分别在教案中使用，以图片迭加扩增实境可以实现巨观和微观的连结，Cai 等人(2014)指出提供理想化的实验环境为扩增实境的重要功能，其中准确仿真粒子运动为 IMAR 的目标，透过观察微观粒子特性有助于学生理解微观粒子的运动或状态，再用到解释科学现象上。

(四)教学用粒子模型的限制

AR 建模的成果仍会受到技术的限制，而无法完全达成科学模型的表征，以下以合作教师举例说明相关的限制。

「物质状态改变的时候，就会有粒子的特性突然改变的现象，那有一个部分是有点不太合乎我们学的认知，因为同一个状态下，粒子的能量变多就是温度提高的时候，就是粒子的特性会有一些改变，特别是针对切断式的物体状态改变，同一个状态还是会有些微的不同。我自己觉得这个是不容易做得出来，因此就必须要对学生做一些解释(访谈编号：T2-1)。」

「如何表达粒子间吸引力这件事也很困难。因为现在以我们人的角度去看它是很微观，那如果把我们放到宇宙的时候，我们人也相当一个小粒子，一个星球也是一个小粒子，那怎么呈现之间有吸引力，这件事情有点困难(访谈编号：T2-1)。」

「小学有教到为什么会形成三态的变化，这是取决于它的温度，升温和降温，所以这样才会有凝固、凝结这样的现象存在，这个软件比较没有办法呈现出温度的概念(访谈编号：T1-1)。」

合作教师对于扩增实境内容提出的限制，其中一项为对科学现象简化后会发生状态，如相同状态在不同温度下应该还是会有差异，研究者对于三态变化时的动态平衡亦提出仿真不足的看法，但限于程序设计与非关教学主轴的理由，并未在此次开发中实现。此外，吸引力也是本次模拟时不易表现的项目，对于三态变化时速率(动能)与粒子间距离的关系来说，合作教师只能以教学说明来补足。最后，关于扩增实境是否应提供更多信息方面，如温度、压力等等，可待后续研究的结果，提供开发时新增功能的实证证据。

(五)扩增实境与过去教学的差别

扩增实境最大的优点之一就是具体化原先不可见或想象的内容，特别在化学学习上，如分子结构、微观粒子运动等等。而过去的微观粒子教学多数会以图片或影片的方式来补充学生的抽象思考，扩增实境可以再多提供学生由不同观察角度，且可以随时观察与聚焦在各个位置。

「优点就是它可以让那些微观、抽象的东西比较具体化，然后把它呈现在影像里面，它会帮助小孩子去思考那些现象，然后也比较能有一个具体的、可以去解释这样(访谈编号：T1-1)。』

「AR 和过去教学的差别在于互动性。影片播了就过去了，影片虽然可以用暂停的方式，但影片是一起看的，用 AR 去反复看有疑问的地方来说，AR 的操作性是比较好的。影片是比较单向的，AR 要操作和看什么是决定在学生手上，互动性比较高。另外一方面，如果回家小孩可以透过去扫这些东西，继续学习，等于他的学习方式类似翻转，不是只有在学校这样子学，可以比较有一些主动学习的成分存在，对于有疑问的部分可以主动去了解(访谈编号：T1-1)。』

互动性为本研究最重要的目标，除了具体化抽象概念外，透过扩增实境的各种特效来促进有效学习。且本次课程纲要重视自主学习，IMAR 可以提供学生课前、中、后的不同学习，并且透过撷图让学生可以分享和讨论学习内容，呼应沟通互动的课纲精神。

接续上述访谈结果，本研究归纳出五点特色与 AR 教学的重要性，并做为本研究之结论，分述如下：

- (一) **3D 仿真程序**：本计划之 AR 粒子运动为实时性演算，因此使用者每次观察的内容都不相同，符合粒子随机运动的特性。从多角度观察也达成沉浸性环境的目标。
- (二) **三态物质微观构造共享仿真程序**：三态物质的 3D 仿真共享程序，只需要改变参数就可以改变 AR 模拟的内容，有助于微调粒子模型的表现，以求更符合科学模型与教学需求。此外，本计划也需要透过共享仿真程序的参数改变，才能达成物质三态变化历程的模拟。
- (三) **交互式扩增实境模拟**：本计划为达成 AR 与使用者的互动性，以「交互式 3D 程序仿真」的方式，让用户可以自行扫描二个以上的图片来探索不同的 AR 内容，依扫描先后堆栈出现不同的 AR，打破以往一个目标图对应一个 AR 内容的限制。
- (四) **扩增实境特效配合教学法**：本计划之 AR 特效为与现场教师讨论后才进行开发，以粒子追踪标示红色与轨迹为例，教师认为学生不易同时观察多颗粒子，因此标示颜色有助于学生观察粒子与粒子碰撞，而轨迹功能更可以让学生了解不同物质状态下粒子运动时的空间。最后，再透过撷图的功能可以让学生记录学习的过程，并且与同学讨论。
- (五) **实验操作与扩增实境内容相互搭配**：本计划除开发 AR 的粒子模拟外，合作教师同时开发相对应的教学。因此，为达成虚实相辅，本计划的各项 AR 内

容都可以有实验操作，以三态变化之升华为例，教学上会搭配干冰升华的实验，提供未来推广时的教学参考。

研究展望

本研究之 AR 采用 3D 程序仿真而非 3D 绘图，让 AR 的多角度与粒子运动范围的内部观察变为可能，打破过去传统上认为虚拟现实与扩增实境的界线，以虚拟现实的空间取代程度来说，本计划之 IMAR 在手机屏幕上亦可达到类似的效果。在 IMAR 中，更接近 Milgram 等人(1994)虚拟光谱中的虚拟环境，用户透过行动装置的镜头角度可以看到全方位的粒子运动状态与轨迹，相关开发经验有助于未来增加扩增实境的身历其境(immersive environment)成效。

志谢

本研究感谢科技部科学教育实作学门之经费支持与研究合作教师吴盈妮教师的共同开发，科技部计划编号：106-2511-S-656 -001 -。

参考文献

- Cai, S., Wang X., & Chiang, F. K. (2014). A Case Study of Augmented Reality Simulation System Application in a Chemistry Course. *Computers in Human Behavior*, 37(8), 31-40.
- Craig, A. (2013). *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications*. Waltham, MA: Morgan Kaufman/Elsevier.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995, December). *Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*. In *Photonics for industrial applications* (pp. 282-292). International Society for Optics and Photonics.
- Sommerauer P, Müller O (2014) Augmented reality in informal learning environments: a field experiment in a mathematics exhibition. *Computer Education*, 79, 59-68.
- Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49.
- 吴文龙 (2016)。扩增实境互动学习系统。2016 年 3 月 21 日取得中华民国智慧财产局新型专利，证书号数：M519301。
- 陈志铭、蔡雁农(2013)。交互式扩增实境系统支持小学图书馆利用教育。台北市立图书馆馆讯，V.30(3)，页 30-49。
- 国家教育研究院(2017)。十二年国民基本教育自然科学领域课程纲要(草案)。在线下载：
http://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/90/pta_10118_2261414_00571.pdf。
检索日期：2017/10/21。
- 蔡苏、王沛文、杨阳、刘恩睿(2017)。增强现实(AR)在教学中的应用案例评述。中国电化教育，V.362，页 1-30。