當藝術遇見化學

楊水平

國立彰化師範大學化學系
yangsp@cc.ncue.edu.tw

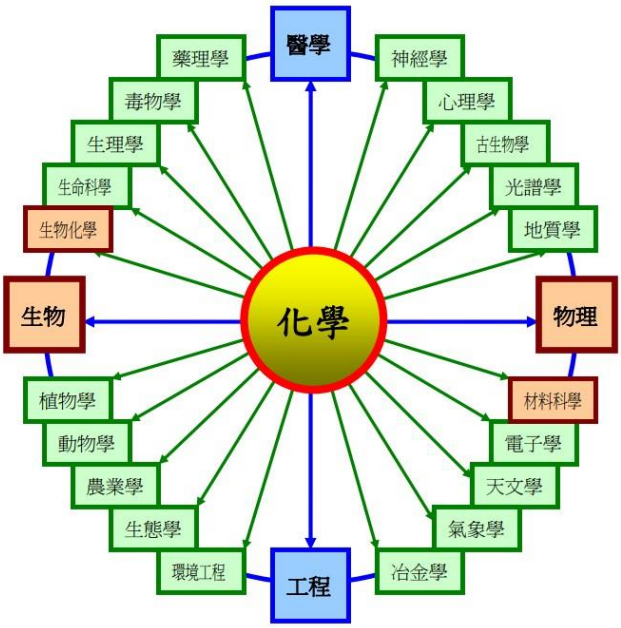
化學學科與藝術領域是平行不交集？還是有交會之處？本文試圖從化學與藝術的分歧談起，接著探討化學與藝術交會的可能性，然後簡介化學與藝術的推廣和研究，並且提供化學與藝術的教材舉隅，最後簡要地提到這一期 11 篇專題文章的導讀。

■ 化學與藝術的分歧

一、 化學是科學的中心

科學（Science）是建立並組織有關宇宙有系統且可檢驗、解釋及預測的知識。現代科學通常分為自然科學、社會科學及形式科學像數學，自然科學研究物質世界，而社會科學研究人與社會。實驗科學的學科如工程學和醫學也被認為是應用科學。從古代到 19 世紀，知識的科學與現在的哲學有著緊密的關連。事實上，自然哲學包含現今與科學有關的學習領域，例如：物理學、天文學、化學、生物學、地球科學及醫學等。在現代科學中，以客觀性和重複性等原則為目標。[1]

化學（Chemistry）是研究物質的性質以及如何和為何組合或分離而形成其他的物質，並且探討物質如何與能量相互作用。涵蓋物質的組成、結構、性質、行為，以及它們在與其他化合物反應過程中所經歷的變化。在科學的層次上，化學處在物理學和生物學之間的中間位置。化學有時被稱為中心科學（central science），因為化學為理解基礎學科和應用科學奠定基礎。[2] 化學主要有五個分支，每一分支都有很多研究領域。這些分支有：物理化學結合化學和物理學。有機化學專門研究含有元素碳的化合物。無機化學研究的材料，如金屬和氣體，非碳作為其結構的一部分。生物化學是生物體內發生的化學過程的研究。[3] 圖一是化學又稱為中心科學，化學是科學的中心，它與科學各領域有著密切的關係，舉凡生物化學、材料科學及環境工程，甚至藥理學、法庭醫學和古畫鑑定皆是。



圖一：化學又稱為中心科學（楊水平製）

二、 藝術領域涵蓋廣泛

藝術（Arts）是指在人類社會和文化中發現有創造力的理論和表現。藝術的主要成分涵蓋：文學（literature）包括詩歌、散文及戲曲；表演藝術（performing arts）包括音樂、舞蹈及戲劇；而視覺藝術（visual arts）包括圖畫、繪畫、攝影、陶瓷、雕刻及建築。一些藝術的形式會與視覺元素與表演（如電影）或藝術品與書面文字（如漫畫）結合在一起。從史前石窟繪畫到現代電影，藝術作為敘事的載體，傳達人類與環境的關係。[4] 美國國會在國家基金會裡的藝術與人文法案中，藝術被定義為包含不限於音樂（器樂和聲樂）、舞蹈、戲劇、民間藝術、創意寫作、建築及其相關領域、繪畫、雕塑、攝影、平面和工藝、工業設計、服裝和時裝設計、電影、電視、廣播、電影、錄影、錄音，以及這些主要藝術形式的演示、表演、執行及展覽有關的藝術。[5] 圖二展現平面攝影也是藝術表示的形式之一。

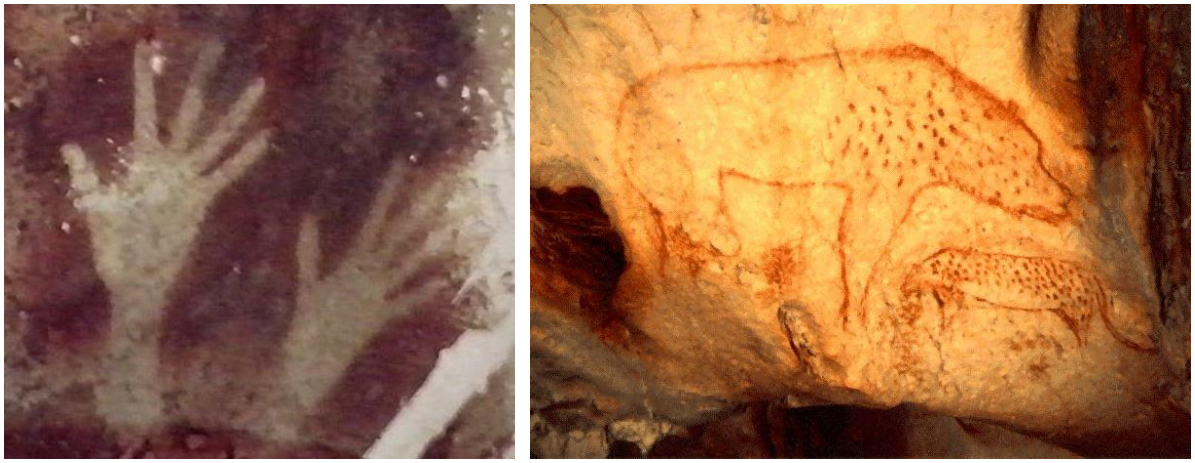
圖二：透過樹的造型拍攝的抽象藝術照片（圖片來源：Bo Insogna, MrBO.com, https://goo.gl/pUWkuE）

藝術是創造視覺、聽覺或表演藝術品的人類活動，表達作者的想像力或技術和技能，以其美感或情感的力量為鑑賞。這些活動最普遍的形式包括藝術作品的製作、藝術的批評、藝術史的研究、以及藝術的審美傳播。[6] 藝術與美術常常劃上等號，在臺灣教育界常常出現爭議，而造成學生對相關藝術類目的困惑。一般說來，藝術有廣義和廣泛的概念，美術是狹義的，僅是藝術的表達形式之一。繪畫、雕塑、建築、文學、音樂、戲劇、舞蹈、電影等都為藝術分類範疇。所謂的美術是指以繪畫、雕塑為核心的視覺藝術。[7]

從上述〝化學是科學的中心〞和〝藝術領域涵蓋廣泛〞觀之，兩者實在南轅北徹且互不相干，更互不包容。然而，在實際的創作和教育方面，無可否認地化學與藝術還是有交會之處，接著探討化學與藝術交會的可能性。

■ 化學與藝術的交會

自從洞穴居民用礦物顏料塗抹在岩壁上後，藝術與化學就產生相互的關聯。現今的化學家製造顏料和染料並保持顏色數十年不變；1 萬年前的洞穴繪畫到從 20 世紀 50 年代的藝術，化學家認證、保存及恢復藝術文物；化學家還開發戲劇和電影作品的化妝和特效。這些在在顯示藝術與化學關聯密不可分。[8] 已知最早的動物洞穴畫/動物圖畫至少有 35000 年的歷史，位於印度尼西亞南蘇拉威西省 Bantimurung 的 Maros 地區的洞穴中，如圖三左所示。[9] 以前認為，最早的繪畫作品在歐洲，可追溯到大約 30000-32000 年前的奧里尼亞克（Aurignacian）時期，在法國的查韋特山洞（Chauvet Cave）和羅馬尼亞的科里波亞山洞（Coliboaia Cave）找到，如圖三左所示。[9]



圖三：在印度尼西亞南蘇拉威西省的洞穴中找到約 38000 年前的壁畫（左），在法國的洞穴發現約 30000 前的洞穴鬣狗繪畫（右）（圖片來源：Cave paintings, https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_painting）

科學的進步是透過知識分子之間達成共識，科學重視客觀性和重複性。而藝術通常在情感層面進行溝通個人的概念和觀點，以主觀性重視個人的表達和對情緒的影響。若教師呈現科學以藝術和想像以及客觀和準確，學生對科學和科學家所關心的問題會有更全面的了解。[10] 在藝術保護方面的職業生涯裡，需要具有碩士學位的保護或密切相關的領域和豐富的工作經驗。在美國修習化學與藝術課程的研究生是非常有競爭力的，他們需要有化學、考古、工作室藝術、藝術史和可能一種或多種外語的先期工作經驗（或實習或學徒）和學術背景。[11]

文化遺產（Cultural heritage）是具有歷史、技術、文化及藝術價值的古蹟和文物之複合體。文化物品主要透過化學變化而遭受退化。化學的角色是理解、預防、控制及修復這種轉變。因此，化學及其技術深深涉及文化遺產。化學家預防或減緩這種變化是一個巨大的挑戰。保護技術包括排除與空氣的接觸、溫度和濕度的控制、清除髒物層等。保護文化遺產如同所有物品一樣，文化物品具有確定的化學成分和化學反應。保護文物和減輕這些因素的負面影響是化學的關鍵任務。[12]

還有，STEM 教育不僅是科學（science）、技術（technology）、工程（engineering）及數學（mathematics），而且它也被認為是一門獨立的科目。STEM 是

對設定主題的應用綜合方法。這是關於使用數學和科學來解決現實世界的挑戰和問題。這種以計畫為基礎的教與學的方式，使學生能夠理解並欣賞其工作與周圍世界的相關性。STEM 教育是美國今天最受關注的課題之一，STEM 教育是提高教育績效並解決困擾著美國勞動力持續發展問題的關鍵解決方案。越來越多的倡導者認為 STEM 缺少一個關鍵的組成部分，這個部分是藝術（art），即 STEM 成為 STEAM。此外，STREAM 或 STEMM 是融入閱讀(reading)或音樂(music)在 STEM 中，增強這些領域教學和學習的相關性。這些是基於培養學生的好奇心、幫助他們發展創造力、解決問題和批判性思維能力而發展出來。[13] 圖四展現 STEM 整合藝術到教育，很多學者主張融入藝術到 K-20 教育中。

圖四：STEM 整合藝術到教育成為 STEAM（圖片來源：STEM TO STEAM, http://www.get-to-know.org/steam/）

在 2002 年的 TED 上，一位醫生兼舞蹈演員且是第一位非裔美籍太空婦女 Mae Jemison 說：「科學與藝術的區別並不在於它們是同一枚硬幣的不同側面.....甚至是同一個硬幣的不同部分，而是相同事物的表現形式，藝術和科學是人類創造力的化身。」[14]

由上述的文獻資料探討之，化學與藝術關係密切，尤其是在教育上 STEM 和 STEAM 是現今教育界對培育未來主人翁的跨領域核心所在。

■ 化學與藝術的推廣和研究

Duncan 等（2010）提到奈米科學與工程（Nanoscale science and engineering, NSE）和奈米技術是新興領域，引起科學家、工程師及主流媒體的關注。然而，公眾對 NSE 的認知還不是很清楚，學校（包括 K-12 和大學院校）很少把奈米技術作為課程的一部分。為了彌補公眾和學生的理解空白，並吸引廣泛的學習者，作者發展出一套連結奈米技術與鑲嵌玻璃藝術的跨學科活動。這一系列活動已經成功地適用於各種不同的人們（如兒童、高中生、民眾），並在廣泛的教育環境（如博物館、K-12 課堂、外展活動）中實施。[15]

Bopegedera（2005）提到作者本人與一位視覺藝術家合作，設計並教授一門名為〝光〞（Light）的跨學科課程的經驗。課程規劃的目標是使用的文本、實驗室工作、藝術工作室的工作及其它課程活動，課程的重點是如何以〝光〞作為一個主題，使科學（特別是化學）和藝術之間發生關聯。作者也描述使用視覺方法來幫助藝術傾向的學生學習科學概念。[16]

Gaquere-Parker 等（2014）提到美國為提高大學生的科學素養，特別是非科學主修學生的科學素養是非常必要的。該文章提供的

數據顯示，使用簡單的藝術概念可以幫助這些學生更好地理解有關化學的科學事實。再者，讓這些學生參與合作性、主動性及探究性的學習是必不可少的，透過課程可以增強他們的科學素養，提高他們學習科學事實的自信心。學生最喜歡的教學方法是教師講授與動手實驗的結合。[17]

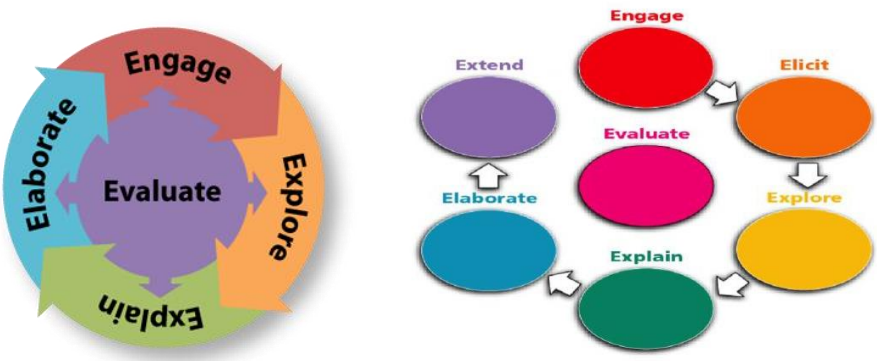
Gaquere-Parker 等（2014）描述一種易於推廣的化學活動，介紹銅基顏料（孔雀石）使用三種塗料粘合劑的合成、分離及使用。這項活動是從一個傳統的化學實驗室的實驗改編而成，可以在 15 分鐘之內使用塑膠刀叉在一個夾鏈袋中進行。每組學生人數以五名為最大值，他們可以在 3 小時的推廣活動中進行大量的互動。這種結合化學與藝術的 STEAM 的實驗具有透過觀察沉澱和產生氣體來演示化學反應的優點，大多數的學生認為討論化學反應並觀察物理變化和化學反應是非常有趣的。[18]

Wells 等（2013）提到美國伊薩卡學院（Ithaca College）提供由化學家和藝術史學家組成的化學與藝術課程，強調兩門學科的互補性。這課程主要由非科學主修學生組成，強調使用歷史知識和實驗測量來處理有關藝術作品特定問題的重要性。該課程最後完成一個學生合作的研究計畫，學生必須選擇一個非獲得的藝術品，產生一系列有關的問題，然後使用現有的科學工具來解決這些問題。學生會接觸到各種分析藝術品的技術，包括可見光和紅外光譜、氣相色譜和質譜、X 射線、螢光光譜和顯微鏡。評量顯示，參與這課程的學生相當積極，100%的學生同意或強烈同意他們在課堂上學到很多事物。學生似乎很欣賞化學課題與相關藝術史料的整合。學生有機會透過化學和藝術史的角度應用創造性思維於現實世界，學生很高興有機會運用他們在整個學期學到的概念和技巧。但是，有部分學生對計畫的開放性感到不滿意，對於提供的一些問題沒有找到更具體的答案而感到失望。[19]

Danipog 等（2011）提到他的研究旨在確定藝術為本的化學活動對高中生化學概念理解的影響。該研究使用前後測和準實驗設計，來自兩個不同化學班的 64 名高中三年級學生參加這項研究。一班接觸到藝術為本的化學活動（ABCA 組），另一班則進行非藝術活動（NABA 組）教學。該研究的數據是透過化學概念理解測驗（chemistry concept understanding test, CCUT）收集而得，此測驗是專門為這項研究而開發。結果顯示：兩組 CCUT 的平均後測分數差異是顯著的，ABCA 組的平均後測分數高於 NABA 組。此外，ABCA 組學生對 CCUT 中 63%的修正過多選項選擇題的概念有極佳的理解。ABCA 組透過創造化學藝術作品來傳達他們的化學知識的機會並促成他們對化學概念的理解。[20]

Eisenkraft 等（2006）提到所有藝術家都是化學家。藝術家理解和研究特定材料的特性，並找到探索這些特性的方法來表達自己和周圍的世界。在他們開發的課程中，化學的學生創作一個原創的藝術作品，描述他們創作中涉及的化學原理。在開始挑戰前，學生透過一系列的八項活動來學習化學概念和相關的藝術技巧。為期五週的化學課程以藝術家當作化學家為中心，並採用問題為本的學習模式。該課程為美國國家科學基金會

（National Science Foundation, NSF）支持的課程計畫之一，此計畫根據美國國家科學教育標準、認知科學的研究成果、及評量的理論，並且使用新穎的課程設計策略的內容結構。在教學方法與策略方面，採用 7E 模式（7E model）。學生透過一系列的八項活動單元來學習化學。藝術家當作化學家的哲學要求在所有的活動中遵循一個學習結構來強化探究。這結構就是 7E 模式（即 5E 學習環的增強），包括 Elicit—引出事先的理解、Engage—吸引學生參與、Explore—透過活動探索概念、Explain—學生和教師的說明、Elaborate—內容的精緻、Extend—擴展概念、以及 Evaluate—在整個課程的各個方面進行評量。[21] 圖五為 5E 學習環和 7E 學習環以及兩者的比較。



5e Learning cycle	7e Learning cycle
engage	elicit engage
explore	explore
explain	explain
elaborate/extend	elaborate
evaluate	evaluate
	extend

圖五：5E 學習環（左）、7E 學習環（中）及兩者的比較（右）
（圖片來源：https://assetinc.org/blog/531 和 https://goo.gl/59ZFek）

■ 化學與藝術的教材舉隅

2001 年美國化學學會（American Chemical Society, ACS）主辦年度活動—國家化學週（National Chemistry Week）的主題是〝慶祝化學與藝術〞（Celebrating Chemistry and Art）。美國各地的人們從這主題去發現化學與藝術之間的關聯。化學在所有的藝術中有著重要的角色，例如：在劇院裡，化學家幫助製作出更好的化妝來創造令人興奮的電影特效。化學家透過改進樂器的材料來影響其聲音的品質。芭蕾舞者現在擁有更強大且更持久的足尖鞋，因為化學家創造新的材料和膠物。這一屆推廣的活動是視覺藝術活動，當實作這些活動的時候，不僅成為藝術家，還會成為化學家！。2001 年美國國家化學週提供的活動教材有很多單元：馬克筆蝴蝶、廣用指示劑彩虹鱒魚、報紙拼貼畫、化學把我們放在聚光燈下、化學家製造好音樂、水晶鋼板星星、你可以在運動鞋中找到多少材料？、綠草、青豆、綠拇指、但這是綠色化學嗎？[22] 這一年慶祝國家化學週，透過化學家的眼睛探索藝術世界！鼓勵參與者擔任博物館館長，負責區分真實和複製的藝術作品以及其他文物。學生的學習是基於材料化學和科學實驗，以及瞭解藝術家使用的紙張、墨水、油漆、陶瓷、金屬、織物及其他媒介。[23]

在美國化學會的 *Chemmatters* 雜誌中，有一篇文章提供一個化學與藝術的活動，此文描述化學是創造藝術的重要組成部分，且

描述並討論兩種類型藝術的過程，製造樂陶涉及的氧化還原反應，以及製造鑲嵌玻璃涉及的化學反應。[24]

在英國皇家化學會（Royal Society of Chemistry, RSC）的學習化學（Learn Chemistry）網站，提供一個化學與藝術的活動單元，描述到一幅龐大而富有戲劇性的繪畫展現早期的科學實驗正在進行中，這裡包含更多的是繪畫科學，而不是製作或保存繪畫的科學。此活動規劃的類型有小組工作和獨立工作，參加者有教師和學生，年齡範圍在 14～16 歲。[25] 這網站也提供一個〝發現化學與藝術〞（Discover the chemistry in art）的主題，開頭提到：化學和藝術有數千年的共同的發明和創造的探索歷程，使用我們的化學與藝術網站來探索交織的歷史，找到科學中的藝術和藝術中的科學。在〝時間軸〞（Timeline）一節中，透過不同的歷史時期，從洞穴藝術到印象派，發現藝術與科學之間的關聯。這方面的關聯是隨著時代的發展而逐漸成長，因為在西歐藝術的每一個重要時期藝術作品一直增加之中。在〝主題〞（Topics）一節中，藝術與科學已經相互影響幾個世紀。在這網站中，展示藝術與各種科學學科之間的關聯。[26] 圖六是〝空氣中的鳥的實驗〞是約瑟夫·賴特（Joseph Wright）在 1768 年的油畫作品，這是 1560 年代賴特繪製的許多燭光場景之一。

圖六：賴特繪製的空氣泵中鳥的一個實驗（圖片來源：An Experiment on a Bird in the Air Pump, https://goo.gl/fgkeZ3）

在網際網路上，還有許多化學與藝術的活動或實驗單元，提供給孩童和國中小學生實作，例如：探索材料—鑲嵌玻璃窗（Exploring Materials–Stained-Glass Windows）[27]，藝術結合鑲嵌玻璃中奈米例子；孩童可以用彩色紙巾做出自己的藝術作品。五顏六色的泡沫印刷（Colorful Lather Printing）[28]，結合刮鬍膏、食用色素及紙張，形成一個獨特的大理石藝術作品；蛋蛋彩畫（Egg Tempera）[29]，蛋不僅僅是早餐，製造自己的塗料，蛋黃作為塗料的一個成分；製作蠟筆（Making Wax Crayons）[30]，回頭看看你的童年時光，用這個熟悉的著色工具來做這個實驗。哪種配方最適合？

■ 文章導讀

本刊第二十二期的專題以〈當藝術遇見化學〉為主題，除領頭文章外，還有 11 篇文章。這些文章的簡介如下：

1. 〈鑲嵌玻璃與化學的激盪〉一文由張明娟老師（國立武陵高級中學）和許文英老師（新北市立明志國民中學）主筆。本文提到：藉由鑲嵌玻璃的創作與文獻探討，讓我們對化學與工藝的結合有更進一步的了解與認識，同時讓我們知道原本生活中遇到的美麗藝術品的原理、方法與背後的演變歷程，並對自己所屬的生活世界有更新的體悟。

2. 〈藍染魔法與化學神功的融合交會〉一文由王琪羿老師（臺北市立復興高級中學）和高貫洲老師（臺北市立中崙高級中學）主筆。本文提到：學生從學習調製藍染液，比較傳統建藍法與藍靛粉調製法之間的差異及其他注意事項。以分組進行的方式讓學生學習團隊合作，增進人際溝通、協調及互助的能力。教師介紹染色的過程中顯花的方式和示範絞染（綁染）、夾染、繪染與縫染……等基礎防染技法，能訓練學生的設計概念與美感能力。

3. 〈玩樂皂化之美〉一文由陳映辛老師(國立竹山高級中學）主筆。本文提到：帶學生做手工皂實驗，可以讓學生認識多采多姿的化學，使化學與生活作緊密的結合。學生可以針對自己的膚質、季節、用途，設計獨特的配方，加入不同植物粉和添加物，利用一些手法或技巧勾勒出動人的線條，呈現不同的變化與花樣，讓學生發揮自己的創意，做出專屬個人風格的手工皂。

4. 〈結合七彩焰色實驗於藝術與文學的教學中〉一文由周芳妃老師（臺北市立第一女子高級中學）主筆。本文提到：在忙碌的教學工作之餘，我們也不斷思考著化學、藝術、文化與哲學的關聯性，點燃彼此的創思課程設計，落實探究實作的學習策略。最後，希望我們幾位作者發揮創意的熱情以及拋磚引玉的動機，能與大家並肩迎向我國十二年國教新課綱的教育轉型契機。

5. 〈用化學蝕刻製作銅板作品〉一文由廖旭茂老師（臺中市立大甲高級中學）主筆。本文提到：嘗試利用化學方法進行蝕刻教學，並設計為化學與藝術結合的特色選修課程教學活動。本實驗利用兩種方法，進行化學蝕刻。第一種方法是氯化鐵的蝕刻、第二種方法是雙氧水加入 EDTA-4Na 的蝕刻。這兩種方法的原理和概念都有詳細的說明。

6. 〈陰翳裡的光芒—水拓與化學的結合〉一文由黃琡雅教授（國立東華大學藝術與設計學系）和楊悠娟教授（國立東華大學自然資源與環境學系）主筆。本文提到：本創作報告以「陰翳裡的光芒」為名，訴說著昏暗不明之美，模糊幽暗的情致曖昧之美，那在枝葉茂密的陰影中微露的光芒，微光的魅力並非全是來自懷舊，而是那種光色和潤澤安慰人心，那是在模糊空間里的調和美學。

7. 〈科學顯微影像與藝術創作〉一文由陳俊太教授（國立交通大學應用化學系）主筆。本文提到：科學研究不是缺少美感，只是缺少發現。利用科學影像所進

行的藝術創作，不僅可以縮短一般大眾與科學研究的距離，也可鼓勵研究人員及學生們發揮想像力與創造力，進一步燃起對科學研究的熱情與興趣，對人類的科學進展有更大的貢獻。

8. 〈奈米世界的構築藝術：串珠模型構築奈米晶籠水合物的藝術〉一文由金必耀教授（國立臺灣大學化學系）主筆。本文提到：介紹串珠模型在第一型晶籠水合物的應用，這種晶籠水合物的結構是由氧的四配位結構連結而成的開放骨架結構，環繞在每一個氧有四個氫鍵為初級構造單元，以氫鍵橋連氧原子而形成兩種次級構造單元，再堆積成三度空間的骨架構築。透過串珠模型，微關的奈米晶籠水合物構築巨觀的藝術作品。

9. 〈化學在藝術品和文化遺產保護的應用〉一文由胡景瀚教授（國立彰化師範大學化學系）主筆。本文提到：清除藝術品或古蹟上的菌膜遭遇到的困難，我們不能用過度侵入性的方法，傷害文物。苯扎氯銨經常被用來消除藝術品和文物上的菌膜。

10. 〈新型凝膠修復西畫〉一文由邱美虹教授（國立臺灣師範大學科學教育研究所）主筆。本文提到：12 年國民基礎教育自然科學領域重視「科學探究與實作」、「科學本質與科學態度」、及「核心概念」，同時也強調跨學科與跨領域的橫向連結，藉由橫向連結展示知識與技能的廣泛性和關聯性。藉由油畫修復說明藝術品的創作、製作、修復都會與科學相關。當我們欣賞一幅畫時，其實可以透過不同的視角去認識藝術品。

11. 〈西畫除黴的跨科教學活動設計〉一文由林佳穎老師（臺北市立啟聰學校）主筆。本文提到：西畫除黴教學單元從藝術出發，結合臺灣濕熱氣候的特色，提出一個情境化有關除黴問題。此單元設計整合藝術、化學及生物等跨領域概念，讓學生不再只是學習片段的知識，而是能從多種面向思考問題並提出解決方案，透過此課程可以培養學生藝術欣賞、動手實作、批判思辨及科學探究等能力。

■ 參考資料

1. Science, https://en.wikipedia.org/wiki/Science.
2. Chemistry, https://en.wikipedia.org/wiki/Chemistry.
3. What Is Chemistry? https://goo.gl/Ncp7PY
4. The arts, https://en.wikipedia.org/wiki/The_arts.
5. Definition of "the Arts" by the United States Congress, http://goo.gl/ZYJeKK.
6. Art, https://en.wikipedia.org/wiki/Art.
7. 藝術，https://zh.wikipedia.org/wiki/藝術。
8. Chemistry in the Arts, https://goo.gl/h1xGZt.
9. Cave paintings, https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_painting.
10. Moore, J. W. Science and Art *Journal Chemical Education*, **2001**, 78 (10), p 1295.
11. Chemistry in the Arts,

https://goo.gl/f2r1ya.

12. Chemistry and Art, http://goo.gl/XamdDu.

13. STEM or STEAM? We're Missing the Point, https://goo.gl/WrfUvT.

14. From STEM to STEAM: Science and Art Go Hand-in-Hand, https://goo.gl/ZHHXSc.

15. Duncan, K. A.; Johnson, C.; McElhinny, K.; Ng, S.; Cadwell, K. D.; Petersen, G. M. Z.; Johnson, A.; Horoszewski, D.; Gentry, K.; Lisensky G, Art as an Avenue to Science Literacy: Teaching Nanotechnology through Stained Glass *Journal Chemical Education*, **2010**, *87* (10), pp 1031–1038.

16. Bopegedera, A. M. R. P. The Art and Science of Light. An Interdisciplinary Teaching and Learning Experience *Journal Chemical Education*, **2005**, *82* (1), p 55.

17. Hemraj-Benny, T.; Beckford, I. Cooperative and Inquiry-Based Learning Utilizing Art-Related Topics: Teaching Chemistry to Community College Nonscience Majors *Journal Chemical Education*, **2014**, *91* (10), pp 1618–1622.

18. Gaquere-Parker, A. C. N.; Doles, A.; Parker, C. D. Chemistry and Art in a Bag: An Easy-To-Implement Outreach Activity Making and Painting with a Copper-Based Pigment *Journal Chemical Education*, **2016**, *93* (1), pp 152–153.

19. Wells, G.; Haaf, M.; Investigating Art Objects through Collaborative Student Research Projects in an Undergraduate Chemistry and Art Course *Journal Chemical Education*, **2013**, *90* (12), pp 1616–1621.

20. Danipog, D. L.; Ferido, M. B. Using Art-Based Chemistry Activities To Improve Students' Conceptual Understanding in Chemistry *Journal Chemical Education*, **2011**, *88* (12), pp 1610–1615.

21. Arthur Eisenkraft, Carl Heltzel, Diane Johnson,and Brian Radcliffe, Artist as Chemist, 2006, http://goo.gl/EvQQP4.

22. Chemistry & Art—A Great Mix! https://goo.gl/y3dFjW.

23. State of the Art Chemistry: A Hands-on Program - An Educational Demonstration Package, http://goo.gl/JPStex.

24. Artistic Chemistry: A Beautiful Collaboration, *Chemmatters*, https://goo.gl/F3yfKm.

25. Chemistry and Art: An Experiment on a Bird in the Air Pump, http://goo.gl/wt6gu8.

26. Discover the chemistry in art, http://goo.gl/uDNQP3.

27. Exploring Materials—Stained-Glass Windows, http://goo.gl/MWVm6z.

28. Colorful Lather Printing, http://goo.gl/ne2RTv.

29. Egg Tempera, https://goo.gl/nTLKTA.

30. Making Wax Crayons, https://goo.gl/PhpNeZ.