

問：克里安照相照出來的光，究竟是氣，或不是氣？

答：光本身當然不是氣，但是可以看作「氣」的表現。正如一個人的照片，是不是「人」？當然不是「人」。但是牠是「人像」的一種表現（在紙上），可以用來代表「人」。這就是為什麼「相片」有用處，特別是在正式文件上，可以代表「某人」。在物理學上，我們從來沒有真正看見過（用肉眼）原子與電子。我們所能觀察得到的，祇是牠們的「行爲」表現，但是「行爲」與「本體」，是一表一裏，兩者並不相等。

問：中醫科學化，有沒有令人信服的例證？

答：有，明朝李時珍的本草綱目，可以說是完全照研究科學四個步驟得到的偉大成就。本草綱目，世界各國重要文字，都有翻譯，是中國科學典籍中，翻譯最多的。李約瑟推崇李時珍為中國最偉大的科學家。這部藥典，在世界科學史中，佔第一流的地位。李時珍如生在今日，必獲諾貝爾醫學獎金。

第二個例子，是北平協和醫院的陳克恢博士，他提煉麻黃素，介紹於世界，立刻受到熱烈的歡迎，使許多西藥中採用麻黃素，而陳氏在國際醫界，聲譽鼎盛，歷久不衰。所以中醫一旦科學化，在世界學術界，必放異彩。

問：中醫科學化的遠景如何？

答：利用中醫原理，有希望發展出「全身電子診斷法」，期應用於全世界，使「預防醫學」開一新紀元。

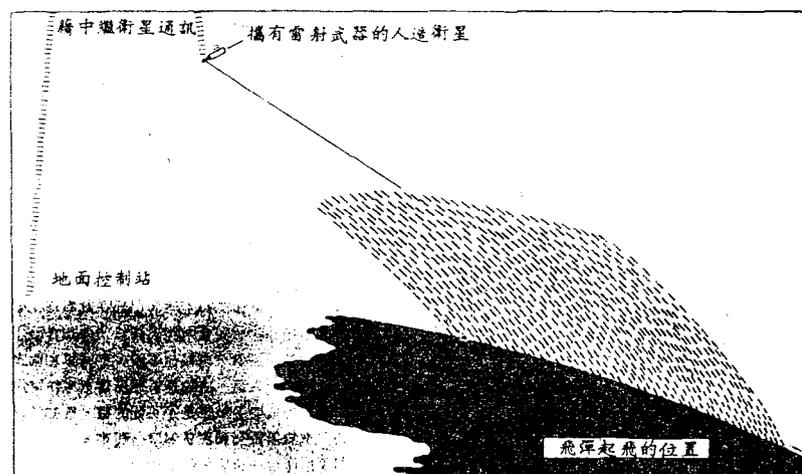
利用電腦，可發展「最佳中藥配方」，期達成「常用方」（優於「阿斯匹靈」之類）及「特效方」（如治肝炎、癌症等）。以穴道診斷及治療為主，可發展「物理醫學」，以輔助「化學醫學」（以藥物治療為主）。

上述的三項發展，祇要有一項有突破性的成就，造福人類，便無可限量。祇有在這一方面，中國人的智慧，可以高度發揮，有希望領先世界，駕人之上。

雷射武器的前途

沈其光

譯案：提起雷射，一般人可能會聯想到「死光」，認為是現代科技所產生的最新武器。最近翻開報紙，也常可看到關於美蘇發展雷射武器競爭激烈的報導。看來再過幾十年，雷射勢必要大出風頭。但是，M. I. T. 的

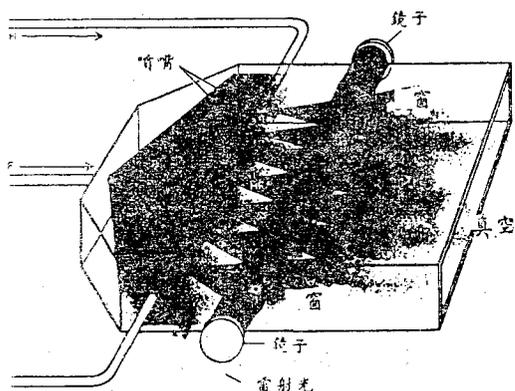


美國想用雷射武器來對付蘇俄的洲際彈道飛彈。裝置雷射的人造衛星，其運行軌道高度至少要 1,000 公里以上。這樣，飛彈在剛升空的階段就會被打下來（大約在升空後八分鐘左右）。如要保證蘇俄的每一枚飛彈隨時都在人造衛星的監視之下，美國得要有五十多個人造衛星才夠，每個人造衛星要對付約 1,000 枚飛彈。紅外線偵測器 (infrared sensor) 或雷射負責偵測並追蹤飛彈；其他的偵測器則負責告訴我們飛彈的距離，以及飛彈被雷射光擊中後的損害情形；在更高處還有中繼衛星 (relay satellite) 負責和地面通訊。這裏還不考慮蘇俄的反制措施，只假設它處於挨打的地位，即使如此，原理和技術方面的限制，也讓人覺得這不會是個實用的武器系統。

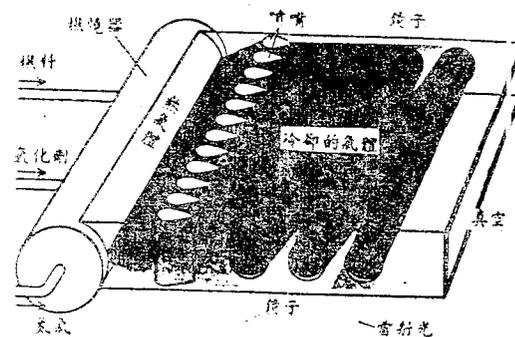
齊皮士 (K. Tsipis) 教授在一九八一年十二月號「科學的美國人」雜誌發表的一篇文章中，却提出了不同的看法，筆者特將原文譯出，供有興趣者參考。

把雷射裝在衛星上，一天二十四小時繞著地球巡邏，這樣就能保護一個國家不被飛彈攻擊嗎？事實上，技術的困難目前尚無法克服，而且只要略施小技，就可對付這種武器系統。

一架高能量的雷射，能輕輕鬆鬆地把相當厚度的金屬板燒穿一個洞，事實上雷射在工業上的用途之一就是切割鋼板。因此，人們很自然地會想到，它應也可在打仗時一顯身手。軍事專家們的構想則是把它作為一種武器，而不是科幻小說中的死光槍。雷射光束可以對準來襲的飛彈或飛機，並且當場將它們摧毀，因為雷射光束以光速前進，所以目標物不可能憑飛



有三種雷射有希望作為武器，化學雷射是其中之一。它是以氣體為介質，氣體分子接受能量呈受激態，而產生「分布顛倒」。介質兩邊各有面鏡子，光在此光學「穴」裏來回走動，不斷地被放大。這裏是利用兩種氣體發生化學變化，而產生受激態的介質。氫和氟分別由噴嘴 (nozzle) 中噴出來，結合而成 HF^* (H和F結合後尚未釋放能量前的暫時狀態)。要延長 HF^* 的壽命 (lifetime)，最好先將這裏面抽成真空，當受激態的 HF^* 回到基態 HF 時，就會放出雷射光。



「氣體動力雷射」 (gas dynamic laser) 是熱氣體忽然冷卻而產生的。燃料和氧化劑 (oxidizer) 在高溫下形成二氧化碳，而二氧化碳在高溫時有好幾個受激態，可藉受激態之間的轉移放出雷射光。在熱氣體中，許多分子在受激態，但是不能產生雷射光，因為這時的「分布顛倒」還不夠顯著。當氣體因膨脹而急速冷卻時，較低能階的分子回到基態，原來的地方空了出來，高能階的分子就可以回到低能階而產生雷射。氫氣在這裏的作用是傳送能量給二氧化碳。

得快而脫逃。在過去的試驗中，雷射可以打下小型的遙控飛機。

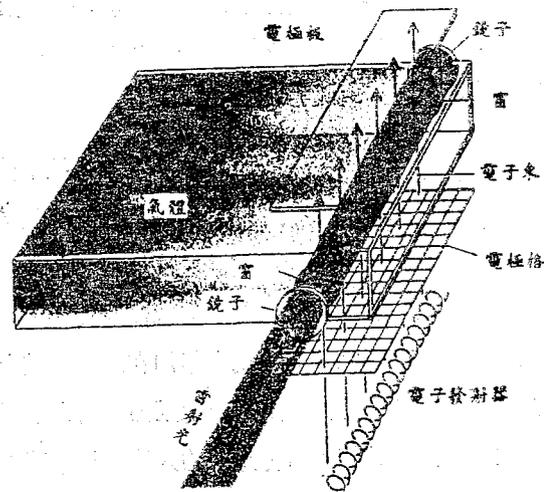
最近，美國國會、國防部和太空工業中有一些人士認為，高能雷射可以用來摧毀飛行中的洲際彈道飛彈。他們認為蘇俄在這方面已下了很大的功夫，美國落後甚多，所以希望雷根政府能大幅度增加這方面的經費（目前每年是美金三億）。他們的主要目標是十年內在地球軌道上部署一系列龐大的雷射武器系統，當蘇俄的洲際飛彈一起飛即可將之摧毀。另一目標則是在地面上建立雷射武器系統，可把敵人的衛星擊落；或是保護重要據點，免遭飛機或戰術飛彈的攻擊。

這種假想武器，對限制核子武器談判或世界軍事力量的平衡會有多少影響，尚未論定。不過，現在得先說明一個更基本的問題：建立一個有效的雷射武器系統，在技術上到底是否可行？在此，筆者認為，十年內不可

能發展出具有上述功用的雷射武器系統。事實上，除非一些基本障礙得以克服，否則永遠做不出來。有些問題是光束在長距離傳播時產生的，這是物理方面，其他還有技術和經濟上的困難。

關於雷射作為武器的可能性，已經在麻省理工學院物理系舉辦的一次討論會中作了評估，參加者除了筆者和同仁之外，還有來自其他學校、工業界和國家武器實驗室的研究人員。結論是：想用雷射來作實用且不過於昂貴的武器，幾乎是不可能的事。欲知為何，讓我們先來看看雷射到底是怎麼一回事。

一架雷射產生一束密集的電磁波，其頻率、相位、傳播方向完全相同（稱之為「同調」），這性質十分重要，因欲造成嚴重傷害，光束就需密集凝聚成細束。理論上雷射光的強度沒有限制；實際上，雷射的強度決定

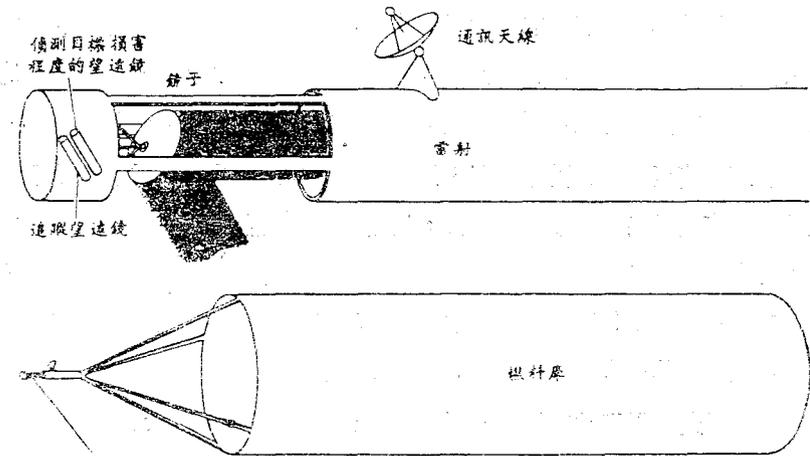


「電子放電雷射」(electron-discharge laser) 是以電子束 (electron beam) 造成氣體分子的「分布顛倒」而產生的。換言之，就是用電子撞擊氣體分子，給氣體能量而達到受激態。電子束是由熱燈絲或利用放電而發射出來，再經過一對電極加速。

於其大小和產生雷射的物質特性。

雷射用的介質可以是固態、液態或氣態，但高能雷射通常採用分子氣體。要使雷射開始工作，得先另外給氣體分子能量。一部分能量增加氣體分子動能（即將氣體加熱）；另一部分則存在於氣體分子的內能（分子的振動、旋轉），在此情形下，氣體分子離開其最低振動或旋轉能階，跳到較高能階上。因此，高能階反而有較多的分子占據，謂之「分布顛倒」(population inversion)。

這種分子會馬上跳回原來的最低能態，同時放出一個光子。雷射的運作就隨不同的「光子—物質作用」而異。一個受激分子放出的光子打到另



雷射裝在衛星上，還需一些其他的儀器。紅外線望遠鏡或光學望遠鏡，在飛彈剛起飛時就要偵測到，並且追蹤其軌跡。一個活動的鏡子負責瞄準目標並發射雷射光。鏡子要很大，反射性強，堅固，還得和設計時的理想狀況絲毫不差（如設計時是一個拋物面鏡，那麼鏡子表面就得是個理想的拋物面）。另外要一個控制系統，一面接收由追蹤望遠鏡送來的訊號，一面指揮鏡子瞄準目標。此外，還有一組望遠鏡和偵測器負責量測飛彈的距離，並估計損害程度。和地面連繫的通訊設備則通知地面飛彈的情形，並接受地面的命令。最大的部分是放燃料以及處理燃料以供給雷射系統。

一個受激情形相同的分子，則第二個激態分子會放出兩個光子，其相位、頻率和原來的光子相同。如此一變二，二變四，四變八……成指數增加。雷射的原文 LASER 即取意於此：light amplification by stimulated emission of radiation 之縮寫。

所謂雷射就是把這些「分布顛倒」的氣體分子，放在一個「空腔」(cavity) 中，兩端各放一彼此平行的鏡子。受激分子放出的光子，在鏡子間來回反射遊走，使其他分子也變成受激態。因為只有恰好垂直於鏡子的光束，才會在固定路線上來回走而被放大，所以保證其方向相同而不發散。若其中一面鏡子成半透明，則雷射光就可以發射出來了。

一個可見光的光子只有不到 10^{-19} 焦耳的能量，而一個雷射的輸出能量可高達數千焦耳，且可在幾百萬分之一秒的時間內發射出來。其原因是在這短暫時間內，有很多原子（差不多 10^{23} 個）受激而放出光子。

有三種高能雷射曾被考慮用來作為武器，其分類是依介質產生「分布顛倒」的方法而定。就氣體雷射言，是藉爆炸而產生氣體（如二氧化碳）的，在高溫下形成的氣體使大部分氣體分子都在受激態。再將這些氣體通過一排噴嘴（nozzle）而膨脹，並使溫度急速下降，這些受激分子來不及回到基態，因此造成「分布顛倒」，隨即產生雷射光。

第二種是「電子放電雷射」（electron discharge laser）。把電子束打到氣體介質中，氣體分子與電子碰撞而吸收部分電子能量，使分子躍升至較高的振動或轉動能階，藉此機構可以連續地達到「分布顛倒」，而發出連綿不斷的雷射光。

第三種是化學雷射：兩種元素（如氟和氫）或化合物結合而成一種新的化合物（如氟化氫，HF）。剛剛結合的分子是在受激態（因為是放熱反應），如果把環境的各種條件控制好，則在它還沒放熱前就可以先因「分布顛倒」而達到雷射的作用。

以上三種方法都能有效地產生「分布顛倒」，但是雷射所需「空腔」的大小和它所能處理的功率，在實用上仍是有所限制。目前高能雷射的研究發展，就是希望能放寬這些限制。

一個雷射武器和其他武器有三點重要的不同：一、它所攜帶足以摧毀目標物的是高能量的電磁波束，而非像飛彈或砲彈所攜帶的具爆炸性的物質。二、它的能量速度是每秒三億公尺，而超音速飛彈則是每秒一千到二千公尺。三、雷射光束一定要打到目標才能摧毀它，而一個爆炸彈頭只要在目標附近爆炸就可以了。因此雷射武器要摧毀目標物，必須先能準確地測出目標物之位置，且雷射所指向的位置亦必須具有相同的精確度。

知道了它的特性之後，我們可以想到三種它能擔任的使命：一、它裝在人造衛星上，可以攻擊剛起飛尚在推進階段的洲際飛彈（在起飛後八分鐘內），或攻擊軌道上敵方的人造衛星。二、裝在地面則可以擊落飛機或從上空飛過的衛星，裝在船上則可打擊來襲之飛彈。三、裝在飛機上亦可打擊敵機或飛彈。

要達成上述使命中的任一種，雷射武器系統還得有下列的本領：首先必須偵察到目標，並且分辨出它是否為誘餌或是其他物體。然後雷射對準目標，追隨其運動，接著發射雷射光束。每發射一次，系統皆須測定其是否命中，沒打中的話則須知道到底偏差多少，應如何修正，經修正方位再發射，若仍未能命中，則系統須有重複這些再瞄準與再發射的能耐。最後它必須把結果呈報給指揮所。

系統要能做到上述的這些要求則除了雷射外，還需要幾種元件配合。如一面能精密操縱的大鏡子，準確地導引光束發射的方向；感覺器（sensor）的輔助儀器則具有偵察目標、識別敵我與精確、穩定地定出目標物位置的能力。感覺器所得到的資料還需經過幾個控制元件來帶動前述的大瞄準鏡。除外，還要一組特別的感覺器，可告訴我們目標損壞的程度

，或光束打偏了多少距離。當然，這套系統還要有能產生並儲存能量的設計，在適當時機供給雷射強大的脈波。

如果雷射武器系統是在太空中操作以攻擊大氣層以外的目標，當然光束是可走一段相當長的距離。因為光在真空中傳遞毫無妨礙。然而光本身具有波的特性，會因繞射而使光束發散，假設鏡子的表面平滑度和形狀十全十美，光束發散的角度和雷射光頻率、鏡子的直徑都成反比關係。所以鏡子愈大，光束頻率愈高愈好。

雷射光穿過大氣層會衰減和色散，空氣中的分子和小水滴等，都會吸收光或是使光束發散。二氧化碳雷射放出的紅外線光束在乾冷的空氣中，每走四公里強度就衰減一半；熱濕空氣中則每一公里就減半了；（譯註：濕代表空氣中小水滴較多，熱空氣中則分子運動速度快，使光束發散得更厲害。）雲、煙、灰塵、霧則幾乎能把光束完全吸收。簡言之，雷射武器放在大氣層中，到底能發揮多大功能，要看天氣好壞。這種「靠天吃飯」的特性，無疑是它的大致命傷，尤其是作為防禦性武器，敵人在天候不好時來犯，也只能束手無策。即使晴空萬里，大氣中的一些現象還是會使雷射光偏折、散射甚至被阻擋。例如，亂流（turbulence）使空氣密度產生局部變化，光線經過就會偏折或發散。晚上看見星光閃爍，就是因為星光時有偏折，傳不到我們眼睛而造成的視覺效果。（譯註：物理中提到的司乃耳定律，就是講光折射的效應。只是介質密度的變化，實際上是連續的，而非由某介質突然變成另一介質，其界面也不一定是直線。這個推廣工作需要微積分的觀念，一般古典力學或物理光學的書籍會提到「光束光學」，就是討論這件事情。）

雷射光束的能量大部分被空氣吸收，所以光束經過之處會變熱，因而膨脹，造成一個低密度的通道，光波因此遠離這段熱空氣而偏折，這現象俗稱「熱開花」（thermal blooming），這也就是雷射光束在空氣中發

散而不能凝聚的主要原因。

雷射光傳送的最後一個困難是雷射光束穿過大氣層可能會產生電漿。因為強光束代表強電場（光即電磁波），當強度達到一千萬瓦／平方公分時（確實數字視頻率而定），電場已夠強足可使電子由原子中游離而產生電漿。電漿會吸收光束，阻礙光束前進，所以雷射光通過大氣層後的強度也有上限，不可能太高。

雷射摧毀目標的方式是將熱能集中目標物，使其超過所能負荷而被破壞。所以只有目標物表面所吸收的能量才算數。例如光亮的鋁片只吸收紅外線雷射4%的能量，剩下96%都反射掉，不構成威脅。

到底目標物能吸收多少雷射能量，則要看輻射頻率、目標物表面和所用的材料而定。可見光、紅外光最容易被光滑的金屬表面反射，所以通常只有10%不到的雷射光能量會被吸收而造成損壞。紫外線的情形就好多了，約有50%以上會被吸收。

至於利用高熱來破壞目標（如飛彈）有好幾種方法。單位面積所需要的能量也看是用那一種方法而定。例如沒有保護裝置的人造衛星電路，只要被1瓦／平方公分強度的光束照射幾分鐘就會故障，而這強度約是大氣層頂端太陽光照射強度的十倍。一塊數毫米厚的金屬板，吸收1千瓦／平方公分強度的光束，只要一秒鐘就會融化（即每平方公分吸收一千焦耳能量）；但要達到如此效果，紅外線雷射發射的光束要 $2 \cdot 10^4$ 焦耳／平方公分才行，因為大部分能量都被反射了。

因雷射在很短的時間內放出高能量，所以瞬間強度可高達 10^6 瓦／平方公分（雖然平均功率要小得多）。目標被擊中後馬上失去光澤，因此吸收能量的比率逐次增加，理論上有可能最後燒穿一個洞。

若目標在大氣層中，則約 10^7 瓦／平方公分的強度可使目標前的空氣游離，在光束照到的部分產生一電漿層，吸收光束的能量而變成白熱狀態

(約 $6,000^{\circ}\text{C}$)。電漿有兩種方法釋放這能量：一是輻射紫外線，一是爆炸，兩者都會增加原來光束能量的30%，減輕雷射的負荷。

強脈波的雷射光束會使目標物表面的金屬蒸發，而以高速脫離。根據動量不減定律，原目標物也會受到一個大小相等、方向相反的動量，這會使它扭曲甚至破裂，而達到破壞的效果。

由以上說明的各種效應，我們可以估計一下，雷射武器在執行各種任務時可能會有的表現。在這裏要特別探討，人造衛星上的雷射，當敵人洲際飛彈甫發射即予摧毀的可行性有多大？雖然距這種應用還很遙遠，但也是最有趣的；而且在公眾場合討論雷射武器時，這也是最熱門的話題。

這種反飛彈雷射要裝在 1,000公里高空的人造衛星上。在這麼高的軌道上，經過蘇俄飛彈發射台上空的時間很短，因此，如要保證蘇俄飛彈隨時都不離美國人造衛星的監視，得要 50 個人造衛星才行。一個衛星負責 1,000枚飛彈。如果它們全部起飛，而要在起飛階段（發射階段的八分鐘）就將之全部摧毀，則摧毀一枚飛彈的時間只有半秒鐘。

我們的研究小組發現，用脈衝的方式（impulsive loading）可以有效地攔截洲際飛彈。通常，只要目標吸收了 $1,000$ 焦耳/平方公分強度的能量就會破裂，這強度可用功率 10^6 瓦/平方公分，為時 10^{-4} 秒的脈波來傳送。實驗室的觀察發現，這樣的脈波只要十個，就能把飛彈表面穿個洞。

那麼這樣的雷射本身要產生多少能量呢？先假定用氟化氫（HF）脈波雷射，鏡子也和當初設計的一樣，直徑 1 公尺。既然只有 10% 的能量被吸收，所以本身要輸出 10^4 焦耳/平方公分。雖在 1,000 公里外，光束涵蓋的面積應和原來鏡子的面積差不多——8,000 平方公分，如此，則每次脈波要攜帶約 8.10^7 焦耳的能量。如果脈波只有 10^{-4} 秒，則輸出功率要高達 10^6 MW，這樣高的功率目前還沒法作出來。（一個大型商用發電廠只

能輸出 10^3 MW）。

如果雷射光束是綿綿不絕地發射出來，那麼就不用那麼大的能量，且也不必一定要使目標物的表面破裂，只要能燒一個洞就好了。那麼，以 2 毫米厚的鋁板為例，它只要有 400 焦耳/平方公分的強度就會融化了，假定鋁的反射率達 90%，則一個 100 MW 的二氧化碳雷射，要 100 秒才能把目標燒個洞；但事實上雷射摧毀一枚飛彈的時間只有半秒。

或許，把鏡子做大一點可以解決這問題。直徑 4 公尺，輸出功率 100 MW 的 HF 雷射，可以在 1 秒之內摧毀目標；但可惜世界上還沒有一個國家的光學工業技術，可以造出直徑 4 公尺，且合乎規格的鏡子。

此外，雷射武器系統燃料的需求也是一難以克服的障礙。即使在能量轉換中沒有損耗，一個 HF 雷射要摧毀一枚飛彈需要 660 公斤燃料。如果一個人造衛星負責 1,000 枚飛彈，那麼它要帶 660 噸的燃料，而一架太空梭只能載重 33 噸；前文提到要 50 顆人造衛星才能保證蘇俄的飛彈隨時都被監視，所以要 1,000 架次太空梭才能供給所需之燃料。如果只有四架太空梭，每半年飛一次，則要 125 年才能把油料運到人造衛星上！

事實上，剛才的估計還是過分樂觀的。首先，100 MW 的 HF 雷射根本不存在，而且短時間內也不會發展出來。此外，能量轉換的效率也不可能是 100%，目前的雷射只有 10% 不到，也許有一天會到 30~40%；轉換能量的效率最多不過 30%，所以實際需要的能量還要加個 10~30%。

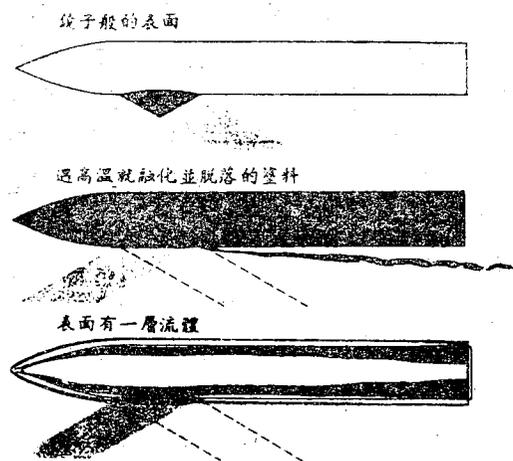
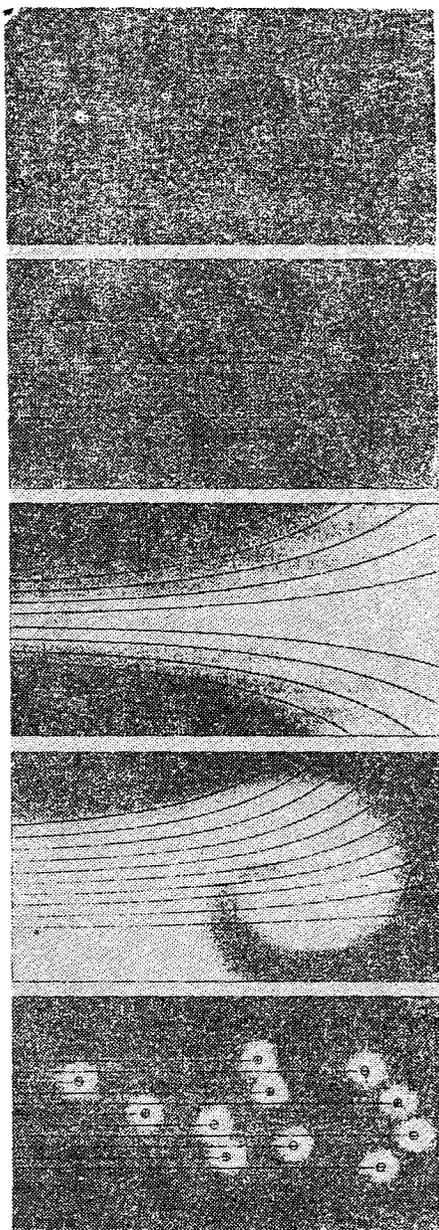
或許有一天太空雷射系統部署好了，但它能否發揮功效還是問題，因為只要用些簡單又便宜的反制措施，它就束手無策。在部署、建造這段長時間內，它很容易受到反人造衛星武器的攻擊，即使已經完成部署，在緊要關頭，敵人還是可以擾亂其通信、偵測、追蹤等系統。

另一個太空雷射系統的用途是作為反人造衛星系統，但可行性尚值得商榷。首先，人造衛星很容易遭爆炸性武器攻擊，只要將武器準確地擺在

軌道上或裝個追熱儀器即可，它會自己找衛星，用不著多費功夫，何況雷射放在人造衛星上本身就不保險。而且雷射系統本身很複雜，不易保養，要使它比直接由地面發射的殺手衛星還划得來，幾乎不可能。

現在，再看看高能雷射在大氣層中作為武器的前途如何？理論上，它可以保護飛機、船免遭敵人飛彈攻擊，或是負責摧毀敵機。不過像超音速自我導引飛彈或快速火炮，也可以達到同樣的效果，問題是雷

大氣的干擾可使雷射光偏折或減弱。光束會被空氣中某些物質吸收，或被空氣中的灰塵和小水滴發散，甚至空氣分子都會吸收或散射光束。熱開花則是因為光束和空氣碰撞產生熱量，使空氣密度局部變小，因而使光束偏離。大氣中的亂流使密度和折射率產生變化。因為這變化是無法預測的，所以光束偏折的情形無法預知。雷射光如果非常強，則空氣分子會變成離子而產生電漿，進而吸收並阻擋光束的前進。



有些並不十分昂貴的防禦方法，能保護飛彈不受雷射武器的威脅。最顯而易見的方法是增加飛彈表面的反射能力。另一個辦法是在飛彈外層包一層高溫時就融化並脫落的物質 (ablative coating)，這樣就能帶走雷射所輻射的能量。或是使飛彈頭部能不停地分泌一層流體，也有同樣的效果。此外，也可使飛彈自轉，把雷射的能量散在較大的面積上，損害就小了。

射在這方面是否有獨到之處？在近距離的防禦上，雷射是否更有效或更便宜？

首先要考慮的是雷射光束在大氣中傳播的情形。剛才已提過「熱開花」、吸收和大氣中的游離等效應。單是熱開花、吸收這兩個效應，就會使紅外線雷射在 5 公里後衰減 100~300 倍。如果光束照在目標上的面積和原來發射時鏡子的大小相仿。則雷射輸出的能量就要為所需能量的 100~300 倍。這樣又引出另一個問題：雷射光要先經過兩面鏡子來回反射，那麼除非這鏡子的反射率比目標高出 200~300 倍，否則目標未摧毀前鏡子就已吃不消了。如果對方把飛彈或飛機塗上一層反射膜，則目標就像鏡子一樣亮（即反射能力一樣強）。

這問題或可試著這樣解決：造一個大鏡子，在距離目標數公里外先聚

焦一次，這樣一來光的強度就可以增加，因為截面積變小了。但是這樣並不實際，因為直徑大過1公尺的鏡子操作起來很不方便；此外大的聚焦鏡並不好用，因為這麼寬的光束容易因大氣中的亂流而發散。至於花在如何製造高反射性鏡子和散熱問題上的功夫，敵人只要塗一些反射性薄膜就抵消了。在改進雷射和反制工作之間的競爭，雷射先天上就處於劣勢，因為即使是好天氣，大氣層本身就對它不利。

以雷射防禦飛彈攻擊，或可採取一種戰術，就是等飛彈飛到1公里時才攻擊。如此，雷射光束只衰減10倍而非300倍，這樣反射鏡就可造得出來，但是雷射所能瞄準的時間也相對地減少了。通常，飛彈以兩倍音速接近，這樣只有約1.5秒的時間可以瞄準，也就不能同時對付多枚飛彈了。同樣在1.5秒內，快速火炮却可以發射好幾發砲彈。

儘管雷射光比一般火炮快上百萬倍，但是在近距離作戰上，它並不比快速火炮好多少；相反地，它還有幾項缺點：飛彈只要一直排放一種薄膜狀物質於彈頭上，以便吸收能量再散熱，就不怕雷射了，此外飛彈可以藉著轉動而散熱。更重要的是如果天氣不好，雷射連1公里遠的目標都打不到。

最後要考慮的是：對雷射而言，偵測和追蹤目標的要求比其他武器系統要嚴格。因為一般火炮只要在目標附近爆炸就可構成威脅，若配有紅外線追蹤儀就更不必那麼準了，因為它自己會找目標。雷射却非要射到目標才見效。

總歸一句話，雷射的優點在近距離並不顯著。却要受許多限制（如天氣），此外反制也容易，而所要求的追蹤精確度又很高。這樣看來，這種嬌生慣養又沒有特別突出之處的武器，很難想像它會提高一個國家的軍事力量。

不過，這並不代表高能雷射一無是處。儘管它作為武器的希望不大，但在工業上，尤其是化工和能源工業上（核融合反應）還是非常有用，美國今後應該在這方面好好下番功夫才是。（譯自 K. Tsipis, "Laser Weapons", Scientific American, December, 1981）

編註：本文作者畢業於交大電子研究所。

悼 耀真學妹 王樹芳

先室朱耀真女士，江蘇省上海縣人，生於1909年3月1日，家出名門，為上海城內巨族，係明太祖之後裔，父母早亡，由祖母及叔父撫育成，初在朱氏宗祠家塾讀書，後進梵王渡聖約翰大學旁之聖瑪麗女子中學校，再考入上海交通大學，專修鐵路管理財務門，1933年畢業得學士學位。英文造詣深，歷次參加校內和滬上各大學校際英語比賽為校友所稱許。其叔朱樹怡及堂弟朱耀漢均母校先後同學。出校後奉派在京滬滬杭甬鐵路擔任稽核工作六年。抗戰軍興，即赴香港，於1938年與余結褵不及一年，隨往廣西南寧，時余任職湘桂鐵路南工程局工程師，在敵機空襲頻仍之中，沿江西上，經過梧州、貴縣、柳州，飽受驚險，生活艱苦。嗣因戰局西移，工程停頓，樹芳改就貴陽西南公路局機務組長職務，耀真懷孕不宜顛波進入黔州，祇得由余送至廣州灣，隻身搭乘小輪過港轉乘外輪回滬，依余母親同住。不久早產，生子德瑞，嬰孩體弱多病，撫育不易，同時，以教英文為生，因余在後方，收入菲薄，無力接濟，如此七年，極盡辛苦。1945年戰爭結束，伊得復員返回京滬鐵路報到，俟樹芳由美考察回國，就職南京，耀真亦蒙調在交通部秘書室工作。1946年4月樹芳奉命參加駐日代表團外交部人員。1947年耀真携八歲幼子同住東系，不期客居竟達三十六年，成為僑民矣。

中學時期，便信耶穌，1940年結合同事教友婦女，先組婦女會，又辦兒童主日學，引人歸主，訓練青少年，推動教會工作，三十年來忠心如一，小兒及余均由渠帶領鼓勵也。秉性爽直，處事認真，待人誠愛，嫉惡如仇。平生摯友甚多，可見肺腑，但因心直口快，甚易逆人。亦常見渠自

*時凌竹老任桂南工程局局長