

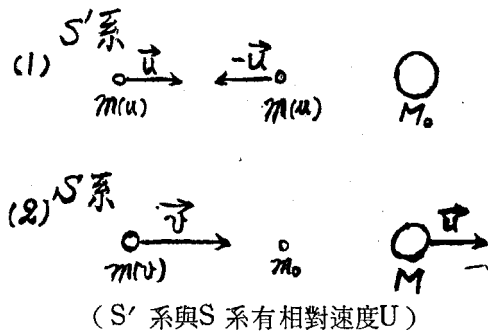
質量與能量的關係

物理學者所深信和常引以為依據的，就是一些守恆定律。但是守恆定律的假設有時往往是不正確的，所以與實驗的結果不合。與實驗的結果不合以後，人們又尋求更新，更完美的解釋，以滿足這些守恆定律。在量子方面的守恆定律有電荷守恆，重子守恆。能量的守恆是屢經修改而得的，最先是機械能的守恆，然後發現機械能並不守恆，只好把「熱能」加進去，來使得守恆定律繼續成立，當然現在我們知道熱功當量 $1\text{cal}=4.1858\text{ Joules}$ 。此外還有其他形式的能量，使我們覺得能量守恆定律似乎發展得很完美而且不應該有什麼問題了。同時在另一方面，人們也認為質量不會無中生有，也不會有中變無的消滅掉，這當然是天經地義的事，否則的話多不可思議？又不像古代的神話，可以變來變去的。但是不幸的(或者說是大幸的)是自從愛因斯坦的相對論提出以後，質量與能量竟然可以互換，這是大家所熟知的 $E=mc^2$ 。甚至我聽到一位教授在講心物合一論時，居然也把此公式提出作為精神與物質合一的旁證，這些閒話姑且不去管它，要緊的事，是如果我們能消滅一小量的質量，就能產生極大的能量，人們構想的結果產生了原子彈和氫彈，換句話說是「核分裂」和「核融合」的反應。人們利用這兩種核反應，達成了毀滅物質，轉換成能量的目的。人們卻沒有想到，這麼大的一個宇宙，這麼多的星體，需要多少的能量才能造得出來呢？

所以這篇討論，主要是要談到一個相反的問題，人們怎麼樣才能利用能量來製造或者說是創造出物質來呢？首先讓我們來看下面一段分析：

一般書上推證 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$ 都是用一個完全

彈性碰撞的模型來說明，現在讓我們用一個完全非彈性碰撞的模型來討論。在 S' 座標系中，有二質量相等的球，各以 $U, -U$ 的速度作完全非彈性的正碰撞。此現象在 S 座標中所見到的是一球以 V 的速度前進，而另一球則靜止，然後二球作完全非彈性碰撞。當然，碰撞後並不靜止，而是以 U 的速度繼續前進。



由 Lorentz—transformation，我們可以得到

$$v = \frac{2u}{1+u^2/c^2}$$

為便利計算起見，我們只取其純

量作運算，就是 $v = \frac{2u}{1+u^2/c^2}$ ①

由動量守恆： $m(v)V = Mu$ ②

由質量守恆： $m(v) + m_0 = M$ ③

消去 M ， $\frac{m(v)}{m_0} = \frac{u}{v-u}$ ④

再由①式中解 u ， $u = \frac{c^2}{v} (1 \pm \sqrt{1-v^2/c^2})$ 因為我們知道當 $v \ll c$ 時， $u \rightarrow \frac{v}{2}$ ，所以該解中只有

牛頓曾批評笛卡爾的物理是演繹的，他認為應該由觀察到的事物出發而建立起結論，他說：「在實驗哲學中，由觀察所演繹出的結論，是正確的，最近於真理的。」然而，事實上，牛頓根本不會遵行他自己所說的演繹哲學，而且他還大胆地假設無法觀察到的量，例如「質量」，「質量中心」以及「力」。並且由這些「量」造成了假說，視本為真實運動的範式，最後才將結果與經驗所得的數據比較。因此，牛頓實在和笛卡兒一樣是「假設—演繹法」的實行家，可是他還自以為是追隨培根法蘭西斯實驗主義的英雄呢！

牛頓這種反牛頓哲學只能騙騙那些沒有哲學基礎的人，然而却逃不過 Kirchhoff, Mach 的銳利的眼睛，Kirchhoff 認為，可觀測的事物乃是建立「力學」的基石，哲學家 Hans Vaihinger 也說，質量與力是不可得的，因為它們不在人類的經驗範疇之中，我們不過因這些「輔助觀念」幫助我們瞭解事物

而已。然而牛頓的這種玄想式的哲學是很重要的，甚至在量子力學的創造者之中，仍有人接受這種看法。

事實上，物理學家常提出超越經驗的假說以幫助我們瞭解事物，因為：(a) 經驗無法提供超越經驗的觀念。(b) 物質上特殊的情況(經驗)可由更一般的論斷(假說)中推演出來，可是由特殊情況，我們無法獲致更廣泛的瞭解。

總括而言，馬赫的見解有些是對的，也有些是錯的，這大部分是由於他錯誤的哲學觀所致。他繼承了十八世紀休姆(Hume)與巴克萊(Berkeley)的感覺論，而想用他的哲學將物理重寫，雖然他沒有成功，然而細讀他的理論，對於瞭解力學的基礎仍然很有助益。當然，我們不希望重蹈他們的覆轍，但是，完全不顧所有哲學的話，你將會變成劣等哲學的奴隸了。

負號適合。以解得之 u 代入④，就可以得到我們所

$$\text{想要的重要結果：} \frac{m(v)}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \dots\dots\dots ⑤$$

現在我想以 u 表⑤式，從①式，我們可以得到：

$$1-v^2/c^2 = 1 - \frac{4u^2/c^2}{(1+u^2/c^2)^2} = \frac{(1-u^2/c^2)^2}{(1+u^2/c^2)^2}$$

$$\therefore, m(v) = \left(\frac{1+u^2/c^2}{1-u^2/c^2} \right) m_0 \text{ 將所求得的 } m$$

(v) 代入③，就可有 $M = \frac{2m_0}{1-u^2/c^2}$ ，再由 Lorentz

$$\text{—transformation 可以求出 } M_0 = \frac{2m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}}。$$

這和直接由 S' 系中應用質量守恆定律所得的結果相吻合，就是 $M_0 = 2m(u)$ 。

這樣子，當我們使兩件以高速相對進行的物體，作完全非彈性碰撞時，我們可以成功的使它們的動能完全轉換成質量。現在所剩下的問題是有沒有辦法作出這麼一個實驗，使得能量轉換成質量，而其轉換的量是可測出的，來驗證我們在上面所作的這個分析呢？非常不幸的是，到如今，實驗的設備還不能作出這樣的一個實驗。

其次是一個很有趣的問題，假如有一天，我們完成了這個實驗，我們使兩個重 $1g$ 的球以等速作相向運動，在撞前一剎那，兩個球的質量已經達到各重 $10000g$ ，然後作完全非彈性碰撞，我們所得到的一個新的球（當然也許形狀早已不像球了），重 $20000g$ ，現在我要問了，將兩件 $1g$ 重的物體，突然變成一件 $20000g$ 重的物體，由能量所轉換成的質量，究竟是以什麼姿態存在的呢？是在球中的每一個原子中的電子，質子，和中子都增加了 10000 倍呢？還是我們從原來的 $2N$ 個原子，由於能量的轉換成質量，而變成了 $20000N$ 個原子，也就是說有 19998 個原子被創造出來了呢？因為沒有實驗的依據，所以我們不能確定會發生什麼事，但是假如第一種情形會發生的話，那麼我們所求得的一切基本粒子的靜止質量將失掉意義。換句話說，如果我們的想像力更豐富一點的話（但是想像力豐富這句話，並不意味下面的敘述是不正確的，只是表示稍微「玄」一點而已。）我們可以認為當初混沌初開，可能只有一些質量極小的（所謂極小的程度，比我們現在所發現的一些基子還要小。）一些粒子，在那時，粒子與粒子間並沒有「效應排斥力」，因此逐漸由小粒子產生了大粒子，就是現在的一些電子，質子或其他基子之類的東西，一旦它們的質量變大以後，再想加能量於其上，使其轉變成質量就困難的多了，一則速度不容易達到很高，二則粒子與粒子間的相互作用也變得複雜了，換言之就是這種質量的增加有不同的極限，到了極限後就不容易再增加其靜止質量了，當然，上面的敘述只是一種推理，萬一這個推理被證明出來是對的了（起碼在目前為止還不能說它不對。）那麼現在所有的基子物理的理論都要起革命性的大改變，這是假如第一

種情形是真的話。

不過我個人認為類似第二種情形發生的可能比較大些，就是有新的粒子會產生出來，雖然真正像我所說的那個實驗無法作到，但是類似由能量變成質量的實驗，在基子物理方面却是屢見不鮮，像以高能的質子打擊氫核，產生 π^+ 介子： $P1+P2 \rightarrow P+N+\pi^+$ ，其中質子和中子的靜止質量約相等。在第二種情形中，我們假設基子的靜止質量是一定值，所加進去的能量變成新的粒子跑出來，在上面的實驗例子中，能量就變成了 π^+ 的靜止質量，那麼在有類似實驗的旁證下，第二種情形的發生是比較合理的。

歸根結底，我們所得到的結論是，如果像最先我們所敘述的兩球相向運動，作完全非彈性碰撞，其動能轉變成新球的靜止質量，而這些所增加的靜止質量是以一些新產生的粒子的靜止質量的姿態存在，這是我們由相對論和實驗所推測出的結果，但是這些新生的粒子究竟是基子中的那一些粒子，以及這些粒子究竟以何種形式相結合，却又不得而知了。

物理系……老牛

常用術語

1. 抽象：一種使人難於瞭解的事實，如上理論力學課時解例題中奇妙難懂的步驟。
2. 肅然起敬：對那些人他們經常做出使人無法想像行爲的一種讚語，譬如某些人考試40分鐘就交卷。
3. 世界記錄：一個常人無法相信的記錄，如某屆德文學期成績26人同時得滿分。
4. 不懂：某些普通人不可能做到的事蹟，如籃球時過中線一出手就空心「刷！」。
5. 霧裏戲：一門讀而不知所云，鑽而不知所往的學科，有如本系。
6. 鐵：一項下命令而不可更改的決定，如量子力學下週六考試。
7. 故作讀書狀：假裝在看書，其實早已心猿意馬，譬如在圖書館，有一個漂亮女孩子坐在旁邊時的表現。
8. 考試：一種測驗大學生記憶力的最好方式，如理論力學考試，光學考試。
9. 實驗：某種聊天的最佳場合，如物理實驗。
10. 上課：大家各自專心埋頭苦幹，而台上也無精打采的一場戲。如……。