

# 对傅氏等实现麦克斯韦设想的 研究工作的分析\* \*\*

王 欲 知  
(成都电讯工程学院)

## 提 要

1979年,上海交通大学学报发表了傅信镛等同志关于实现麦克斯韦设想的理论探讨及实验结果,作者宣称已经获得了一个“永恒”的电流,也就是实现了第二类永动机。交大学报在编者按中希望引起有关学术界的广泛讨论并予以检验。

本文对傅氏等的研究进行分析,得到了下述结论:(1)傅氏实验中,磁场控制的是电子集团的流动,并没有将电子分为高速的与低速的两类,故它不是司门小妖。整个实验中进行的是极大量粒子的集体流动过程,这完全属于热力学的管辖领域;(2)傅氏装置中出现的电流,其实是真空二极管中的初速电流;(3)初速电流实际上是改变了形式的汤姆生热电效应,它需要一个热库与一个冷库,完全遵从热力学第二定律;(4)磁场的作用只是通过控制电子的集团运动,使装置中出现些微的整流作用。没有这个整流作用,初速电子流将相互抵消而不能形成电流。

## 一、概 述

克劳修斯于1850年建立了热力学第二定律,根据这个定律,任何大系统的熵将不断地增加,它反映了该系统可用的能愈来愈少,并明确了第二类永动机是不可能制造成功的。但把这个定律推广到整个星球世界,得出“热寂说”,则是荒谬的。对于这个荒谬的结论,已有大量的批判文章,作者不拟一一列举,但可参考文献[1]即够。

热力学第二定律失效的另一个场合是粒子数很少的体系,此时出现很大的涨落。这个现象是第二定律所无法解释的<sup>[2]</sup>。

麦克斯韦于1871年提出麦克斯韦妖的设想<sup>[3]</sup>,它可直接导致第二定律的失效,因此引起不少物理学家的兴趣。但是至今谁也没能实现这个设想或其类似方案。这意味着这个设想要么在原理上是根本错误的,要么在实验技术上是极其困难的。

B. Г. 列维奇(Левеч)<sup>[4]</sup>在讨论热力学第二定律的统计特征时指出:“根据第二定律底统计表述,是否可以推断,制造第二类永动机的任务虽然困难,但在原则上则是可能的?是否可以利用减少熵的起伏过程来解决这一任务呢?答案是否定的。

A. Г. 萨莫洛维奇在讨论到制造“起伏积累器”时指出<sup>[5]</sup>:“起伏的积累只有在那样的

\* 1985年1月29日收到,1985年11月14日修改定稿。

\*\* 中国科学院科学基金资助的课题。

情况下才可能,即如果有不存在起伏的体系供我们支配。但这样的体系是没有的。”

Л. Д. 朗道和 E. M. 栗弗席兹<sup>[6]</sup>在叙述熵增长定律时,指出“根据熵增长定律,在自然界中所有实际存在的闭合系统的熵从来不会减小(除了十分微小的起伏而外)”。他们特别将起伏排除在外。

1967年,英国伦敦大学的埃伦伯格(Ehrenberg)对麦克斯韦妖问题写了一篇综述<sup>[7]</sup>,总结了到当时为止关于这个问题的研究情况。此文的发表说明这个问题尚未成为历史争论的问题,它仍然吸引着现代物理学家的兴趣。在埃伦伯格的综述中,介绍了威廉·汤姆生、薛定谔、魏扎克、泰特、斯莫路绰夫斯基、齐拉德、布里渊等近代物理学家关于这个问题的各种论点。可见关心这个问题并提出过重要见解的物理学家还是不少的。但总的看来,进展很慢,平均要十多年才有一个新论点出现。

上海交通大学傅信镛同志对麦克斯韦设想进行了多年的研究,提出用阴极发射出来的电子代替气体分子,用磁场对热发射电子的洛伦兹力代替司门小妖对气体分子的作用,使电子只能从一个电极移向另一个电极,形成电势跃升和电流。傅氏等并进行实验得到了一些结果<sup>[8]</sup>,宣称业已实现了麦氏设想。傅氏等的研究得到了好几位知名教授的支持<sup>[9]</sup>,并曾发表于国外刊物<sup>[10]</sup>,至今在国内外仍然有一些影响<sup>[11]</sup>。

作者认为,任何牵涉到违背热力学第二定律的实验,都是值得慎重对待的。因为如果傅氏等的研究得到了肯定,在人类认识论方面将是重大的突破,而其实际价值,则意味着人类一劳永逸地解决了能源问题。

鉴于傅氏所用机构实质上是一个热阴极真空管,完全属于真空电子学的研究领域,因此,作者认为应该将我个人的看法发表出来。

## 二、麦克斯韦设想和傅氏实验简介

麦克斯韦对气体分子热运动速率的散布有深刻的理解,并建立了气体分子速率分布的定律——麦克斯韦速率分布律。基于这个背景,他才有可能提出一个违背热力学第二定律的设想,这就是有名的麦克斯韦妖(Maxwell's demon)设想。这个设想由于是直接控制单个分子,人们从原理上是没法否定它的,因此长期以来仅能以实际上极难于实现来否定它。这就留下了一种可能性:随着实验技术的进步,人类是否能设计出一种机构,直接控制单个分子的运动,以实现违背热力学第二定律的过程?

麦克斯韦当时的设想是:将一个容器用一隔板隔为A、B两室,隔板上有一小门,小门的开闭由一司门小妖来操纵。设开始时容器中气体处于热平衡状态。现小妖可以控制小门,使得只有快的分子飞入A室,慢的分子飞入B室,则若干时间以后,A室将富于快速分子,B室将富于慢速分子,即两室间出现了温度差。这就得到了违背热力学第二定律的结果。

关于麦氏设想的研究,一向以理论探讨居多,实验研究很少。这显然是由于难于实现对单个分子的控制的缘故。傅信镛同志对此问题思索多年,并认为“无论采用什么手段,要观察并且干预处在热平衡状态下的气体内的一个个分子的运动是很难想像的,更不用说这项工作还必须在耗费其它能量的条件下进行了。”因此傅氏决定“以一个特殊的真

空电子管中两个氧化物阴极发射出来的热电子代替麦克斯韦设想中容器里的气体分子,并用磁场对热发射电子的洛伦兹力代替司门小妖对气体分子的作用,使电子只能从一个电极移向另一个电极,形成电势跃升和电流”。傅氏的设想如图 1 所示(剖面图), $A$ 、 $B$  为性能相同的两个氧化物阴极<sup>[6]</sup>。当阴极加热时, $A$ 、 $B$  发射电子的情况和交换电子的数目相等,外回路中无电流。加上垂直于纸面的磁场时,由于洛伦兹力的作用,两边交换电子数不相等,外回路便出现电流,如图 1 所示。

对于这个设想,傅信镛和欧阳威等同志在一只特制的真空管中用两个 6 P12 电子管的阴极作发射体,用人造云母薄片充当间突来进行实验。当两个发射体加热到高于  $800^{\circ}\text{C}$  时,加上磁场,回路中出现大达  $0.35\ \mu\text{A}$  的电流;当磁场方向翻转时,电流方向也反转,数值则几乎仍为原值。傅氏等认为这个电流就是麦克斯韦设想的电流,并且认为这就是两个发射体之间,热能转化成电能的一个使熵减少的过程。

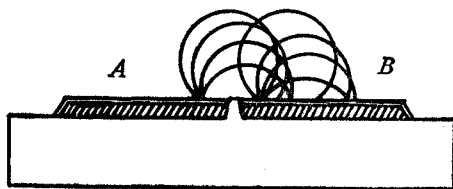


图 1

这是一个实实在在测得的电流,是完全可信的。并且对“灯丝功率远大于麦氏设想电流输出功率,因此总的说来熵是增大的”的质疑,傅氏也已做了回答,即存在两个相互独立的过程:灯丝上的过程与两个发射体间的过程,他们认为前者为熵增大过程,后者是熵减少过程。

如果两个发射体之间的过程确实是熵的减少过程,那末就可设想,整个装置(包括外回路和电表等,并假设都是耐高温的)拿到某一高温星球上去,它就能不用灯丝供热而源源得到电能,这就是一个第二类永动机了。

再者,从原则上说,电子发射的大小随温度有指数的关系,故在室温下仍有极少量的发射,因此原则上该装置在地球上也是可以用不用加热灯丝而得到极少量的电流的。只要这是实在的熵减少过程,人们显然可用积累的办法得到可供实用的电流。

因此,问题归结为两个发射体之间是否确实在进行熵减少的过程?下面作者拟就此问题进行一些分析。

### 三、对傅氏方案及其实验结果的分析

1. 首先必需区别一下傅氏机构与麦氏机构在本质上的差异。傅氏机构除了用电子代替分子之外,与麦氏机构根本的不同点是:它并不针对单个粒子来分类,并没有将电子分为高速率的与低速率的。磁场控制的是电子集团的流动,因此磁场不是司门小妖,不具有司门的功能。这个装置中电流是连续的,无需积累,而麦氏设想的装置需要积累<sup>[4]</sup>。从这几点看来,这个装置中进行的是极大量的微小粒子的过程(那怕仅仅是  $0.35\ \mu\text{A}$ ),这恰恰是热力学的管辖范围<sup>[7]</sup>。这就使本文作者坚信,装置中流动的不是麦克斯韦设想中的电流,更不是熵的减少过程。现在的问题是必须找出这个电流的来源。

2. 在寻找这个电流的来源时,首先值得注意,接收电子流的一方(即图 1 中的  $B$ ),不

必须具备发射电子的特性,也能照样接受电子,而得到电流.如果考虑到次级效应的话,由于  $B$  发射电子,在其前方将形成虚阴极<sup>[12]</sup>,阻碍从  $A$  方经磁场偏转而来的电子;故  $B$  不具备发射电子能力时电流可能反而大些.因此  $B$  可改为一般的金属平板.

其次,我们可以将改为金属平板的  $B$  移置到  $A$  的上方,成一平行平板二极管.如果它与  $A$  的距离足够近的话,当  $A$  加热时,  $B$  必然有电子电流.这就是二极管的初速电流,其数值在一般二极管中约为几百微安<sup>[13]</sup>,这是电真空工程师们都很熟悉的.初速电流实际上是金属中自由电子速率分布曲线尾部那些电子,即具有最大速率的那少部分电子.

实际上,近代电真空工业中已生产出一种热电子能量转换器(热-电转换器之一种),就是利用热电子发射现象直接将热能转换为电能的.其结构原理就是上面提及的二极管,利用的就是热发射电子的分布曲线的尾部电子<sup>[14]</sup>.但是这种真空型的热-电转换器由于空间电荷效应严重,效率很低,没有多少实用价值.但采用充铯的技术后,可达到电流密度为  $5-100\text{A}/\text{cm}^2$ 、输出功率密度  $1-100\text{W}/\text{cm}^2$ 、转换效率  $5-25\%$ 、输出电压  $0.5-1.2\text{V}$  的结果.据报道已有十多个人造卫星使用了这种能源;与太阳能电池相比,它的优点主要是不必使用定向机构.

3. 于是整个问题便归结为:真空二极管或近代的热-电转换器,连同其整个应用回路,都处在同一高温时,是否仍然有这个热电子初速电流?

这个问题与金属(或半导体)的热电现象有关.为逐步搞清楚它,我们可分几步讨论如下.

(1) 热电现象有两种,即热电偶效应(Peltier)和汤姆孙效应.热电偶效应需具备两根不同金属,其两个接点需处于不同温度,才能出现电动势.当有电流在热电偶回路中流动时,其高温接点吸热,而低温接点则放热,能放的热比吸的热少,其差额即由热电偶转化为电能,此电能可对外做功或消耗于导线上变为焦耳热耗散掉.热电偶效应显然完全遵从热力学第二定律:它需要一个高温热库和一个低温热库,如果没有后者,则低温接点的温度就升高,直至最后与高温接点温度相等而没有电流流动.从金属电子论的观点来看,热电偶电动势的出现,是由于两种材料中自由电子浓度不同,在相互接触时交换电子的数目出现差值,这个差值与温度有关所致.

同一种导体若任何两点的温度不同,则它们的自由电子数密度亦必不同,也能出现热电势,此效应称为汤姆孙效应.因为温度较低处的电子数密度较大,故汤姆孙电势应从冷处指向热处(但有一些例外情况)<sup>[15]</sup>.当电流流通时,类似于热电偶的情况,有可逆性的热量吸收或放出.对于导体上温度差为  $dT$  的两点,其汤姆孙电动势可表为  $\sigma dT$ ,  $\sigma$  称为电的比热,是温度的函数.

现用数学分析式子来表示热电现象<sup>[14]</sup>.令组成热电偶的导体为  $a$  和  $b$ ,总电势为  $\mathcal{E}_{ab}$ ,周历电路量度  $\mathcal{E}_{ab}$  所取的方向,恰好使正向电流在热接点处从  $a$  流到  $b$ ,如图 2 所示.若热接点是上边的一个,则电动势和电流的正向均如箭头所示.设热接点、冷接点的温度分别为  $T_1$ 、 $T_2$ ,则  $\mathcal{E}_{ab}$  应如下式

$$\mathcal{E}_{ab} = [\Pi_{ab}]_{T_1} - \int_{T_2}^{T_1} \sigma_b dT - [\Pi_{ab}]_{T_2} + \int_{T_2}^{T_1} \sigma_a dT$$

$$= \Pi_{ab} \Big|_{T_2}^{T_1} + \int_{T_2}^{T_1} (\sigma_a - \sigma_b) dT.$$

显然,若  $T_1 = T_2$ , 则  $\mathcal{E}_{ab} = 0$ .

(2) 傅氏的实验中回路是多种材料串联而成,但实质问题与热电偶现象关系甚微,故可设为单一种材料组成的回路来分析.

对于单一材料,  $T_2$ 、 $T_1$  两温度间的电动势为

$$\mathcal{E} = \int_{T_2}^{T_1} \sigma dT$$

如果  $T_1$  处是分开的,则  $C$  与  $A$  间和  $C$  与  $B$  间就存在这个电压(图 3(a)). 若将  $A$ 、 $B$  连接,则不能得到任何电流流动,因为两个电动势正好相互抵消(图 3(b)).

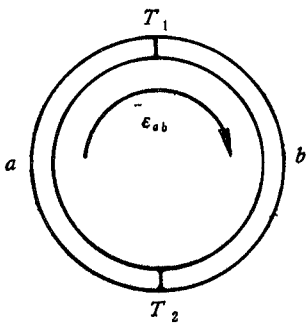


图 2

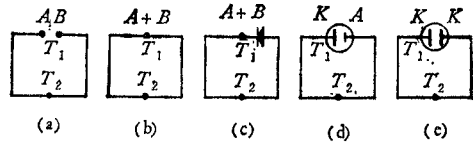


图 3

下一步我们设想在回路中加入一个理想性能(没有漏电等次级过程)的整流二极管,如图 3(c), 则有电流永恒地单方向流动,如箭头所示. 此时热点吸热,冷点放热,吸热与放热的差额就转化为电路中的电流,由线路电阻和二极管管压降等耗散为焦耳热. 此电路的工作同样需要热库和冷库,完全为第二定律所管辖.

现在将半导体二极管改为真空二极管,如图 3(d) 所示. 真空二极管在室温下没有可觉察的整流性能,但阴极被加热后,则具有这种功能. 此时高温的阴极兼充当高温点,而外回路就为低温点. 由此可知(d)的情况与(c)的情况在热电转换机制方面是相同的,同样也需要热库和冷库,完全属于热力学第二定律的范畴.

如果真空二极管中的阳极也改用阴极发射体,成为双阴极二极管,如图 3(e) 所示,则当两个阴极同时加热时,相互之间能有效地交换电子,实质上就相当于图 3(b) 之情况. 如果两个阴极完全对称(指发射性能),则外电路就没有电流. 傅氏实验中当没加磁场时就是这种情况,不过两个阴极没有相对安置就是了.

现在就可进一步探明傅氏实验中磁场的作用了. 磁场使电子往一个方向偏转,导致两个阴极的电子交换出现了不对称,造成了些微的整流作用;当磁场方向改变时,整流作用方向也改变. 这就相当于图 3(c) 中整流二极管两个电极调接的情况. 在此应当郑重指出,电流的流动仍然需要一个冷库,它就是周围环境.

从上面的讨论可知,图 3 中所有情况,均属同一材料的温差热电现象,其基本前提是两点间的温度差. 这个温度差一旦消失,所有热电势及其可能引起的电流都将化为乌有.

因此,傅氏等的实验装置,如果阴极不额外加热,则即使带到一个高温星球上,其温度足以使阴极有效地发射电子,也不能得到任何电流的流动。

还应指出,热电现象和热电子发射现象的唯象理论是热力学理论成功解决具体问题的一个范例<sup>[46]</sup>,至今尚未发现过有任何违背的情况。傅氏的方案及其实验中所涉及的现象均属巨大数目微小质点的运动,它们必然受到热力学的管辖。

#### 四、小 结

本文的分析表明,傅氏实验中所测得的电流实为二极管中的初速电流;进一步的分析探明初速电流实是一种汤姆孙热电效应,它除了需要一个热库,还需要一个冷库,完全符合热力学第二定律的要求。傅氏实验中的磁场,仅仅是控制电子集团的运动方向,并没有将电子分为速率快与速率慢的两类,故并不具有麦氏妖的特性。因此傅氏等的研究工作显然不是实现麦克斯韦设想的途径。

本工作得到中国科学院科学基金委员会的资助,谨此致谢。

#### 参 考 文 献

- [1] W. C. D. Dampier-Whetham 著,任鸿雋、李珩、吴学周合译,科学与科学思想发展史,商务印书馆,1946年,初版,第240页。
- [2] 王竹溪著,热力学,高等教育出版社,1955年,第一版,第十章。
- [3] S. F. Mason 著,上海外国自然科学哲学著作编译组译,自然科学史,上海人民出版社,1977年,第一版,第466页。
- [4] В. Г. Левич 著,林可期译,统计物理学导论,上册,高等教育出版社,1958年,第一版,第34节。
- [5] А. Г. Самойлович 著,许国保译,热力学与统计物理学,高等教育出版社,1958年,第一版,第216—7页。
- [6] Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц 著,杨训愷译,统计物理学,人民教育出版社,1964年,第一版,第39页。
- [7] W. Ehrenberg, Maxwell's Demon, Scientific American, 217 (1967), 103—110.  
中译文见“摘译,外国自然科学哲学”,1976年第一期,第94—104页。上海人民出版社,1976年。
- [8] 傅信镛等,“实现麦克斯韦设想的探讨”及“关于实现麦克斯韦设想的初步试验”,上海交通大学学报,1979年6月增刊,1—8。
- [9] 周文斌、官苏艺,《钱伟长》,四川少年儿童出版社,1983年,第124—131页。
- [10] Xin Yong Fu, Energy Convers. Mgmt., 22(1982), 1—3.
- [11] 张保栋,热、磁、电的因与果,百科知识,1984年,第2期,第73—74页。
- [12] В. Ф. Власов 著,孟昭英等译,电子管,龙门联合书局,1952年,第22节。
- [13] 同上,上册第148页。
- [14] 江剑平、杨泮棠等编,阴极电子学与气体放电原理,国防工业出版社,1980年,第261—5页。
- [15] L. Page and N. I. Adams 著,杨肇熹译,电学原理,上册,商务印书馆,1949年,第200—3页。
- [16] Л. Н. Добрецов 著,刘学慧译,电子和离子发射,科学出版社,1980年,第五节。

## AN ANALYSIS OF FU'S WORK REALIZING MAXWELL'S DEMON\*

Wang Yuzhi

*(Chengdu Institute of Radio Engineering)*

In 1979, Fu and his colleagues presented their work of realizing Maxwell's demon, theoretically and experimentally, in *Journal of Shanghai Jiaotong University*. Fu declared that a "permanent" current was obtained in their device. This means that a new machine of the second kind of perpetual motion have been invented.

In this paper, the author gives a detail analysis of Fu's work, and the following conclusions have been obtained: (1) In Fu's experiment, the object controlled by the magnetic field was the mass-motion of electrons, not the individual electron. Magnetic field did not separate electrons individually into high-speed group and low-speed group, for this reason, it is not a "demon". The process which occurred in the whole experiment was a mass-flowing process of numerous amount of particles. this must be belong to the area of thermodynamics. (2) The current flowing in Fu's device is actually the initial velocity current of a vacuum diode. (3) The initial velocity current is in turn a changed form of Thomson thermoelectric effect, which necessitates a hot tank and a cold tank to work, obeying the second law of thermodynamics. (4) The role of action of the magnetic field is to control the mass-motion of electrons, causing a weak rectification effect in the device. The current should vanish if there is no this effect, as the initial-velocity electrons should eliminates each other.

---

\* Projects Supported by the Science Fund of the Chinese Academy of Sciences.