# 大氣中的丁達爾現象

## 069 為甚麼光線穿過牛奶時會出現一條光亮的通路？

光線通過牛奶時會在顆粒的表面發生散射現象。

當你倒好一杯牛奶準備喝掉時，是否想過用這杯牛奶就能做一個有趣的物理實驗呢？這個實驗很簡單，先把這杯牛奶稀釋一下，然後，用激光筆發出的光線照射這杯牛奶。這時你會發現，牛奶中出現了一條光亮的通路。為了進一步研究這個現象，你可以再試着把光線照射到一杯純淨的自來水上，這時你會發現水中沒有光亮的通路。稀釋過的牛奶是不太透明的，為甚麼會出現一條光路呢？相反，自來水是非常透明的，為甚麼反而見不到光路呢？這其實就是**丁達爾現象**，它是由英國物理學家丁達爾最先成功解釋的。

牛奶由水和固體顆粒構成。這些固體顆粒主要是脂肪和蛋白質分子，光線通過牛奶時會在顆粒的表面發生散射現象。這時固體顆粒就像一個個的發光體，無數顆粒對光線散射的結果，就形成了一條明亮的光路。而且顆粒的濃度越大時，對光線的散射作用就越強，你看到的光路也就會越亮。對於水分子而言，它對光線的散射作用要小得多，因此我們無法觀察到水中的光路。值得一提的是，牛奶中顆粒的濃度也不能太大，如果你直接使用沒有稀釋過的牛奶做同樣的實驗，入射光的大部分都被吸收或反射掉，明亮的光路也就觀察不到了。

這種會出現丁達爾現象的體系被稱為膠體，膠體中的顆粒直徑一般在幾十納米到幾微米之間。如果你留心的話，在生活中也經常能看到丁達爾現象，比如城市夜空中打出的激光束，我們可以清晰地看到它傳播的路徑，這其實就是光束被空氣中無數懸浮塵埃散射的結果。可以想像，空氣中浮塵的濃度較小時，我們就很難看到這條光束。這不正可以作為判斷空氣質量好壞的一種方法嗎？（楊光 黃吉平）

丁達爾現象

英國物理學家丁達爾

**科學偉人**

**丁達爾 (Tyndall)**

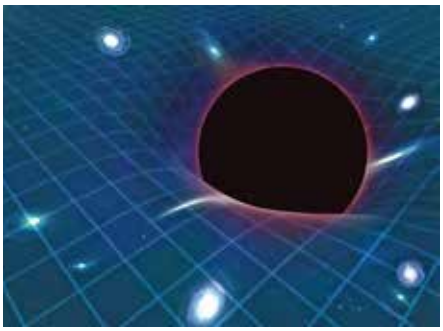
約翰 • 丁達爾（1820 – 893），英國物理學家，首先發現和研究了膠體中的光學現象，後人稱之為丁達爾現象。丁達爾一生出版了 17 部著作。對抗磁體的研究使他在物理界獲得了很高的聲望。後來他還在熱輻射領域做出了許多貢獻。

# 034 為甚麼連光也逃不出黑洞？

黑洞的引力極大，使宇宙中跑得最快的光，
也不能擺脫其引力。

時間和空間是各種物理現象上演的舞台。可是，這個舞台並不是堅硬無比的。宇宙中的大塊頭可能會把這個舞台踩壞。

為了顯示時空舞台的彈性，我們可以把時空中的空間截面想像成一張橡皮膜。宇宙中的各種物體，比如地球、月亮，都是踩在橡皮膜上的舞蹈演員。地球登場後，把橡皮膜踩得陷了下去。所以地球旁邊的月亮需要繞地球旋轉，利用離心力才能確保不掉到地上來。同時，要想從地球上發射宇宙飛船，飛船也得耗費好多力氣爬出這個凹陷的區域，才能在宇宙空間中暢遊。



© 黑洞引起時空畸變

不過地球在宇宙中實在算是個輕量級選手。假想有一個和地球一樣大的傢伙，密度卻是地球的 8 億倍。這樣的演員一上台，就會把橡皮膜舞台踩出一個洞，自己也撲通一下掉到洞裏。我們把這個洞叫作**黑洞**。

站在遠離黑洞的地球上，我們會發現黑洞把橡皮膜踩得如此彎曲，以至於無論用多大的速度發射飛船，也不能從黑洞的邊緣逃出來。就算是宇宙中跑得最快的光，也不能逃出黑洞。既然光不能逃出來，黑洞看起來好像就是黑的。這就是黑洞名稱的由來。

讀者可能會好奇，既然黑洞把時空橡皮膜踩壞了，那麼壞掉的區域是甚麼樣子的呢？黑洞「裏面」有時空嗎？沒有人能到黑洞裏看一眼，再出來告訴我們這個問題的答案。可是根據理論推測，黑洞裏面確實是有時空的。大自然自動給踩壞的橡皮膜打了一塊補丁。不過，不知道大自然是粗心還是故意的，把這塊補丁的方向弄「錯」了，以致黑洞裏面的時間方向是我們的（沿着黑洞半徑方向的）空間方向，我們眼中黑洞中心到表面的空間方向則變成了黑洞裏面的時間方向。

由於黑洞裏面時間和空間調換了位置，我們外人認為的黑洞中心，在黑洞裏面的補丁時空上實際是未來。於是，黑洞裏面的所有物體，無論怎麼想「往外跑」，都不可避免地掉進黑洞中心，因為這裏是它們的未來。這樣，黑洞中心聚集了大量物質，密度超過了已知物理規律所能描述的密度。在這黑洞中心會發生甚麼，對我們來說還是一個謎。（王一）

**微博士**

**黑洞是宇宙中最明亮的天體**

儘管黑洞的引力可以使得光線都無法逃脫，但是黑洞在吸收物質過程中，會使物質摩擦增温而發光。宇宙中最強大，而且最有活力的天體類星體核心可能就存在超級黑洞。從這個意義上説，黑洞其實是宇宙中最明亮的天體。

# 024 為甚麼要到深深的礦井中去探測中微子？

因為要借助厚厚的巖層屏蔽來自宇宙線中其他粒子的干擾。

香港放大鏡

**香港的粒子物理學研究**

香港學術界亦有進行粒子物理學的研究。由於進行實驗的地點須屏蔽，香港大學及香港中文大學共同向香港仔隧道借用兩個管道間的一處空間，並在深夜前往該處進行相關研究。

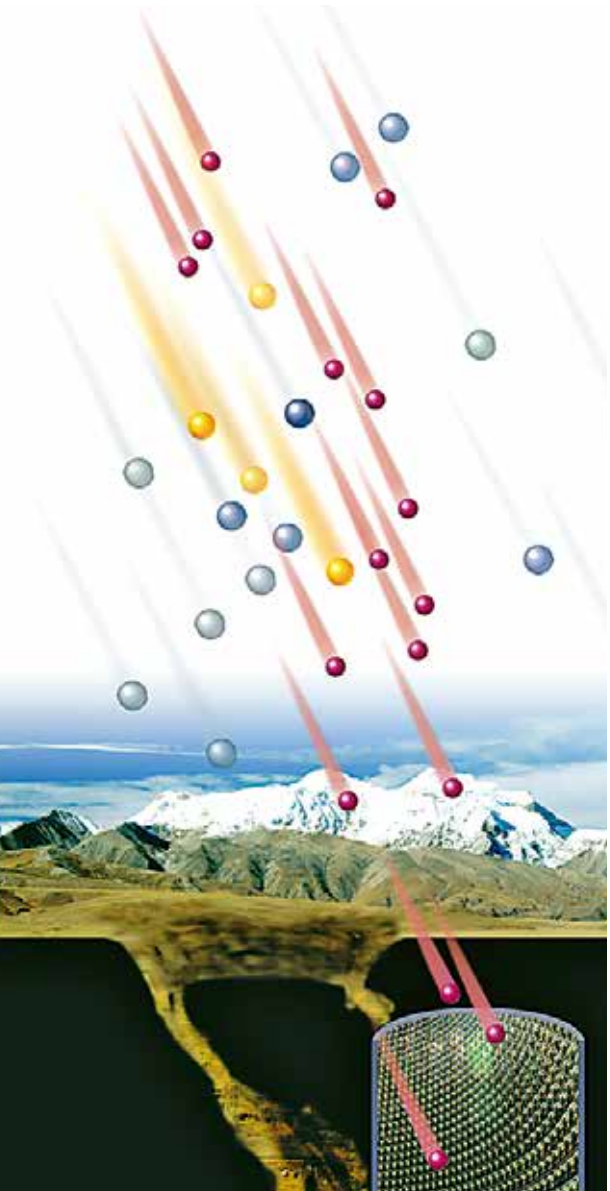
電影《2012 世界末日》中，印度一處銅礦礦井深處工作的核物理學家發現，來自太陽的**中微子**與地球巖層發生作用，加熱地殼，使得大陸板塊加速漂移，造成了世界末日。當然 2012 年我們已經安然度過，可中微子究竟是甚麼？為甚麼物理學家要到深深的礦井中去探測中微子呢？

中微子是最神祕的基本粒子。與中微子相關的實驗經常讓人們大吃一驚，一次次加深了人類對微觀世界的認識。

20 世紀初物理學家注意到，中子衰變成質子的貝塔衰變時釋放出來的電子能量總是不固定的，說明有些能量神祕消失了，彷彿違背了物理學中最基本的能量守恆、動量守恆規律。這個問題非常嚴重，玻爾甚至提出，在微觀世界裏這些守恆定律可能並不成立。為了解決這個問題，奧地利物理學家泡利提出，貝塔衰變時除產生電子外，同時產生出一種質量非常小的中性粒子，是它攜帶走了那些「憑空消失」的能量和動量。1933 年費米正式把它命名為中微子。

其實我們隨時都「沐浴」在中微子的海洋裏，它們主要來源於太陽內部的核反應，不過它不會像電影裏那樣造成世界末日，恰恰相反，由於弱相互作用的反應截面非常小，中微子很少與其他物質發生相互作用。每秒有 1000 萬億個太陽中微子穿透我們的身體，我們根本感受不到。中微子這種強悍的穿透力讓科學家吃盡了苦頭，直到 1956 年，美國科學家柯溫和萊因斯才第一次觀察到了中微子存在的實驗證據，後來科學家還發現中微子有幾種「味道」(即種類)，分別對應基本粒子中的電子、繆子和陶子，它們都屬於輕子。

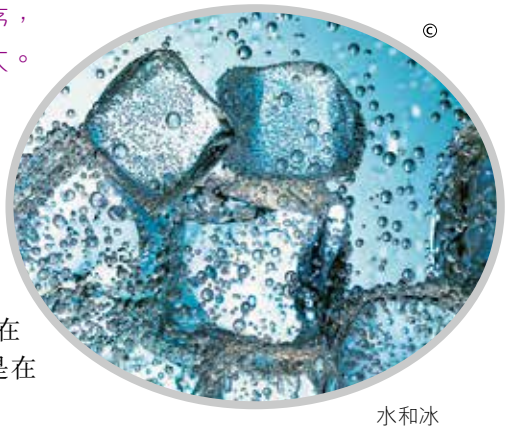
為了看到一些中微子，弄清它的性質，科學家只能守株待兔，用好多噸物質作為靶子來「接待」中微



Ⓚ 地下中微子探測實驗

# 045 為甚麼水結冰時會膨脹？

水分子中的各單個分子的排列更為有序，
各個分子間的距離變大。



水和冰

大多數物質都有熱脹冷縮的特性，但有些物質在一定的溫度範圍裏卻會表現出相反的特性，即受熱時收縮，遇冷時膨脹。具有這種反常膨脹特性的物質裏，最常見的就是水，它在 4°C 以上或 0°C 以下都遵循熱脹冷縮的規律，在 0°C 至 4°C 卻表現冷脹熱縮。4°C 的水密度是最大的，越接近 0°C，密度越小，水在結冰時，它的密度變得更小，因此冰總是浮在水面上。如果我們仔細觀察水結冰的過程，會注意到冰首先是在水面出現的。

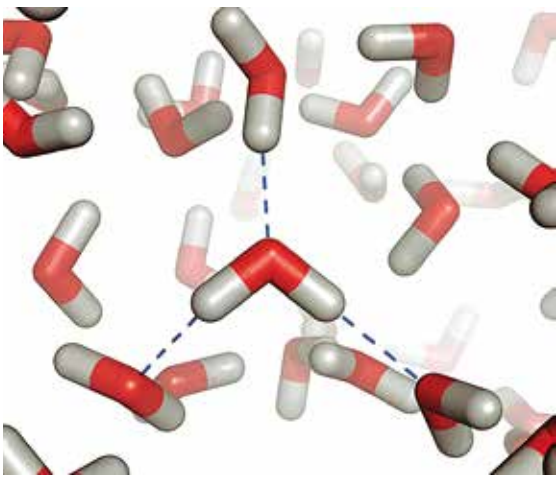
水為甚麼會有這種反常膨脹現象呢？這和水的結構有關。大量水分子除了以單個形式存在以外，還會有多個水分子組合在一起，形成「締合水分子」。水分子締合時，相互間存在一種叫作「**氫鍵**」的相互作用，即不同水分子之間氧原子和氫原子的吸引作用。氫鍵具有一定的方向性，因此在單個水分子組合為締合水分子後，水的結構發生了變化：一是締合水分子中的各單個分子的排列更為有序，二是各個分子間的距離變大。

水分子能否組合在一起成為「締合水分子」，是與溫度密切相關的，溫度越高，締合的程度越低；溫度越低，締合程度越高。常温下，有大約 50% 的單個水分子組合為締合水分子。顯然，締合程度越高，水的結構就越鬆散，其密度就越低。然而，與此同時，溫度還對水分子的熱運動有影響，溫度越高，熱運動越快；溫度越低，熱運動越慢。這兩種不同的作用，對水密度的影響是相反的。因此，誰佔上風，就決定了水是熱脹冷縮還是熱縮冷脹了。

在 4°C 以下時，締合作用對於水的密度影響更大，這時水呈現出反常膨脹的特性；而當溫度超過 4°C 時，則主要受熱運動的影響，這時水的密度隨溫度升高而減小，即呈現熱脹冷縮現象。

值得一提的是，除了水之外，銻、鉍、鎵和青銅等物質在一定温度範圍也有「反常膨脹」的特性。

（匡志強）



水分子氫鍵示意圖（中間紅色部分代表氧原子，兩邊白色部分代表氫原子）

跨學科連線 化學

**冰山**

冰山並不是完全漂浮在水面上的，一般一座冰山只有 1/10 浮在水面上，另外的 9/10 在水面以下，所以人們常用「冰山一角」來形容暴露出來的情況其實只是整體的一小部分。物體要能浮在水面上，水對它的浮力必須等於物體自身的重力，而水對物體的浮力則等於物體排開水的重力。

▶增潤知識
見《化學 II》

# 067 為甚麼洗碗時加入洗潔精會起泡？

由於表面活性劑的存在可以使水的表面張力大大降低，這就一定程度上保證了泡沫的穩定性。

我們在廚房裏洗碗時，為了洗掉油漬通常都會加入洗潔精。一般的情景是，當我們在水中滴入洗潔精後，在洗刷過程中會產生很多泡沫。也許細心的你一直都有這個疑問：氣泡是如何產生的呢？

洗碗過程產生的泡沫

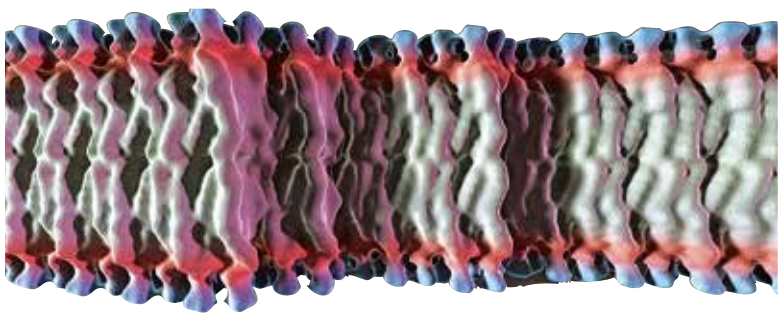
要了解這個現象的前前後後，當然要知道洗潔精的成分。其實奧祕也正是在這裏。

洗潔精的主要成分是表面活性劑。它通常是兩親的有機化合物，也就是說它含有疏水基團和親水基團。顧名思義，疏水基團的特性便是排斥並趨於遠離水，但它們往往傾向於接近油脂，所以又名「親脂基團」。親水基團則相反，趨於接近水而遠離油脂。

在洗碗時，通過洗刷的過程，附着在碗上的油漬被擊碎成一個個小油滴顆粒。在這個過程中，表面活性劑會把一個個小油滴顆粒包裹起來，將其與水隔絕開來。疏水基團聚集在內部接近油滴，避免與水分子接觸，而親水基團則暴露在外部與水接觸，兩者的共同作用使得水與油滴隔離開。這樣附着在碗上的令人頭疼的油漬就很容易被水沖走了。

而在表面活性劑包裹油滴的過程中，由於洗刷引起的氣流變化，空氣乘虛而入，進入了「包裹」裏，因此一個個氣泡便產生了。由於表面活性劑的存在可以使水的**表面張力**大大降低，這就一定程度上保證了泡沫的穩定性，因而這些泡沫輕易不會破裂。

在此，不禁要感歎，僅一點點的洗潔精，並輔以輕微的洗刷，竟可以令事物的狀態發生如此顯著的變化。（聶國熹 黃吉平）


表面活性劑示意圖（疏水端聚合在中間，親水端在外與水接觸）

**微博士**

## 甚麼是軟物質

軟物質包含的系統很廣，主要包括高分子、液晶、膠體、表面活性劑等。我們常見的洗潔精、牛奶、果凍、沙子、飲料、油漆、霧、煙、血液等都可稱為軟物質。軟物質的主要特性有三點，即複雜性、適應性、耦合性。這裏，「複雜性」是指人們無法從單個原子或分子的排列結構和性質推知系統整體的物理性質，這與傳統的晶體不一樣，因為這些軟物質系統最小的功能單元不再是原子或分子，而是包含大量原子或分子的顆粒等介觀結構；「適應性」是指輕微的化學作用能夠促使力學性質發生顯著變化，以更好地適應系統所在的環境；「耦合性」是指各種作用力與系統構型之間存在耦合，例如，作用於系統的力改變了，系統的構型也會隨之改變。

**科學偉人**

## 德熱納 (de Gennes)

皮埃爾 • 吉勒 • 德熱納（1932 – 2007），法國物理學家。1991年諾貝爾物理學獎獲得者，其獲獎理由是：發現研究簡單系統中有序現象的方法可以被推廣用於處理更為複雜的物質，特別是液晶和高分子。他被人們稱為軟物質科學領域裏的牛頓。他在諾貝爾獎頒獎典禮上使用「軟物質」一詞代替之前的專業術語——「複雜流體」，他認為以前的名稱可能會讓年輕人對此學科望而卻步。

# 071 為甚麼水越攪越容易攪，而麵糊卻越攪越難攪？

非牛頓流體的剪切速率越高，黏滯性就越強。

攪拌水 ©

生活中我們也許會碰到這樣的情況，如果有一碗水，拿筷子按某個方向不停地快速攪動的時候，會感覺比較容易攪動，而且碗中的水會同時呈現出中心下凹的旋渦。但是，假如我們向這碗清水中加入麵粉之後結果反而不一樣了。這個時候我們再攪拌的話會發現越攪越難攪，而且麵糊出現了沿着筷子向上爬的現象。為甚麼會出現這種反差的現象呢？

攪拌麵糊時會產生爬杆現象 ©

事實上，在軟凝聚態物理學對流體的分類中，水和麵糊是分屬兩種不同性質的流體，即牛頓流體和非牛頓流體。水、酒精、空氣等自然界中很多常見的流體都被稱為「**牛頓流體**」。對於大多數低分子流體（分子量較小）來說，由於其各向同性的特點使得黏滯系數基本保持固定，這類便是牛頓流體。而非牛頓流體的黏滯系數是隨着剪切速率而變化的，剪切速率越高，黏滯性就越強。也就是說，如果想要快速攪動這類流體的話，就得花更大的力氣，而且，速度越快越感覺費勁。這類非牛頓流體包括很多高分子（分子量很大）的溶液、懸浮液等。麵糊是由麵粉加入水產生的，而麵粉是天然的高分子化合物，所以麵糊是一種非牛頓流體。因此，我們在攪動麵糊的時候，攪動得越快，麵糊的黏滯性也就增加得越快，結果也就自然地越攪越難攪了。

至此，可以更加具體地回答上述問題了。對於水來說，當我們對其不停地用筷子攪動時，水分子由於離心力的作用而向外圍擴散，所以中心部位的水會比較少，看起來如同下凹的旋渦，這也就導致了越攪越容易攪。但是，對於麵糊來說，麵粉高分子在攪動中形成了各向異性的結構，高分子鏈會被拉伸並纏繞在筷子上，受到的剪切力越大其拉伸程度越高，而高分子鏈自身會產生更強的恢復彈性。這樣就使得這些麵粉高分子向中心處擠，從而形成了「爬杆現象」（也叫魏森貝格效應），這也就導致了越攪越難攪。（李曉輝 黃吉平）

**科學探究場**

**麵糊的爬杆現象**

我們在家裏就能親手嘗試麵糊的爬杆現象。在碗裏放入一些麵粉，再加入適量的水並用筷子攪拌。切記不能加水過多，否則就無法形成麵糊。在攪拌的過程中我們可以發現，麵糊越攪越難攪，而且會發現「爬杆現象」。

串連十萬點

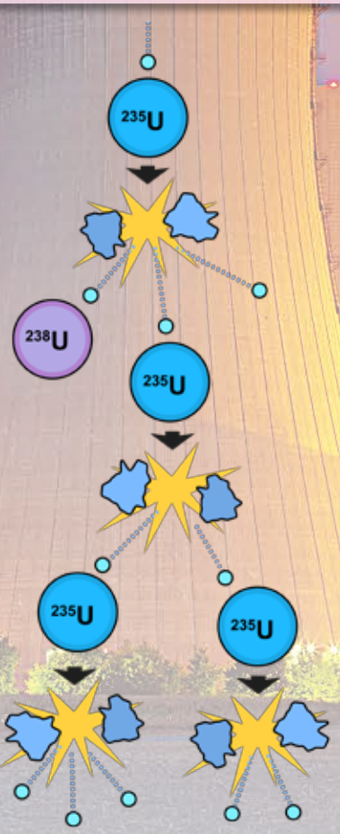
# 核裂變與核聚變大比拼

## 核裂變 Nuclear Fission

當一粒慢中子 (slow neutron) 撞擊一粒重核原子的原子核時，這粒原子核（稱為母核 parent nucleus）會分裂為若干個質量較低的原子核（稱為子核 daughter nuclei），並會釋放大量能量，包括高能輻射。

部分分裂過程會釋放快中子 (fast neutrons)。

把含有母核的燃料棒浸沒在某些特定液體（稱為減速劑 moderator）中，可使所釋放的快中子速度減慢，繼而有效撞擊另一粒母核，再產生更多中子，使這分裂反應（稱為鏈式反應 chain reaction）的過程得以持續。因此，核反應堆可持續釋放大量能量，用以發電。




### 優點：

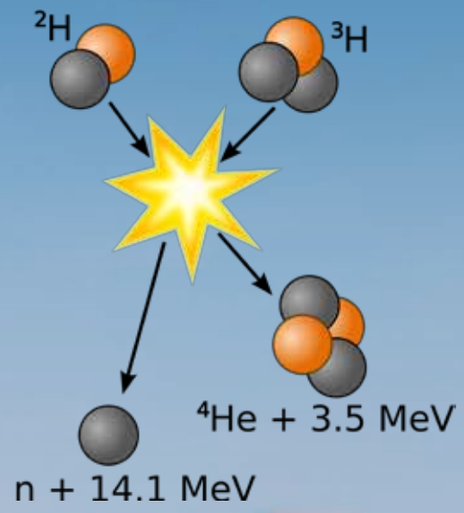
- 只要啟動了鏈式反應的第一步，及加以控制慢中子的數量，核反應堆便可有效持續運作。

### 缺點：

- 母核本身已具放射性；
- 已用而廢棄的燃料棒越來越多，並因須長期（甚至永久）儲存在合適的密閉空間，在管理上會有風險；
- 由於核反應堆須建於近海，以抽取海水用作冷卻系統，所以核反應堆無法完全避免特大海嘯帶來破壞的威脅；
- 雖然核反應堆在設計上妥善密閉，但在實際運作上仍未能完全確保在意外發生時不會發生堆芯熔毀等情況。放射性物質及高能輻射外泄，便會對各種生命構成嚴重威脅，及長期（甚至永久）污染環境，包括空氣、食物、水源等。

## 核聚變 Nuclear Fusion

當兩粒氫原子（須為一粒氘 deuterium 及一粒氚 tritium）撞擊時，這兩粒原子核會融合為一粒氦原子的原子核，並會釋放極大的能量，遠較核裂變的為多。




### 優點：

- 地球上有大量（甚至可視為取之不盡）的氫，可徹底解決全球的能源需要；
- 幾乎不需要考慮物質帶來輻射的威脅。

### 缺點：

- 要持續讓大量均帶正電荷的氘及氚原子核撞擊是極為困難的，技術上暫時未能長期維持；
- 由於這反應不會有鏈式反應，在技術上暫時並不可能實現達至以發電為目的之持續穩定、可控的運作；
- 由於這反應就是等於太陽的反應，所以若要持續運作，便須在技術上能維持極高溫度（達數以億度）；
- 須長期在技術上加以研究，開發成本極高。