

第三場 『膠體與介面科學』(2006 年12 月10 日)

國立高雄應用科技大學機械工程系 黃奐璋 紀錄整理

主持人 神隆公司總經理 馬海怡：

各位小朋友，各位朋友大家好！經過昨天一夜選舉開票的激情之後，大家早上還起得來，大概都是對這門演講以及這個主題非常有興趣的人，我們是位於台南科學的一間製藥公司，當王老師與李老師請我來當主持人的時候，我第一點想到的是，我一看到這個演講



者和他的主題，我就覺得就算不要我當主持人我也應該來聽一聽，這門科學——膠體與介面科學，非常的有意思，在我們生活裡面很多生物的現象都跟這門科學有關，從這些現象也可以導致出很多化學和物理的原理，然後應用在我們其他生活方面。

那為什麼我對這個課題特別有興趣呢？因為我們在製藥的過程中，很多藥非常難溶解，不容易做成一個很好的製品讓人體吸收，而且現在最流行的是奈米技術，一講到奈米技術，很多地方都跟介面有關，因此基於本身行業的關係，我對這個課題非常有興趣，再來一個原因，我非常榮幸的在這邊介紹我們的主講者，因為我非常以他為榮，因為他也是我的小學弟，我們台大化工的傑出教授，同時也是台大的工學院院長，我在這邊簡介一下他的事蹟，演講者他是葛教授，工學院院長，台大化工系 1978 年畢業，1980 年美國佛羅里達州碩士畢業，1984 年在美國卡內基梅隆博士畢業，經歷方面，在美國當完博士後，之後回國在台灣大學擔任副教授，後來升教授，並擔任過副院長，我發現他每一個新工作都是每一年的八月開始，不知道是不是巧合？在一年前開始擔任工學院院長，台大工學院是一個非常大非常複雜的機構，從我畢業以後系所可能增加了一倍以上，所以這是一個非常重要的責任，在其他榮譽性職務方面來講，葛教授擔任非常多國內外期刊的評審委員，曾經獲得國科會傑出研究獎三次。擔任過國科會特約研究人員兩次，並得過教育部的特優教師，台灣大學的傑出教師獎，中國化學工程會的最佳論文獎。

我想，之所以會說我非常榮幸能夠介紹他，因為他是我們化工系的菁英，從我剛剛簡述的事蹟，就可以略見一二。而葛教授的專長是膠體粒子之泳動和介面高分子的動力學，在週末早上有這麼多人，我心裡很感動，剛跟王老師在談的時候，我實在沒有想到，我們高雄南部地區有這麼多人願意在週末，放棄自己休閒的時間來增加自己的知識領域，所以讓我們來熱烈的歡迎葛院長來為我們解說！

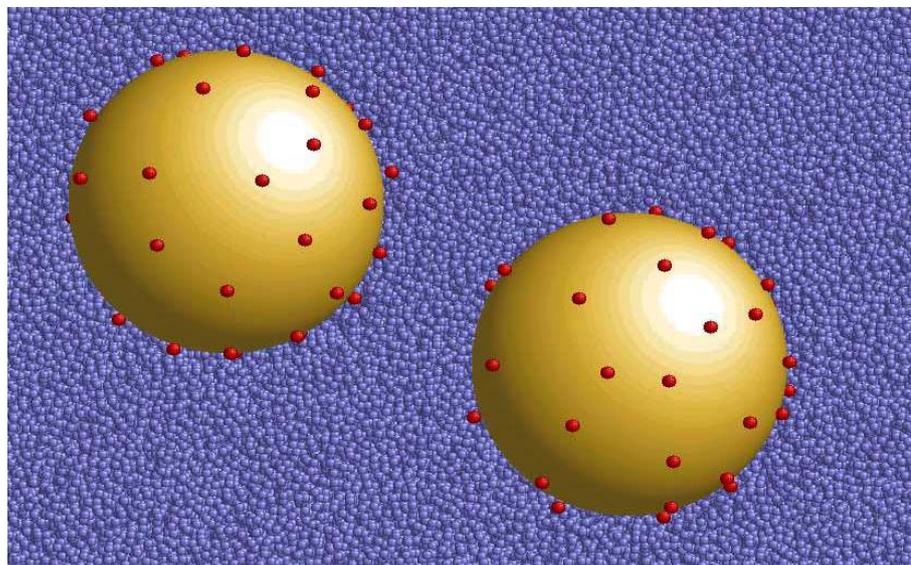
演講者 台灣大學工學院院長 葛煥彰：

主持人馬總經理、郭教務長還有王研究員，各位女士各位先生各位同學大家早！個人是非常榮幸也非常高興能夠來到高雄跟大家見面，一起來討論一下膠體與介面科學，首先我想要謝謝神隆公司的馬總經理對我的介紹，馬總經理是我台大化工系的學長，其實他比我個人還要優秀傑出多了，馬總在美國獲得化工學位之後，在美國醫藥界工作了相當長的一段時間，大概是不到十年前回到台灣，在南科建立了神隆公司，將神隆公司發展的有聲有色，已經成為台灣製藥產業標竿的公司。其實馬總不止比我傑出，也比我迷人漂亮，此外他雖然大我許多屆，但是比我看起來年輕。



現在談到膠體與介面科學這是一個跨領域的學問，他幾乎跟所有的科學和工程領域都息息相關，我今天準備從一些基本的現象來跟大家談一談。先跟各位簡單介紹一下今天準備要談的內容，基本上我會先對膠體的定義和分類作一個簡單的介紹，談一下膠體粒子的兩個基本現象—布朗運動和沈降運動。再來呢，會談一下膠體之

現在談到膠體與介面科學這是一個跨領域的學問，他幾乎跟所有的科學和工程領域都息息相關，我今天準備從一些基本的現象來跟大家談一談。先跟各位簡單介紹一下今天準備要談的內容，基本上我會先對膠體的定義和分類作一個簡單的介紹，談一下膠體粒子的兩個基本現象—布朗運動和沈降運動。再來呢，會談一下膠體之



間的作用力，作用力會影響膠體粒子的分或合，這些分合就是膠體懸浮粒穩定性的問題，講完了膠體的大概介紹，就進入到界面的部分，我會介紹表面張力和界面活性劑的很多問題，如果時間夠的話，我也很希望談一下膠體粒子的泳動，最後我會談一下膠體與界面科學在產業界的一些應用情形。

首先我們把膠體做一個簡單定義的介紹，因為並不是大家對這個名詞都很熟悉，膠體的英文名稱叫做「colloid」，他的定義其實很簡單，他可以是一個小分子，也可以是一個分子的聚集體，這個粒子的粒徑如果是介於一個奈米到 10 個微米，這樣大小範圍的粒子分散在一個連續相中，我們就把這個系統稱為膠體。膠體的定義，唯一特別的地方，是粒子的大小我們給定了一個範圍，為什麼要定義一個 1 奈米到 10 個微米，這樣大小的範圍呢？我們要特別把他區隔出來，大家都知道 1 個奈米是 10^{-9} 米，10 個微米是 10^{-5} 米，所以他的尺度大概是在這個範圍，最主要就是這種大小的粒子在懸浮的時候，是介於兩種極限狀態之間，假如這個粒子再更小，若小於一個奈米，那這個粒子的大小就很接近溶劑（例如：水）的分子大小，這時候粒子已經和溶劑區分不出來。如果粒徑大於 10 個微米，這時候粒子大小已經肉眼可見，會分成很明顯的兩相，感覺上是一種比較粗糙的混和物，而我們膠體就是為於這兩種極限之間，他既不是一個很粗糙的混和物，也不是類似分子溶液的連續相的結構。我們可以由一個成相的粒子感覺出，這個範圍粒子的特別性。

如果我問你，把一堆粒子丟到溶劑裡面，會發生什麼現象呢？同學們可能會說，如果密度比水大的話會沈到水的底部，這個答案應該不會錯。但是若是學過膠體就不會這樣講，因為最關鍵是我要問這個粒子多大？假如有一些方糖和砂糖，丟到水中去，丟下去之後就會發現一開始他會沈到杯底去，也許會慢慢溶解，但是也是很久以後的事了，可是如假將他攪拌一下，砂糖方糖很快就溶解掉了，你喝看看上面的水也是甜的，所以糖已經跑到水的頂部去了，所以你看，同樣的物質都是糖，因為一開始比較大，它就沈在杯底了，攪拌一下後，變成比較小的糖分子糖粒子，他就會懸浮在整個溶液裡面，這就是明顯粒子大小的影響。你如果丟一塊小黏土到水中，他也是會沈在水底下，只有黏土周圍會有一點點混濁，整個水看起來還是清澈的，但是把黏土攪拌一下，水馬上就變成很混濁，黏土粒子就跑到水的上面去，他的成分還是黏土粒子，並沒有改變，就是因為比較大的粒子會沈到水底下去，但是粒子變小了之後就會很均勻的懸浮在整個溶液裡面，這就是一個例子，為什麼粒子大小有這麼大的差別。我還記得前兩年，颱風過後在桃園地區，桃園地區大停水，這是因為石門水庫他的水源太混濁，就是因為水裡面的細沙淤泥粒子很小，都浮在水面上，沒有辦法沈到底下去，所以就造成水源沒有辦法供應，所以粒子大小的影響就差很多了。

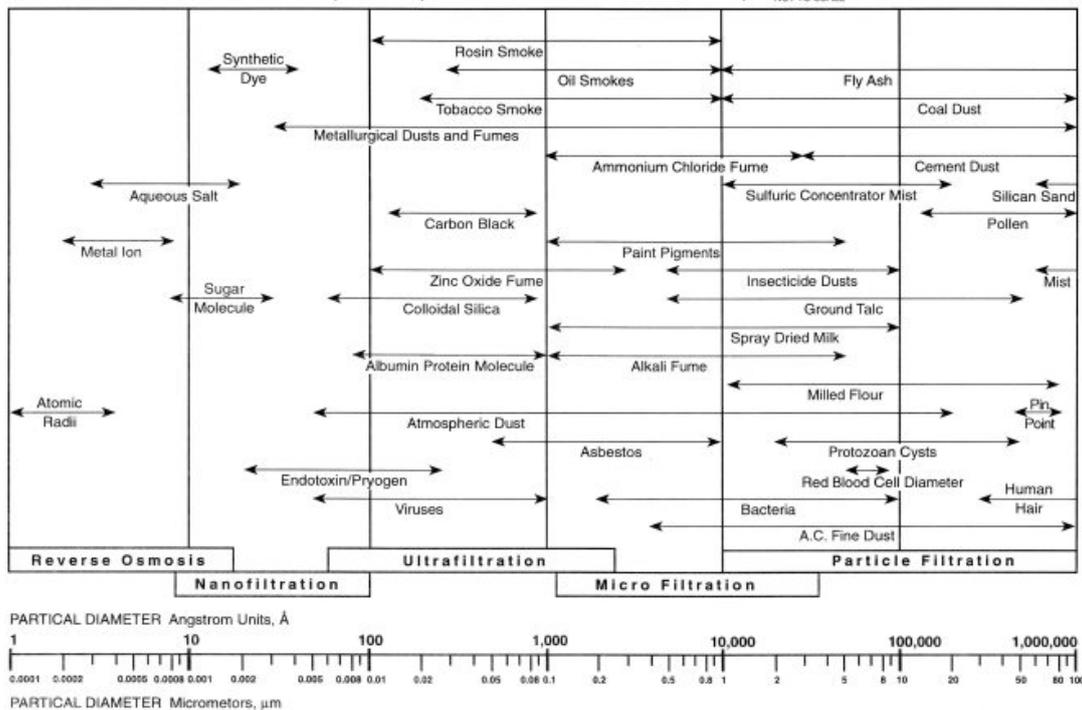
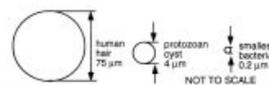
因為膠體粒子是很小的粒子，從奈米到微米，所以他單位質量粒子所具有的總表面積就很大，這稱做「比表面積」，他比表面積非常大，通常每一克的粒子

總表面積約有 1~100 個平方公尺，因為他粒子很小，所以我們談到膠體的時候，就一定會談到表面介面，因為他的表面積這麼大，因此他的表面的性質，介面的現象就非常重要，所以通常膠體與介面都一起提到。這個圖 (P4) 基本上是舉一些例子讓大家知道生活中的一些膠體粒子，那麼你看到在左邊，紅線所畫的是一個奈米，小於一個奈米的就是一般的原子、小分子、離子的粒徑，像金屬離子之類粒徑都小於一個奈米，糖的分子屬於比較大一點的，他就差不多稍大於一個奈米，那麼再來像病毒、煙、油漆，這些都還在微米或是微米以下，比微米在稍微高一點，有細菌、紅血球，一直到花粉的下限都還算是膠體，大概整個範圍從第一道紅線奈米到第二道紅線 10 個微米，因此大家看到，幾乎在生物上重要的粒子，像病毒、細菌、血球、細胞... 等等，都在這個範圍，其實較大的蛋白質也在這個範圍，其他像一些高分子，分子量高的分子溶在液相裡面，也是屬於這個範圍。或是一些晶粒材料的顆粒，也在這個範圍。毛髮基本上已經高於幾十個微米。

PARTICLE SIZE REMOVAL RANGE BY FILTRATION

FreeDrinkingWater.com

These sizes of well known objects and particulates illustrate the size of the micrometer (or micron).



接著我們談一下膠體的分類，基本上膠體分成兩相，一相是粒子相，或是稱做分散相；另一相是連續相，分散相和連續相都可以是固體液體氣體，所以兩個相合起來有九種組合，不過在氣體裡面，氣體分子溶在氣體分子裡面，這是一個混和的氣體，沒有粒子或溶液的問題，這部分就沒有膠體的性質。其他八種都有粒子，都是膠體的範圍，我們就來將這八種看一



下。假定我是液體的粒子溶在器相，這個我們叫做 aerosol，因為他粒子是液體的，所以我們叫做 liquid aerosol 液體氣膠，這個粒子比方像天上的雲，或是早上起來看到的霧。他基本上就是很小的水滴在空氣裡面，所以他是液體的粒子懸浮在氣相裡面，這就是一個液體氣膠的例子。再來我們看固體粒子在氣相裡面的例子，例如像煙、空氣中的灰塵，這些就是固體的粒子懸浮在氣體裡面，這個我們叫做固體氣膠。再來我們看氣相的粒子懸浮在液體裡面，例如像刮鬍膏他裡面有



很多小氣泡，是氣體懸浮在液體裡面，或是一些泡沫奶油這類東西，這個我們叫做泡沫 foam。再來我們看是液體的粒子懸浮在液體裡面，這兩個液體並不互溶，所以通常是像水在油裡面或油在水裡面，不互溶的兩個液體，這個叫做 emulsion，可以稱做溶液或溶膠，比方像一般的手霜或是美奶茲，他是小的油性液滴在水裡面，或是水相的液滴在油相裡面。再來我們看固體的粒子溶在液相裡面，這個我們叫做 sol，可以叫做溶體，比方像油漆、墨水，都是有很小的固體顆粒懸浮在液

體裡面。如果是氣體粒子懸浮在固體裡面，比方像保力龍、aerogel、浮石，都是 在一些固體裡面有一些氣孔氣泡，這個我們叫做固態泡沫。液體的粒子懸浮在固相裡面，這個例如像果醬，或是 opal（有人稱貓眼石或乳光玻璃），他基本上是液體的顆粒在固體裡面，這個我們叫做 gel 凝膠。最後，固體的粒子分散在固相裡面，比方像合金兩種金屬的混和物，或是金紅玻璃 也是這種情形，他是固體或金屬的雜質在玻璃裡面而形成這樣的玻璃，這種我們稱為 solid sol。

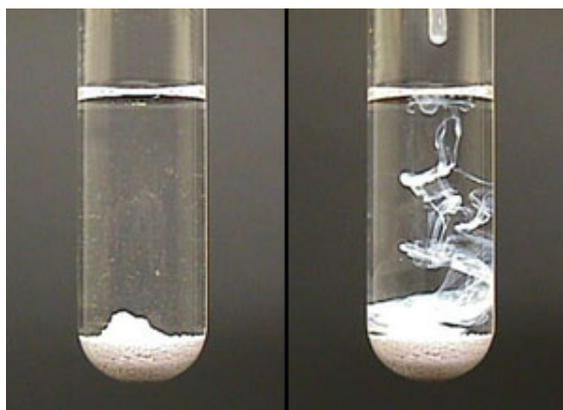
我們接下來談膠體粒子一種很特別的而且很重要的一個現象，就是布朗運動。其實同學們可能從國中開始就聽到布朗運動的名稱，布朗運動是微小的粒子，進行任意的，不規則的，連續的運動，那他為什麼會動呢？主要原因是因為這個粒子受到周圍的小分子不斷的碰撞，這些小分子只要具有動能，就會轉動、震動或移動，因此會碰

撞膠體粒子。這種會造成膠體粒子連續不規則運動，這稱為布朗運動。這布朗運動是 1827 年，由 Robert Brown 最先發現的，他是一個植物學家，他是在顯微鏡底下看一些花粉的微細胞時，發現了這種運動，但是他完全沒有辦法解釋。他起



先以為花粉是有生命的，這些運動是與生命現象的關係。因此他又找了一些無機的小粒子來做實驗，觀察後發現一樣會運動，因此發現這種現象跟生命現象毫無關係，但是他還是不能解釋為什麼有這種現象，等下就會講到布朗運動與擴散現象有關，擴散現象比較早提出來的是 Graham，他是一個蘇格蘭人，他提出了擴散現象，後來到差不多 1850 年的時候，Fick 他又導出了 Fick 的擴散定律，有第一定律和第二定律，把擴散的現象解釋的很清楚了。包括擴散係數是怎麼一回事，但是這時候沒有人聯想到擴散運動和布朗運動的關係，一直到愛因斯坦 Einstein，他在 1905 年發表了他對布朗運動的研究結果，他整個用理論導出了布朗運動和擴散現象其實是同一件事情，只是微觀上為布朗運動，巨觀上來是擴散現象，當他提出理論之後，大家並不一定相信，後來 Perrin 從 1909 年開始用了很多研究生，來做實驗進行了三年，一直到 1912 年，他於 1913 年發表了文章，發現愛因斯坦的理論完全正確，從他的理論裡面把布朗運動和擴散現象連結在一起，大家知道愛因斯坦得諾貝爾獎比較晚，他在 1921 年才獲得諾貝爾獎，不過他不是以膠體的研究而得獎，雖然他膠體的研究非常大，以他來得獎的話，並不遜色於他所研究的光電效應，但是當時並不是以膠體得獎，不過 Perrin 在 1926 年獲得諾貝爾物理獎，就是以膠體和布朗運動所得獎，最早因為膠體所獲得的諾貝爾獎就是在 1925-26，兩年之間的諾貝爾物理化學四個獎，其中三個都是與膠體研究相關，其中包括 1925 年的物理獎和 1926 年的物理和化學獎。這邊談到了很多膠體界的大師，我就順便介紹一位研究表面的大師—Langmuir，他是第一位因為表面科學而獲得諾貝爾獎的學者，他有很多項的第一，他也是美國人第一個獲得諾貝爾獎，他也是第一位在工業界實驗室的從業人員獲得諾貝爾獎。

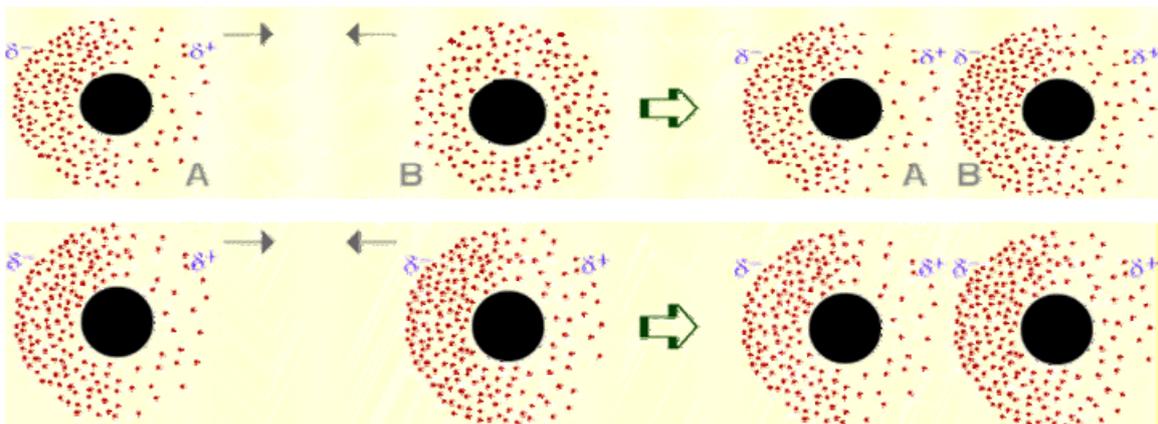
剛才我講到粒子溶在液相裡面，他會沈會浮，固然密度是影響因素，但不是最重要的，關鍵是粒子的大小。那我們現在看到這個實驗，就是我把燒杯中裝滿硝酸銀的溶液，然後滴入食鹽水，那會發生什麼現象？同學們馬上都知道，會發生氯化銀的沈澱，那我們滴了之後果然發生沈澱，都沈澱在底下，之前我們講會不會沈



下去與粒子大小有關係，那現在會沈下去表示這些粒子很大，那粒子有多大呢？首先我先提一下沈降平衡的基本觀念，談到平衡，一定是兩個趨勢在競爭才會達到平衡，而沈降平衡也是兩個運動再競爭，一個是重力，因為粒子的密度比水高，因此重力會使他往下沈，另外一個趨勢就是布朗運動或擴散，這是一個隨機的運動，他基本上希望整個懸浮系統是很均勻的，並不希望沈到底下去，沈下去之後密度比較高，就違反了擴散的要求，這兩個趨勢在競爭，到最後就會獲得一個波

茲曼分佈，這個波茲曼分佈就是告訴我們濃度跟高度的關係，當燒杯或試管的底部 $Z=0$ ， e 的零次方是 1，我的濃度就是在最底部的位置，當位置改變的時候，當 Z 改變的時候，這是一個負指數，當 Z 變大，這個值會越來越小，所以位置越高濃度就會越來越低，這個就是一個平衡的結果，越底下濃度越高，越上面濃度越低，因為越上面重力位能越大越不穩定，基本上濃度就是豁然率的概念，越穩定的地方他的豁然率越高濃度就會越高，這是一個標準的波茲曼分佈。這邊有重力 mg ，這個 m 就是粒子和他排開同體積溶劑的質量差，這裡面有粒徑的三次方，因為假設粒子為球狀，波茲曼分佈影響到粒子分佈情形，密度差固然在這邊，密度差是一個因素，不過他影響只有一次方，而粒徑的影響有三次方，所以粒徑的大小會大幅的改變波茲曼分佈。

那我們把剛才氯化銀的實驗，使用波茲曼分佈來檢驗一下，看看是不是會沈到底下去。假設燒杯裡面有八公分的水，密度差假定為 1 g/cm^3 ，溫度為室溫 300 度 K，我假定一開始形成的氯化銀顆粒為 5 個奈米，因為氯化銀是一種離子固體，5 個奈米大約包括了上百個氯化銀的離子所組成，現在計算波茲曼常數，代入剛剛波茲曼分佈，算出在頂部 $Z=L$ 的時候和杯底 $Z=0$ 的高度濃度比值，算出來為 0.9，非常接近 1，這表示在燒杯頂部和底下，他的濃度其實差不多，看到的其實是一個很混濁的溶液，但是剛剛一滴下食鹽水馬上就有氯化銀沈在底下，這表示氯化銀剛生成的時候大約只有五奈米，但是生成之後開始產生凝聚現象，使小粒子結合在一起因此變大，變大之後這個值就會增加很多，頂部的濃度就會趨近於零，所以產生沈澱，尤其是碘化銀這種粒子只要一有小的顆粒形成後，馬上會凝聚成大的顆粒。所以我們皆下來就是談談膠體粒子會凝聚或是分散。

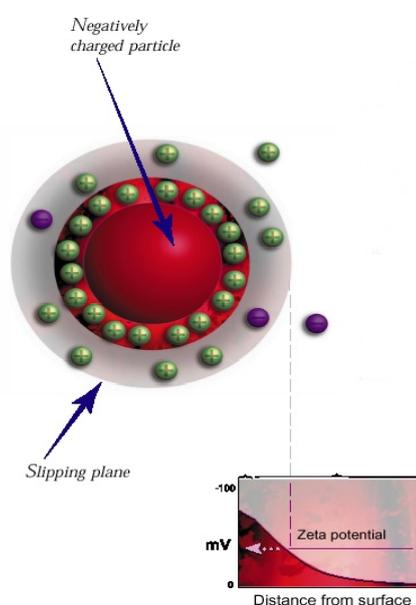
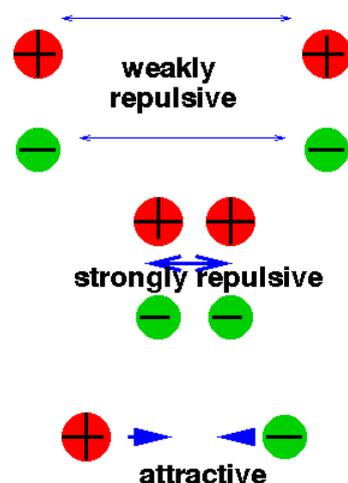


膠體粒子會互相的接近凝聚或分散形成穩定的懸浮液，與膠體之間的作用力就很有關係，所以接下來我們談談作用力，這邊舉了四個需要考慮的作用力。第一個粒子不能重疊，當然粒子和粒子不能重疊，當粒子靠近到一定程度就不能再靠近了。粒子和粒子之間有凡得瓦力，大家知道在理想氣體，就是因為氣體分子之間有凡得瓦力，所以造成了真實氣體的現象。凡得瓦力會使氣體分子偏離理想氣體的行為，分子和分子間有凡得瓦力，粒子和粒子之間也會有，基本上是以吸引力為主，又因為膠體粒子溶在一個極性的溶劑裡面，他的表面幾乎都會帶電，

表面帶電就會有靜電的作用力，這個力也是需要考慮的。最後再談到 steric effect，若粒子表面吸附一層長鏈的高分子，這樣會阻礙粒子之間的接近，產生出一道柵欄一樣的效果，所以例子與例子之間大概有這些的作用力，這些作用力就會影響到粒子之間是會凝聚或是分散。

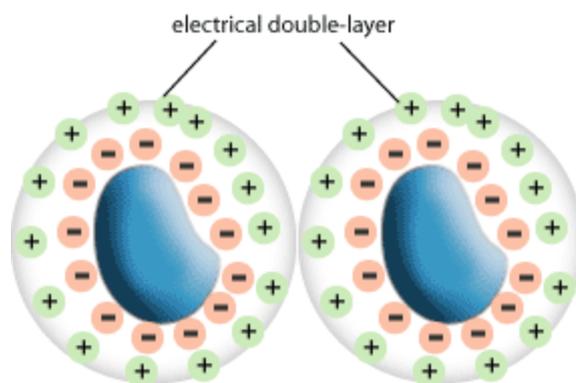
我們現在先談一下凡得瓦力，凡得瓦力他基本上存在於分子和分子之間，粒子之間也存在，另外 dipole 偶極的效應也屬於凡得瓦力，比方這邊他是極性的分子，一邊偏正電性，一邊偏負電性，正負電之間就會互相接近，會產生新引力。另外一種是誘導產生極性，當 A 是極性，B 非極性，A 因為是電正性會使 B 也產生負電性，造成一種吸引的關係。凡得瓦力的貢獻主要在吸引力。

靜電作用力就很單純，當兩個粒子帶相同的電性，一般來講相同粒子都帶同樣電性，因此會產生排斥力，距離比較遠會產生排斥力，距離比較遠排斥力比較弱，距離比較近排斥力比較強，如果帶的電性相反，就會產生吸引力。凡得瓦力都是吸引力，而靜電力有可能是吸引力或是排斥力，不過一般都是相同粒子所以都是排斥力。講到靜電作用力，我們稍微談到一個名詞—電雙層，膠體粒子如果表面都帶負電，周圍的電解質溶液因為要達到電中性的要求，因此周圍溶液會帶等量的而且電性相反的電荷，這樣才能滿足整個電中性的要求，他的影響只在距離比較近的部分，因此我們把表面的電荷和周圍帶等量電性相反的溶液離子的範圍稱為電雙層，粒子表面一層以及周圍溶液一層，右邊是另一個示意圖。這個電雙層的结构就會影響到粒子之間的靜電作用力，如果他電雙層越厚，作用的範圍越大，粒子之間的排斥力就越強，粒子之間越不容易接近，越不容易凝聚；反觀，如果電雙層越薄，粒子之間就很容易接近，一旦接近就很容易凝聚。因此電雙層的结构會影響到粒子之間的靜電作用力。這邊兩個圖是將剛才談到的力，凡得瓦力和相同粒子的靜電力排斥力，加成起來看，縱軸是粒子之間的能量，橫軸是距離，距離很遠的時候沒有什麼作用力，當距離很近的時候，凡得瓦力所產生的吸引力，我們用負號表示吸引力，同時有靜電的排斥力，我們用正號表示排斥力，合起來的效應就是中間這條

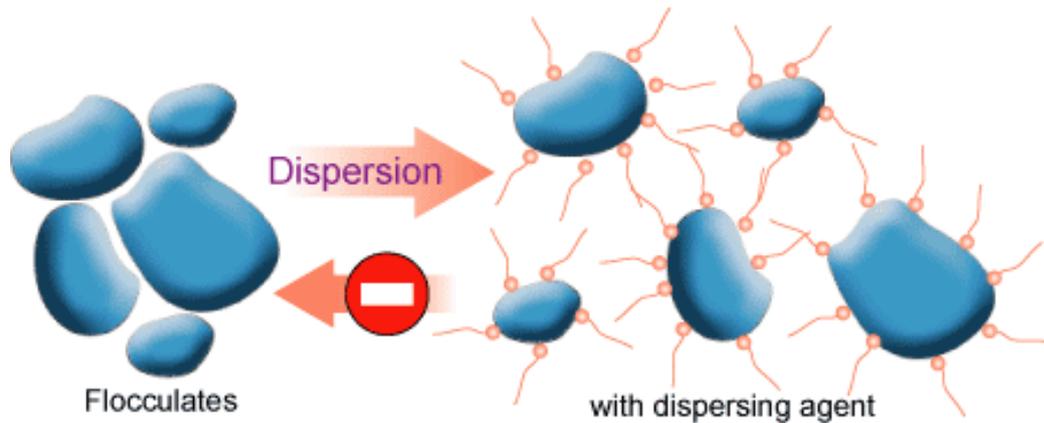


線，典型的構造就是這樣，這邊有一個能量的障礙，這是一個排斥力，因此當兩個粒子接近的時候，必須具備一個足夠的能量，才能克服這個能量障礙，才能接近到互相凝聚的情形，下面這個圖就是排斥力比較弱，吸引力比較強，整個合力就是吸引的結果，很容易就會凝聚在一起，如果要使容易凝聚，就要降低能量障礙，就要使電雙層變薄，使靜電作用力便弱，跟下面這個圖一樣。

現在我們瞭解了膠體之間的作用力，就可以談到膠體之間的穩定性問題。當一個膠體懸浮系統，如果粒子和粒子都很分散的話，我們就稱他穩定，反過來說，如果膠體粒子都很喜歡聚在一起，形成很大的粒子，就像剛才的氯化銀，就稱為不穩定的膠體。我們有時候需要穩定的膠體，有時候需要凝聚，什麼時候會需要穩定呢？譬如說墨水，當墨水很久不用的話，上面像清水一樣，顏料都沈到底下了，因此墨水希望能夠很穩定，不沈到底下。但是有時候有希望他凝聚，例如石門水

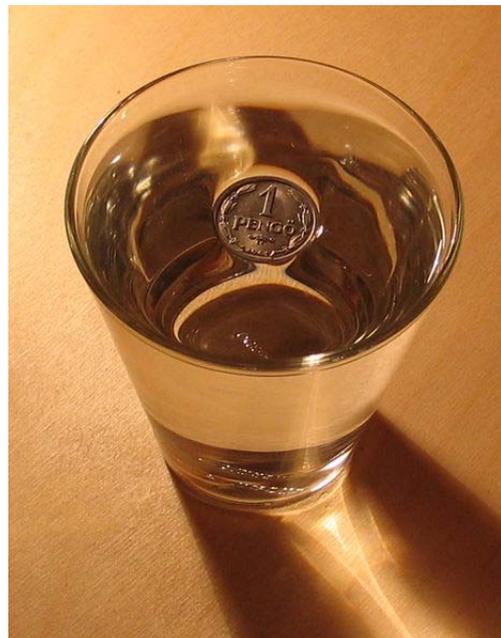


庫淨水處理或是廢水處理，希望粒子能夠凝聚，這時候需要不穩定。要避免凝聚的發生，可以使用兩個方法，第一個就是改變靜電力，另外一個就是吸附比較特殊的物質，造成一個柵離效應。首先看到利用靜電力的關係，看到粒子表面，假定表面帶負電，周圍會吸引比較多的正電，形成電雙層，這兩個電雙層厚度越後影響越大，當厚度越大就越穩定越不容易凝聚，如果想要電雙層的範圍變薄，可以減少離子的濃度，這樣電雙層的厚度就會變薄，使粒子之間的靜電力減弱，使粒子之間容易凝聚。再來就是柵離效應，讓粒子表面吸附一些高分子物質，兩粒子原本會互相靠近，吸附高分子物質之後，一部份是比較親水的，因此在兩個粒子接近的時候受到高分子的阻擋，當粒子無法接近，凡得瓦力也不會產生，因此在柵離效應下就可以維持懸浮系統穩定。有時候為了維持穩定會加入分散劑，添加了分散劑之後就會產生柵離效應，反過來將分散劑拿走後就會產生凝聚，這是一種可逆的變化。剛才我們講的是希望維持穩定，比如說墨水，如果我們希望不穩定，想要去穩定化，比方在做淨水廢水的處理，基本上膠體懸浮系統都有一個自然發生凝聚的趨勢，因為有表面張力的存在，表面張力就是表面自由的一種形式，因為希望每單位質量或每單位體積的粒子，能量是最低，因此就會去減少表面積，當表面積減少就會產生凝聚，所以凝聚就是自然會發生的現象，不過也會有其他情形會阻止凝聚發生，如果我們希望發生凝聚現象，有一些方法可以進行，例如加入凝聚劑，或是改變 PH 值，都能使懸浮系統不穩定產生凝聚的現象，一般微小粒子都會帶有輕微的負電性，像氧化物的粒子在一般的狀態之下都會帶



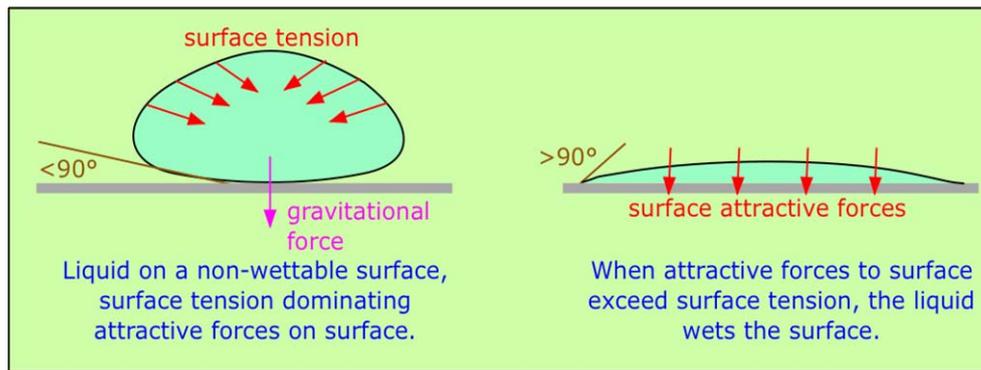
輕微負電性，如果加入凝聚劑，能夠在表面產生正電的效果，就會把帶負電的小粒子吸引在一起產生凝聚，加入鹽類，鹽類也算是一種凝聚劑，加入鹽類之後就會增加離子濃度，離子濃度增加之後會就會改變電雙層的厚度，使的電雙層變薄，使的靜電作用力變弱產生凝聚現象。或是改變 PH 值，可以改變表面帶電量，表面帶電量越多的話，靜電排斥力越強，帶電量越少，排斥力越弱，鹽類最常加的是硫酸鋁或硫酸鐵，含水的硫酸鋁就是我們熟悉的明礬。他溶在水中，他是看酸鹼性來決定結構，如果是中性溶液，就會形成氫氧化鋁，這會帶有一個弱的正電性，會吸引一些小的負電性粒子，而變成大的顆粒產生凝聚沈澱，事實上硫酸鋁屬於酸性，加入之後溶液會偏向酸性，要維持在中性範圍需要加入鹼性物質，因此加入石灰後會有比較好的效果。剛剛談到要減少靜電排斥力，有兩個方法可行，一個是減少電雙層減少作用力，另外一個就是減少表面帶電性，這邊這個實驗就是不同 PH 值，懸浮的狀態都不同，在不同的 PH 值他表面的帶的電量都不一樣，比方說 表面可能是有機的酸或鹼，酸基或鹼基這類構造，這些構造與酸鹼性有很大的影響，當比較酸性的時候，表面吸附比較多的正電，鹼性的時候，氫離子會解離產生負電，原先的電性主要受到 PH 直的影響，這邊 PH 的改變，中性以後粒子都沈下來了，在比較酸性的時候，因為帶的電量比較高，靜電排斥力比較強所以維持穩定。

接下來我們談表面張力，膠體與表面分不開的，表面張力是膠體最基本的性質，這些圖片各位應該不陌生，水面上的水黓，他的密度比水重，他卻可以很輕鬆的在水面上游走，比方像花朵，也可以懸浮在水面上，這也是表面張力的存在，再看兩個例子，這是一個一分錢的銅板在很小心的放的情況下，他可以浮在一杯水的表面，他本身是金屬卻可以浮在水的表面，另外是蓮葉上的水

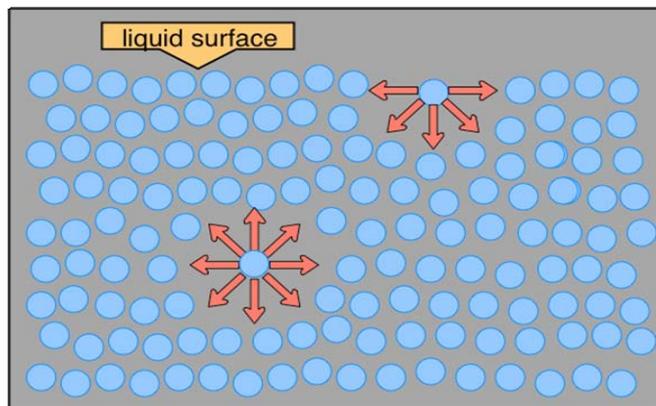


珠，基本上他會形成珠狀，這些現象都是表面存在表面張力的證據，表面張力是怎麼來的呢？表面張力顧名思義他是在表面才有的力，而且是一種張力。張力是相對於壓力一個相反的力，如果是在液體的內部，這個分子受到周圍四面八方的影響，都是均勻的壓力互相相等並且抵銷，因此並沒有特別方向的力。但是在表面不一樣，這是一個表面的分子，在底下和斜下方拉力應該最強，這是吸引力，在他的左右也有一些吸引力，但是在表面與氣體接觸，氣體的分子密度遠比液體低多了，因此這邊的吸引力非常的弱，因此表面的分子受到的力是不均勻的，但是因為裡面拉他的力比較強，因此他是一個內聚力，他喜歡把液體拉在一起，拉在一起就會產生表面張力，表面張力永遠在與表面相切的方向，而且是一種拉的力量一種張力，主要就是因為凡得瓦力的影響，在表面的地方，受到各方向凡得瓦力的吸引不均勻，所產出的表面張力。表面張力的單位可以用兩種表示，一種是每單位長度的力，壓力則是每單位面積的力，表面張力是一種二度空間的力，所以他的單位是每單位長度的力，也可以視為每單位面積的能量，其實表面張力又可以稱為表面自由能，他可以視為每單位表面積所具有表面自由能，所以這個值越小就越穩定，能量越大越不穩定，所以粒子希望表面積越小越好，這也是為什麼液體會呈現球形，因為球形的表面積是最小的，表面自由能也最小。這邊把一般的物質表面的自由能做一個說明，水是最基本的，他的表面自由能是 $72 \times 10^{-3} \text{ N/m} (\text{J/m}^2)$ ，一般的碳水化合物比較低，極性化合物也是比較低，假設水裡面加入一些清潔劑，清潔劑能夠降低水的表面張力，金屬的熔融態表面張力都是很高的 350-1800，最常見的是水銀 476。剛才看到在荷葉上的水滴，他為什麼會呈現水珠狀？我們來瞭解一下，這邊有一個液滴在荷葉表面上，因為表面張力的關係他希望維持成一個球形，但是因為受到重力的影響，希望能夠扁下去，因為位置越低重量為能越低，但是因為這個液滴和他的表面特別的性質，接觸的角度其實是固定的，像這個狀況這邊有一個角度小於 90 度，在另一個情況則是大於 90 度，所以這兩種情況都可能發生，大於 90 度會發生在剛才講的液滴在荷葉上的情形，小於 90 度則會發生在水滴在玻璃上的時候，水和荷葉之間的附著力比較弱，小於表面張力；水和玻璃的附著力比較強，大於表面張力，這些都是內聚力和附著力之間的問題，這邊先介紹一個名詞，接觸角，這是只一個液滴在固體表面，從固體表面算起，經過液滴，一直到達外面的氣相，這個角度稱為接觸角。

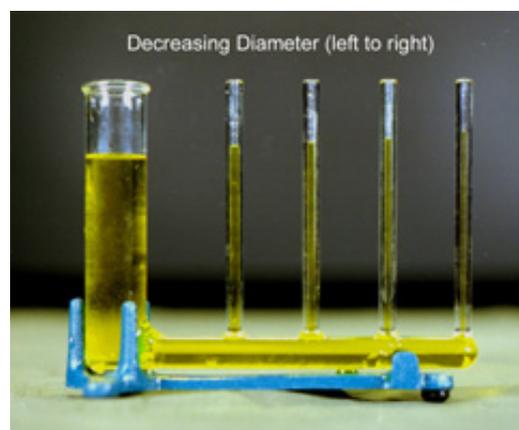




因此如剛所談，水在荷葉上接觸角大於 90° ，水在玻璃上接觸角接近 0° 。那一般的情況則是介於兩者之間，接觸角則不變的，水在玻璃上的接觸角接近 0° ，如果將水銀滴在玻璃上，則會立刻成為球狀，接觸角為 180° ，同樣是液體接觸角差異很大，這個接觸角就是由系統所決定。現在我們看看水和玻璃，水銀和玻璃在試管中有何差別。一般如果在實驗室有注意到都會知道，水在試管裡面是向下凹的，水銀在試管裡面則是向上凸的，為什麼這樣呢？這也是接觸角的問題，如我剛剛說的，水和玻璃的接觸角為 0° ，因此水會希望往上爬，爬到接觸角成為 0° ，因此試管中的水周圍就會往上爬，爬的時候會把中間液體也帶上去，但是因為受到重力的



影響，中間液體就往下沈了，所以產生這種情形；水銀則剛好相反，水銀就是剛好往下跑，因為水銀的接觸角要維持 180° ，因此周圍就會往下跑，往下跑的時候就會把液面往下拉，但是因為重力的影響壓下去並不容易，所以這種情形就會造成液面上生或下降。這就是水的附著力遠大於內聚力，而水銀的附著力遠小於內聚力所造成的結果。剛才所看的水在試管上生的現象就是一種毛系現象，在連通管中，左邊管子比較粗往右邊越來越細，大家會注意到液面高度不一樣，越細的管子高度會越高，這是因為他要維持接觸角 0° ，所以他要往上爬，而越細的管子所需要帶的水量就越少，越容易帶上去，重力的影響比較小，所以可以帶的比較高，越粗的管子就越不容易帶上去，這就是毛細現象。最常見到的就是植物，植物有很多微小的細管，能將水分往上爬。接著我們談一下內聚力



或稱為內聚功，基本上內聚功，就是在單位面積之下，要把單一液體分成兩個表

面，所要做的功，本來液體沒有表面的，要克服表面張力將他分成兩個表面，因此內聚功就是表面張力的兩倍，將一個環狀的東西放下去再將他拿起來，這邊本來是沒有表面的，一旦分離以後就產生了兩個表面，所需要的力量，就是內聚力。

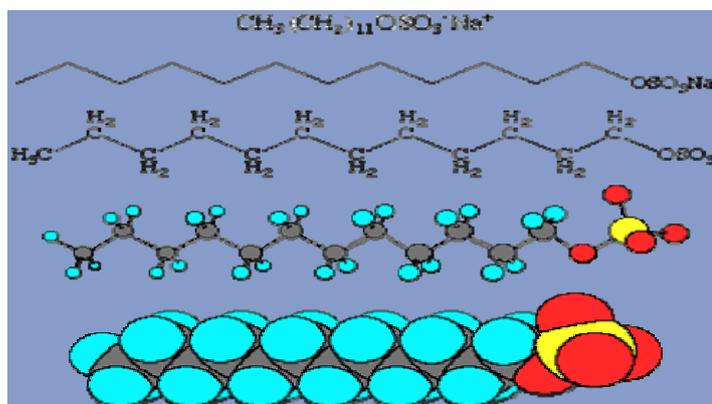
再談到附著功或附著力，剛剛內聚力是指把單一的液體分開，把兩個不互溶的液體或固體，原本接觸在一起的附著表面硬分開，這樣所需要做的功稱為附著功。原來只有一個 A 和 B 的表面，分開以後 A 和 B 分開了，產生了兩個表面，A 表面和 B 表面，分開以後的總能量會增加，分開以後的總能量剪掉分開以前的總能量就是附著力或是附著功。在這邊講到 detergency 的效果，大家可能在中學的時候老師都有講到，我們加入清潔劑或肥皂可以使污垢離開衣服表面或皮膚表面，為什麼有這種現象。這是一種清潔劑的效果，原本 A 是油 B 是衣服，油沾在衣服上，把清潔劑加入之後油污就會離開衣服，油跟水形成一個新的介面，衣服也跟水形成新的介面，要使得附著力降低才能分開介面，所以清潔能夠減少油和水之間的表面張力。另外講一下展布係數的概念，將一個液滴滴在玻璃上會像水銀一樣聚成球或是像水一樣，最主要就是看內聚力和附著力的大小，我們用附著力剪掉內聚力就是展布係數，這個值如果大於零表示附著力比較大，附著力比較大就會自然的展布，反過來小於零內聚力比較強就不會自然展布。所以很明顯水在玻璃上的展布係數是大於零，水銀在玻璃上則小於零。順便提到表面張力的量測方法，用很簡單的量測方法就可以測的很準，這邊他是一個環，將環放到要量測的液體中，然後量測要花多少的力才能慢慢將他拉起來，在脫離的那一剎那，所需要的力扣掉環的重量就是表面張力，也可以不用環改用板子去量測，所需要的力量的除以周長就是表面張力，這些都是很簡單的設備量測也很準。另外談到兩個設備，一個液滴從細管滴下，為何受到重力卻滴不下去，因為受到表面張力，表面張力拉住液滴，但是液體不斷流進來，當液滴增加到夠大時，就會脫離細管滴下去，掉下去的一瞬間液體的重量就是表面張力，要量測的液體和周圍的流體密度差不能太小，密度差如果很小會滴不下去。如果要量測密度差很小的情形，要使用 spinning drop 表面張力計，他把液滴懸浮在另一個連續相，量測兩個不互溶的液體之間的表面張力，旋轉液滴產生變形，表面張力希望能夠維持球形，到最後轉速增加使水珠成為柱狀就可以量測出表面張力。再談到表面張力受到溫度的影響，溫度越高表面張力越低，有線性的經驗式非常適用，有用到臨界溫度，有用到莫爾體積，可接受溫度範圍很大。



表面張力和表面的曲度也很有關係，有一個很有名的關係式叫做 Young-Laplace 方程式，若有一個液滴，裡面叫做第一相外面叫做第二相，只隔一個表面兩相的壓力不同，表面張力的大小和兩邊的壓力差成正比，這個 H 是一個曲度，曲度表面的位置給定之後是唯一，不同的位置曲度不同，但是球體任

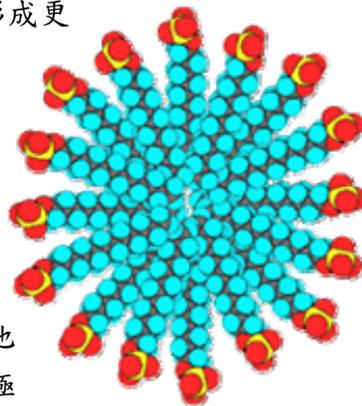
何位置的曲度是一樣的，因為球體是均勻對稱的，曲度可以視為兩個曲率半徑的倒數和，在任何一點，你可以找到無窮組的曲率半徑，但是每一組的曲率半徑其倒數和為定值，通常都有主要的一組曲率半徑，如果是在一個平版，因為平版 R_1 和 R_2 的曲率都無窮大，所以他的曲度是 0，曲度在 0 的情況下內外的壓力就會相等，所以在水的表面，水以內和水以外，他的壓力是一樣的。比方像一個球，這樣一個球形的液滴， R_1 等於他的半徑， R_2 也等於他的半徑，曲度就是 $2/R$ ，所以兩邊的壓力差就等於兩倍的表面張力除以他的半徑，所以內部的壓力就會比較大。這個公式這邊寫 1 和 2，如果 H 向 1 的這邊凹的話就是正的，向 1 這邊凸的話就是負的，所以曲度可以正可以負，通常再凹的地方壓力會比較大，凸的那邊壓力會比較小。再談一個跟表面張力和曲度有關的情形，這個方程式是告訴我們在不同的曲度，液相表面的蒸汽壓會不一樣， P_0 就是在表面曲度為 0 的時候，他的表面的蒸汽壓，比方說水面的表面蒸汽壓為 P_0 ，而如果有一個水滴曲度 H，曲度改變的時候就會影響到他的表面蒸汽壓，當曲度越大蒸汽壓就越大。讓我們來看看，假設一個水滴在 20 度 C 的時候，用這個公式來算一下，這邊 R 是氣體常數，T 是絕對溫度，V 是莫爾體積，如果液滴的半徑是一公分，與平面跟表面蒸汽壓幾乎一樣，當半徑到達微米的時候，蒸汽壓大概差了千分之一，到達 10 個奈米的時候，約相差百分之十一，當然到達一個奈米的時候會差好幾倍，這個現象告訴我們，液滴半徑越小表面蒸汽壓越大，所以要形成半徑很小的粒徑很困難，因為他表面蒸汽壓非常大。

接下來我預備要談介面活性劑，所以談談溶質構造與表面張力的影響，一般來講，如果液相溶有一些溶質的話，表面張力也會受到改變，如果溶質是強電解值，因為強電解值溶於水中時，水合的作用很強，他不喜歡到表面去，所以通常表面張力會略微增加；假如是弱電解值或非電解值溶在水裡面，一般來講他的表面張力會略微降低；如果溶的表面活性劑的話，這些介面或是表面活性劑特別喜歡到表面去，一旦到達表面就會降低表面張力，而且是很顯著的降低，所以他會大幅降低表面張力，一直到達極限的時候影響才會消失。我們看看表面活性劑的構造，基本上表面活性劑他顧名思義，他很喜歡到表面去，為什麼他喜歡到表面去呢？因為表面是兩相的接觸地方，假定我是水和空氣的表面，水是極性分子，空氣是影響比較小的



連續相，假如我有一個分子具有這種構造，一邊具有很長的碳鏈，碳鏈為 CH_2 的結構，另一邊具有極性的官能基，這邊的例子是硫酸的情形，我這邊舉的例子是一種硫酸的鈉鹽 sodium lauryl sulfate，在長碳鏈這邊是非極性的，非極性屬於親油性的，在另一邊是硫酸根，硫酸他屬於親水性的，我們把這種物質親水性

的官能基稱做他的頭，碳氫鏈則稱為尾部。所以一個介面活性劑的分子一定具有頭尾的構造，頭部通常是水性的，親水的；尾部通常是油性的，親油的。這種東西放置在水中的時候，極性的喜歡待在水裡面，非極性的喜歡離開水，所以就形成到表面去的現象。把介面活性劑丟到水中，他就會跑到水的表面，因為極性的喜歡待在水裡面，碳氫面是油性的、非極性的，所以他喜歡待在表面，因此想往空氣跑，因此就會形成這樣的構造，這樣個構造就會降低表面張力，這樣就是介面活性劑的情形。剛才我談到添加濃度的問題，這邊橫座標就是我添加介面活性劑的濃度，縱座標就是表面張力，當加入很少量的時候幾乎沒影響，當加入較多時，會開始大幅的改變表面張力，使表面張力降低，這時候表面的介面活性劑就非常多了。但是當加到一個臨界值以後，又不會再影響表面張力，這是因為所有表面都已經被活性劑分子佔滿了，所以新加入的活性劑只能在水中形成微苞 micelle，微苞的構造就像這樣，為什麼會形成微苞呢？因為在水中，極性分子當然很開心，這些非極性的覺得很痛苦，他們不喜歡水，他們就聚集在一起，所有非極性的都聚在一起，彼此取暖覺得很舒服，就圍成了這樣的一個情形，極性的也維持在跟水接觸，一開始形成球形，之後還會形成更複雜的結構。

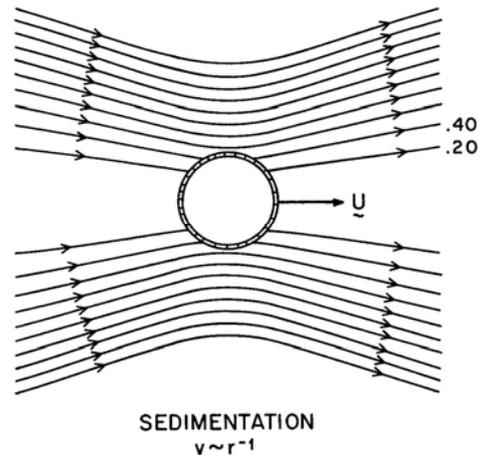


接下來我在講一下泳動，泳動最基本的就是電泳，當我把粒子丟在極性的溶液裡面，粒子的表面都會帶電，帶電的話你給他一個電場，他就可以移動。這邊有兩種粒子藍色的跟紅色的都帶正電，藍色帶的正電比較少紅色帶的比較多，給他加一個電場之後，因為都帶正電，所以都會往負極跑，現在因為紅色的帶的電量比較大，跑的速度比

較快，本來兩者是混和在一起的，但是經過一段時間之後，紅的跑得比較快，藍色跑得比較慢，因此就可以分離的。這種電泳對於微小膠體粒子，尤其是生物醫學方面的粒子進行分離，很常用的一種方法。他也可以用來量測粒子表面的一些性質，講到電泳跟他相對應的就是電滲透，剛才電泳是粒子在動，電滲透就是流體在動，現在這邊有一個孔隙，孔隙表面當然也帶電，假若孔隙表面都帶負電，其中有流體在孔隙之中，這些流體就會帶許多正電，才能達到電中性，如果通上一個電場由右往左，所以右邊是正極左邊是負極，因為固體表面帶負電，溶液中的粒子帶正電，因此溶液就會往負極跑，帶動整個流體往左邊走，這種現象叫做電滲透，他跟電泳是相對的，都是加一個電場利用粒子表面帶電的性質，只不過一個是粒子在動一個是流體在動，這個是電泳的部分。

表面是一種半透膜包覆起來的，所謂半透膜，就是溶質分子不能穿透，但是溶劑分子可以自由穿透。這樣的構造在濃度梯度中會往那邊移動呢？這跟剛剛的擴散情形又相反，他會往低濃度移動，因為左邊濃度比較低，換句話說水濃度比較高，因為滲透壓的關係，左邊滲透壓比較低，右邊滲透壓比較高，水就會從低濃度往高濃度走，溶質卻不能穿透，水從左邊進右邊出，所以粒子就會往濃度低的地方移動，他的應用都是在一些生物上的粒子，有接近這類的構造，生物的粒子對化學的濃度梯度很敏感，他的運動通常可以用這樣方式來解釋。

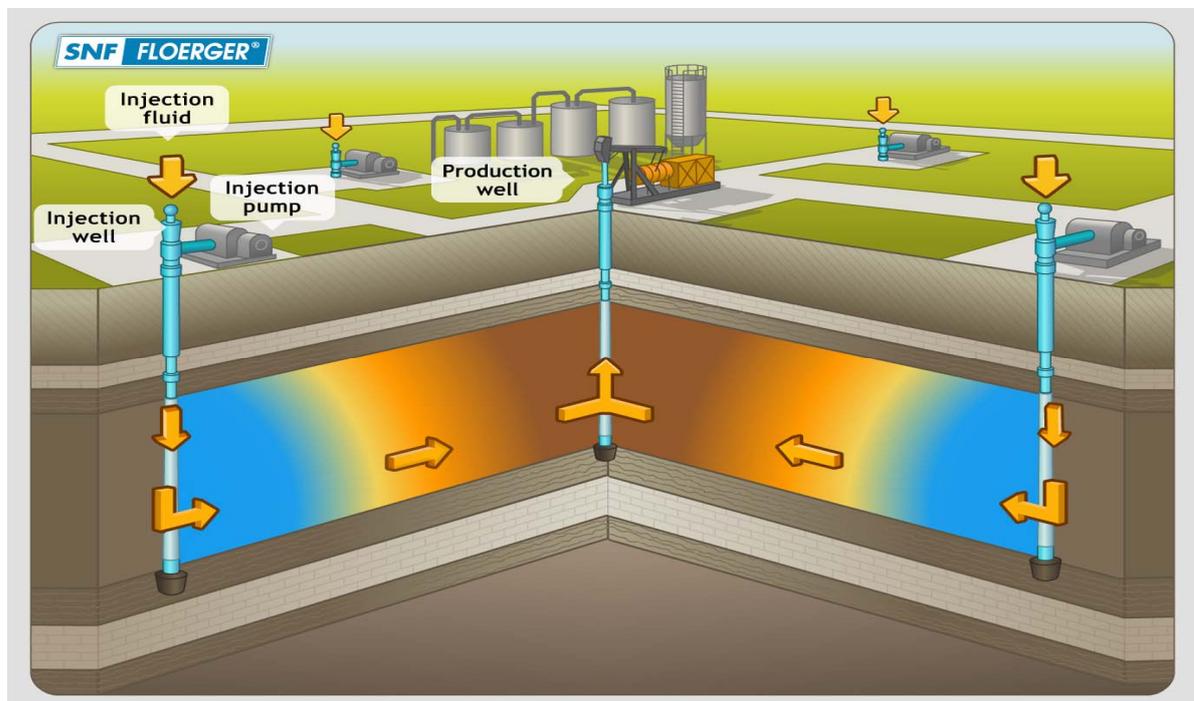
我們來看這些運動流動情形的差異，大家比較熟悉的沈降運動，假若受到重力往右邊的方向，這個粒子往右邊移動，這個粒子在運動的時候他的流線是這樣的一個構造，這種構造在動的時候可以帶走比較多的流體，他的影響範圍比較廣，可是對於一般的泳動，比如說電泳，他就不是這樣，他因為表面會有電滲透的效應，表面因為帶負電，周圍的溶液就會帶正電，表面的溶液就會喜歡往負



極走，因為粒子往正極走，溶液往正極走，就回形成這樣一個回流的情形，所以他的流線是這個樣子，跟剛剛的沈降是不一樣的，他會帶走的流體是少量的，影響的範圍比較弱一點，熱泳跟擴散泳都跟他很接近。不過最後講的滲透泳，因為流動方式不一樣，所以流體結構又有差異，我們來看一下滲透泳，整個形狀跟電泳很相像，只是方向相反，因為溶劑能夠穿透半透膜，所以他一樣是有回流的構造，指示方向是相反的。因為電泳、沈降、滲透泳這些流動構造都不一樣，所以他們在懸浮系統多粒子行為的時候或是在邊界的運動的情況有很大的差異，很多有趣的情況都由此產生。

到了最後的部分，談到膠體與介面在產業方面的應用，我在這邊先舉一個在能源礦業方面的應用，在石油開採，大家都知道開採石油要鑽井，在鑽到一個井之後，天然氣會先冒出來，氣體冒的差不多之後石油開始冒出，一開始因為裡面壓力比較大，油就噴出來了，但是當裡面壓力跟外界壓力差不多之後就不會噴了。這時候可以用邦浦來抽油，抽到一定量之後便抽不動了，到這個階段我們叫做一級採油 primary oil recovery，在這個過程中可以拿到 15%~20% 的油，當然還希望能把剩下的拿出來，所以就要想辦法。因此我們就用灌水的的方式，中間是油井，在周圍打了四個水井，在水井灌水下去，水下去之後就會把油推到中間來，在從中間來抽油，利用灌水產生壓力來抽油，通常都灌鹽水，這樣叫做二級採油，大概可多拿出 15~20% 的油，二級採油後已經將油礦採了 30~40% 了。還有 60~70% 還想要利用，接下來還有方式，這方式跟膠體介面比較相關，我們在水井灌下去

的水裡面加入一些高分子或是加上介面活性劑，在水中加入高分子是想要增加灌進去水溶液的黏度，尤其是在孔隙裡面的黏度，油礦不是一層的，油都是在頁岩的孔隙裡面流動，孔隙非常小的，大約都在 10 幾個 micron 大小的孔徑，灌水的時候水都會往比較溶液走的大孔徑流動，很快的走出來，所以灌進去之後抽出來的也是水，現在加入高分子，可以增加水溶液的黏度，有黏度之後水在孔隙裡面走的比較慢，他就可以慢慢把油帶出來，帶出來之後再將水和油分離。我們也可以在水裡面加入介面活性劑，加入介面活性劑可以降低油水的表面張力，油附著在岩石的孔隙上，就跟油附著在衣服上一樣，用水沖無法將油衝出，所以我加了介面活性劑，降低油水的表面張力，所以油就跟從衣服上脫落一樣，從岩石壁上脫落，脫落就被水帶走抽出，這樣就能夠把剩餘的油抽出，這樣的方法還可以把剩下的油拿出來一半，剩下一半大約 30~40% 的油，到目前為止科技還拿不出來。



膠體介面在廢水處理剛剛也提過了，在凝聚的時候需要將小粒子凝聚成比較大的粒子，才能產生沉降才能夠過濾，才能處理廢水，膠體介面科學在廢水和淨水處理上都是非常應用的。在一些工業產品比方像塗料、顏料、染料，這些都是一些固體的小顆粒，在連續相裡面，比方像潤滑劑或是黏著劑都會添加一些介面活性劑活是其他的一些物質，來改變一些表面上的性質，另外還有像不沾鍋，為什麼炒菜有不沾鍋，因為他做了一些表面處理。化妝品也是一種附著劑，清潔劑也都是膠體與介面範圍的應用，醫藥方面，最簡單的如藥水，我記得從小吃藥之前要搖一搖，因為藥水很容易沈在底部，所以使用前要搖一搖，現在的藥水就很進步，不太需要怎麼搖，因為他很穩定。當然醫藥方面的應用非常多，另外在藥物釋放方面，可以用微苞覆的方法或是其他膠體介面的方法，控制藥物對人體釋放的速度，這些都是醫藥方面的應用。農業與食品方面，一般來說乳類的製品都與膠體相關，像一般的沙拉醬美乃茲也都與膠體相關；農業方面像除蟲劑、除

草劑，當我們在噴藥的時候，大家都知道果實和樹葉表面都有一層蠟值，水溶性的東西噴上去無法沾住，下雨之後就全部被沖光了。可以加入添加劑改變表面的性質，使農藥可以很容易的沾上果實和樹葉。我今天就報告到這個地方，謝謝大家聽講。



Q&A：

Q1：請問一下市面上一些鐵夫隆的不沾鍋，加熱之後分子會不會跑出來，對人體有沒有影響？

A1：其實這些我並不是專家，我並沒有深入研究其中的情形，至於會不會跑出來只是量多少的問題和溫度多高的問題，應該一個產品有事用的溫度範圍，在適用溫度範圍內跑出來的量就是很少很少，那麼溫度如果高於一個溫度就會產生較多的量，所以在正常使用溫度產生的量是非常少，非常少的話對人體就比較沒有影響。但是量多的話就會對人體有影響。

Q2：電泳跟電解有什麼不同？電滲透發生在什麼情形？

A2：基本上電解是屬於化學變化，通電後電解液中發生電子的轉移，比如說你電解水產生氫氣和氧氣，水已經發生化學反應，電泳完全沒有化學反應，是一種物理現象，他純脆是一個物理現象，他是因為粒子表面帶電受到電場的影響產生移動。電滲透在一些很小孔隙，當給他一個電場的時候就會產生電滲透，現在用到的地方像是在地下水的污水處理，就有用到這種技術，假如地下水有一些重金屬或是有機物質，在土壤裡面很難處理他，所以可以使用電滲透去處理他，通一個電場之後，因為這些離子帶電就可以將他們驅離出

來，都發生在很微小孔隙的情形下。另外像一些過濾淤泥的情況也會發生這種情形。

Q3：葛院長你好，我有兩個問題，請問剛剛石油採集之後，第三階段把油水溶液抽出之後怎麼把他變成兩個介面的溶液？報導中有談到油輪翻覆，有提出一個方法處理油污，是加入介面活性劑將油污乳化，在經由空器中的二氧化碳把他變成兩個介面，不知道這個清潔劑教授有沒有研究？



A3：先回答你第二個問題，基本上我並沒有特別研究，的確就如你剛講的，在油污表面添加介面活性劑就是希望他形成油水的乳化物，形成乳化物之後可以用其他的方式處理，至於跟他二氧化碳的反應這我是比較沒有研究；剛才你的第一個問題，基本上也是形成乳化，乳化之後要怎麼拿出來，怎麼樣來處理，其實當抽出之後就比較簡單處理了，因為在地底下比較難控制，當抽出來之後就比較容易多了，有比較多的方式處理，原來添加的物質是讓他產生乳化，抽出來之後希望小的油滴形成大的油滴，基本上就是去乳化的效果，基本上想辦法把原本的介面活性劑減少，或是加入添加物使介面活性劑功能喪失，或是使用物理的方式，例如你可以使用纖維的蒐集器，他是纖維狀的，油滴經過很細的纖維的時候，會附著在纖維上，累積很多油滴之後就形成比較大的油滴，這也是一個處理的方式。事實上，油在水中或是水在油中的處理並不困難，很多種方式都可以做，煉油廠的廢水也都是需要這樣處理，煉油廠可能需要清理管線、清理油槽，清理出來的東西都這種情形，可以用物理的方式或是去乳化的方式，把小的油滴聚成大的油滴，進行分離之後能應用的就應用，不能再使用的就排放掉。

Q4：請問膠體這方面的技術能不能減少空氣中二氧化碳的量？

A4：要減少二氧化碳的排放量，最主要的就是減少排放源，如果減少排放源的就屬於能源或是汽車的排放物問題，比方汽車的排放都是觸媒轉化器的問題這與膠體和介面都很相關，如果直接減少污染排放源都與工業有關，改進工業的製程也是與膠體介面相關，再來就是能源，現在的發電廠



都是燃燒石油和煤這些燃料，如果有新能源的話就能改善，新能源都與膠體介面都有相關，膠體介面是一門跨領域的學門，很多東西都與膠體相關，介面更是無所不在。

Q5：關於膠體容易的穩定，當兩個溶液會互相影響的話，是否會有特別影響？

A5：我們在使用凝聚劑或是分散劑的時候，選擇非常的多，通常是以經濟作為考量，如果要維持穩定的話要增加靜電排斥力，就不要加入鹽類了，離子濃度越低的話，電雙層厚度越厚，才會有越強強的排斥力，粒子才會越穩定。可以加入長鏈的高分子，但是這也要非常小心，如果環境的PH值改變的話，可能會把原本穩定的效果變成非穩定的效果，加的量也有影響。加入高分子物質也一些介面活性劑的效果，一端吸附在粒子上，一端喜歡水不會吸附在粒子上，這樣就會穩定了，但是如果改變溫度或是PH，會改變高分子的情況，有可能會讓高分子互相吸引，所以要注意環境的情況，如果要增加穩定，就要增加靜電排斥力，要讓鹽分的濃度減少一點。