

爱因斯坦的第一篇论文

卢昌海[†]

2024-01-07 收到

[†] email: lu_changhai@yahoo.com

DOI: 10.7693/wl20241108

CSTR: 32040.14.wl20241108

1 第一篇论文的发表前后

1900年10月3日, 在给女友米列娃·玛丽克(Mileva Marić, 图1)的信里, 爱因斯坦写道:“我最近在苏黎世发现的有关毛细作用的结果尽管简单, 却看来是完全新颖的。”这是有关爱因斯坦从事毛细作用研究的最早的确凿文字记录¹⁾。

爱因斯坦的毛细作用研究于数月后成就了他的第一篇论文“从毛细现象得出的结论”(Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen), 并发表在了《物理年鉴》(*Annalen der Physik*)上(图2)。

《物理年鉴》创刊于1799年, 是德国最资深的物理刊物之一。“从毛细现象得出的结论”被《物理年鉴》收到及发表的日期分别为1900年12月16日和1901年3月1日。在那之后的十几年里, 这份刊物将迎来爱因斯坦的一系列重要论文(包括狭义相对论和广义相对论的论文), 而在发表“从毛细现象得出的结论”的那一年, 在页码只差40页处, 则刊登着马克斯·普朗克(Max Planck)开启量子时代的著名论文“论正常光谱的能量分布定律”

(Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum)²⁾。

可以说, 当时的《物理年鉴》正处于见证乃至缔造物理学革命的最前沿。

爱因斯坦的第一篇论文发表于这样一份刊物, 对爱因斯坦的学术生涯颇具隐喻性——虽然那论文本身除了是“爱因斯坦的第一篇论文”, 从而有一层特殊的纯历史的意义外, 并无实质价值。

不过另一方面, 任何科学家的第一篇论文对作者自己来说, 恐怕多多少少是有些分量的——起码有暂时性或阶段性的分量。因为即便是爱因斯坦那样的人物, 他的眼界也并非“一步到位”, 而是有一个演变与提升的过程。因此, 在第一篇论文的发表前后, 爱因斯坦一度将之看得很重, 且寄予了厚望。

这厚望的一种体现是: 他将论文寄赠给了一些知名的物理学家——部分地是想知晓对方的评价, 部分地则是以之作为找工作的“敲

门砖”。

这其中第一位受赠者是奥地利物理学家玻尔兹曼。早在论文尚未发表的1900年12月20日, 米列娃就在给她和爱因斯坦的一位共同朋友的信里, 提到论文的副本已被寄给了玻尔兹曼。爱因斯坦对论文的厚望也体现在了米列娃的文字里——因为她写道, “你可以想象我为我的爱人感到多么骄傲”以及“这不是一篇普通的论文, 而是非常重要的”。

玻尔兹曼之所以如此迅速地——甚至在论文发表之前——就成为受赠者, 很可能是因为爱因斯坦这篇论文在理论框架上继承了玻尔兹曼的分子运动论(这在当时是需要



图1 爱因斯坦与米列娃·玛丽克

1) 当然, 正如文字本身(“我最近在苏黎世发现的……”)所显示的, 爱因斯坦对毛细作用的研究在写信之前就已展开了。之所以强调“确凿”二字, 则是因为还有更早但不够确凿的记录。比如在爱因斯坦1897—1898年度冬季学期韦伯课程的听课笔记上, 有一个针对分子间力的简短批注, 内容为“研究! 假期。”; 此外, 在1900年9月中旬给米列娃的一封信里, 爱因斯坦曾盛赞奥地利物理学家路德维希·玻尔兹曼(Ludwig Boltzmann)的《气体理论》(*Gastheorie*), 称其阐述的通过分子运动解释物理现象的做法是令人信服的。由于“通过分子运动解释物理现象”是爱因斯坦研究毛细作用的主要思路, 分子间力则是那项研究的切入点之一, 因此上述批注及信件都有可能跟毛细作用研究有关, 只不过关系都不够确凿——因为都不曾直接提及毛细作用。

2) “正常光谱”是普朗克对完美反射空腔内的辐射光谱——即所谓黑体辐射光谱——的称呼, 不甚通用, 普朗克本人也只用过寥寥数次。

5. Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen; von Albert Einstein.

Bezeichnen wir mit γ diejenige Menge mechanischer Arbeit, welche wir der Flüssigkeit zuführen müssen, um die freie Oberfläche um die Einheit zu vergrößern, so ist γ nicht etwa die gesamte Energiezunahme des Systems, wie folgender Kreisprozess lehrt. Sei eine bestimmte Flüssigkeitsmenge vorliegend von der (absoluten) Temperatur T_1 und der Oberfläche O_1 . Wir vermehren nun isothermisch die Oberfläche O_1 auf O_2 , erhöhen die Temperatur auf T_2 (bei constanter Oberfläche), vermindern dann die Oberfläche auf O_1 und kühlen dann die Flüssigkeit wieder auf T_1 ab. Nimmt man nun an, dass dem Körper ausser der ihm vermöge seiner spezifischen Wärme zukommenden keine andere Wärmemenge zugeführt wird, so ist bei dem Kreisprozess die Summe der dem Körper zugeführten Wärme gleich der Summe der ihm entnommenen. Es muss also nach dem Princip von der Erhaltung der Energie auch die Summe der zugeführten mechanischen Arbeiten gleich Null sein.

Es gilt also die Gleichung:

$$(O_2 - O_1)\gamma_1 - (O_2 - O_1)\gamma_2 = 0 \quad \text{oder} \quad \gamma_1 = \gamma_2.$$

Dies widerspricht aber der Erfahrung.

Es bleibt also nichts anderes übrig als anzunehmen, dass mit der Aenderung der Oberfläche auch ein Austausch der Wärme verbunden sei, und dass der Oberfläche eine eigene spezifische Wärme zukomme. Bezeichnen wir also mit U die Energie, mit S die Entropie der Flächeneinheit der Flüssigkeit, mit s die spezifische Wärme der Oberfläche, mit w_0 die zur Bildung der Flächeneinheit erforderliche Wärme in mechanischem Maass, so sind die Grössen:

$$dU = s \cdot O \cdot dT + [\gamma + w_0] dO$$

und

$$dS = \frac{s \cdot O \cdot dT}{T} + \frac{w_0}{T} dO$$

vollständige Differentiale. Es gelten also die Gleichungen:

图2 1900年, 爱因斯坦发表的第一篇论文

眼力的, 因为原子和分子的存在证据当时还比较薄弱, 且还有一些重量级的人物——后文会提到其中的两位——并不承认原子和分子的实在性), 故而想第一时间知晓他的评价。不过, 玻尔兹曼是否利用获赠的机会“先睹为快”过, 则不得而知。《爱因斯坦全集》收录的文件里并无玻尔兹曼的回复, 编辑所撰的背景介绍也不曾提及玻尔兹曼在任何场合对爱因斯坦的这篇论文作过任何评论。

除玻尔兹曼外, 另一位重量级的受赠者是莱比锡大学的德国化学家威廉·奥斯特瓦尔德(Wilhelm Ostwald)。爱因斯坦寄给奥斯特瓦尔德的是论文的抽印本, 时间是论文发表的当月。在寄赠时所写的信

里, 爱因斯坦表示“您在普通化学方面的著作激励我写出了附寄的论文”, 信的日期则是1901年3月19日。当时的爱因斯坦正处于“毕业即失业”的状态中, 因此, 利用寄赠论文的机会, 他也“顺便”询问了给奥斯特瓦尔德当助手的可能性, 并表示“之所以冒昧做出这样的询问, 是因为我已别无出路, 而且只有这种类型的职位能给予我进一步提高的可能”。

奥斯特瓦尔德没有回信。

未来的物理学大师不死心, 借口“不确定是否在信里包括了自己的地址”(《爱因斯坦全集》收录的版本显示, 信里其实是包括了地址的), 于1901年4月3日又给奥斯特瓦尔德写了一封信, “冒昧地呈上地址”。十天后, 爱因斯坦的父亲——在爱因斯坦不知情的情况下——也给奥斯特瓦尔德写了一封信, 为爱因斯坦的处境向奥斯特瓦尔德求援³⁾。

那些信也都石沉大海。

奥斯特瓦尔德是否读过爱因斯坦寄赠的论文, 也不得而知。但哪怕读过, 恐怕也不会感兴趣, 因为奥斯特瓦尔德是所谓的“唯能论者”(energeticist), 认为世界的主体是能量而非物质, 对原子和分子的

实在性并不认同, 对爱因斯坦论文所继承的分子运动论更是深怀敌意。不仅如此, 他对用分子运动论解释毛细现象的做法(这正是爱因斯坦论文的主要思路——前人也用过, 非系独创)还曾提出过明确批评, 认为其中包含了太多的假设, “与其说是澄清不如说是含糊不清”。因此, 爱因斯坦将论文寄给奥斯特瓦尔德颇有些撞到枪口上的意味, 对方的不回信倒是不难理解。

比向奥斯特瓦尔德的寄赠稍晚, 1901年4月12日, 在得知莱顿大学的荷兰物理学家卡末林·昂内斯(Kamerlingh Onnes)有一个助教职位的空缺后, 爱因斯坦向他也寄赠了一份论文抽印本, 作为申请该职位的“敲门砖”。爱因斯坦并且特意附了一张亲笔写着回邮地址的空白明信片, 方便昂内斯回信。

昂内斯也没有回信。爱因斯坦所附的空白明信片后来收藏在了莱顿的科学史博物馆里。

既然谈到这些跟爱因斯坦第一篇论文有关的后续事件, 顺便也谈谈奥斯特瓦尔德和昂内斯这两人后来对爱因斯坦的看法。这两人的学术生涯都是卓越的(奥斯特瓦尔德于1909年获得了诺贝尔化学奖, 昂内斯于1913年获得了诺贝尔物理学奖), 且后来对爱因斯坦都极为推崇。1909年, 奥斯特瓦尔德成为首个向诺贝尔奖委员会推荐爱因斯坦的人(推荐的理由是狭义相对论)。之后数年, 奥斯特瓦尔德持续推荐了爱因斯坦, 在1912年的推荐中, 他将爱因斯坦与哥白尼、达尔文相提并论——有可能是最早对爱因斯坦作出如此崇高评价的人。1920

3) 爱因斯坦父亲的这封信, 用爱因斯坦晚年助手巴涅希·霍夫曼(Banesh Hoffmann)的话说, 不仅显示了父亲对儿子的爱, 而且也透露了那个时期爱因斯坦心境上的艰辛(这一点在爱因斯坦自己的信件里流露不多, 相对隐晦)。比如他写道:“我儿子对他目前的失业深感忧伤, 认为他的生涯已经脱轨, 且边缘化的程度一天甚于一天。”

年，昂内斯也加入了推荐者行列，与荷兰物理学家亨德里克·洛伦兹(Hendrik Lorentz)等人联名推荐了爱因斯坦(推荐的理由是广义相对论)，并且称爱因斯坦为有史以来所有物理学家之中的第一流人物⁴⁾。

奥斯特瓦尔德和昂内斯对爱因斯坦的推崇，显示出这两人在识人断事上不抱陈见的坦然与真诚。这种坦然与真诚也从一个侧面显示出，他们1901年对爱因斯坦以第一篇论文为“敲门砖”的来信的忽略，有可能是真的不觉得那篇论文有什么价值⁵⁾。

若如此，则他们实际上是作出了一个正确判断——因为那篇论文确实没什么实质价值。

2 第一篇论文的内容

行文至此，该简单介绍一下那篇论文的具体内容了。

那篇论文的出发点是一个经验事实，即液体的表面张力——或等价地说，使液体自由表面增加一个单位面积所需提供的机械功——跟温度有关。利用这一经验事实，爱因斯坦作出了一个基本判断，那就是：“我们别无选择，只能假定表面的改变与热的交换是有联系的，而且表面有它自己的热容。”在这一判断的基础上，爱因斯坦运用热力学方法，通过一些基于热力学第一和第二定律的简单推导，得到了使液体自由表面增加一个单位面积所需

提供的总能量(即机械功与热量之和)作为温度的函数所须满足的若干关系式。

另一方面，作为论文的主体部分，爱因斯坦从分子运动论出发，也对上述总能量进行了计算。在该计算中，用爱因斯坦自己的话说，他“被与引力的类比所引导”，对分子间的相互作用势能作出了一个假设，假设这一势能具有类似于引力势能的形式，即只跟分子间距有关，且除去一个用来定义势能零点的常数外，正比于两个分子的某个特征常数的乘积——类似于引力势能只跟物体间距有关，且正比于两个物体的质量乘积。

具体地说，爱因斯坦假设了分子间的相互作用势能 P 具有以下形式：

$$P = P_{\infty} - c_1 \cdot c_2 \cdot \varphi(r),$$

其中 P_{∞} 是用来定义势能零点的常数， $\varphi(r)$ 是一个只跟分子间距 r 有关而跟分子的类型及性质都无关的函数， c_1 和 c_2 则是两个分子各自的特征常数。爱因斯坦并且进一步假设，分子的特征常数跟其所类比的引力势能中的质量相似，可以由组成分子的各部分(即各原子)的特征常数相加而得到。换句话说，如果知道每种原子的特征常数，则分子的特征常数可以由组成分子的原子的特征常数相加而得到。

爱因斯坦的设想是：在有关毛细现象等实验数据的辅助下，通过

对热力学方法和分子运动论所得的结果进行比较，他能确定出属于每一种分子的特征常数，并进而推算出能通过相加而对分子特征常数作出最佳拟合的各原子的特征常数。这一设想在论文中付诸了实施，并具体推算出了氢(H)、碳(C)、氧(O)、氯(Cl)、溴(Br)、碘(I)等原子的特征常数，拟合误差从百分之几到百分之几十不等。由于当时对分子和原子的了解还很少，对其属性的了解更是少之又少。在那样的情形下，确定出分子和原子的特征常数一度给了爱因斯坦一种“壮丽的感觉”(有信件片段为证——后文将会引述)。

爱因斯坦第一篇论文的内容大体就是如此。

3 第一篇论文的思路起源

对爱因斯坦这样的大师来说，他的方方面面都是研究者们悉心发掘的对象，每一篇论文的思路起源更是发掘时的重中之重，第一篇论文自然也不例外。只不过，那篇论文由于没什么实质价值，爱因斯坦本人在短暂的厚望消散后，对之便不再看重，在后来的回忆里也不再谈论。因此，后世的爱因斯坦研究者们只能走一条比较吃力的路子，从旁证或爱因斯坦接触过的资料里搜寻有可能对他思路起源产生过影响的因素，其中可能性较大的被认为是以下几种。

4) 秦关根先生写过一本《爱因斯坦》(中国青年出版社1979年出版)，其中提到爱因斯坦在1911年的索尔维会议上见到了昂内斯，后者对他说：“现在应该由我来给你当助教了。你十年前写来的那张明信片我还保留着。将来把它送到博物馆去，让后人看看我这个老头子当年有多么糊涂。”这段话我没找到原始出处，故不能作为资料引述。但秦先生这本《爱因斯坦》是我最早读过的，也是小时候最喜爱、印象最深的爱因斯坦传记，在这要借故提一笔，作为怀旧，也作为对带给我阅读愉悦的秦关根先生的感谢。同时，以我后来对爱因斯坦资料的了解，可以判断出秦先生此书虽系少儿读物，内容却是有所本的，这段话也未必例外(比如爱因斯坦在1911年的索尔维会议上见到昂内斯是史实，“将来把它送到博物馆去”也跟明信片的实际归宿一致)。读者诸君若有知道原始出处的，欢迎来信指正。

5) 之所以只是“有可能”，除本身系猜测，从而不可能肯定外，还有一个因素是：无法确知他们是否读过爱因斯坦的论文——若没有读过，价值判断也就无从谈起。

(1)恩斯特·马赫(Ernst Mach)的《力学》(*Mechanik*)。这部全名为《力学：对其发展的批判历史概论》(*Die Mechanik in ihrer Entwicklung: Historisch-kritisch dargestellt*)的名著，爱因斯坦有可能早在1897年就因他的挚友米歇尔·贝索(Michele Besso)的推荐而读过，对他的影响颇大。尽管马赫对原子的实在性持有哲学上的反对，是原子论最主要、最激烈的反对者之一，但《力学》一书对用分子间力解释液体形状作过简略介绍。

(2)海因里希·弗里德里希·韦伯(Heinrich Friedrich Weber)的物理课程。韦伯是苏黎世联邦理工学院主持数学和技术物理讲席的物理教授，他的课程涉及过分子间力，对爱因斯坦的影响则有后者的批注为证(可参阅脚注1)，虽仍有不够确凿之处，列为可能性较大的因素还是不成问题的。

(3)奥斯特瓦尔德的“普通化学方面的著作”。这一因素有爱因斯坦的信件为证(即上文引述过的“您在普通化学方面的著作激励我写出了附寄的论文”)，所提到的著作被认为是出版于1891年的《普通化学教本》(*Lehrbuch der allgemeinen Chemie*)。该书有一章论及过毛细现象，并且爱因斯坦从该书中援引过实验数据。

(4)赫尔曼·闵可夫斯基(Hermann Minkowski)涉及毛细作用的讲演。闵可夫斯基是苏黎世联邦理工学院的数学教授，他的这一讲演是在1900年4月至7月间，正值爱因

斯坦在联邦理工学院的最后一个学期。闵可夫斯基很早就对物理学怀有浓厚兴趣，后来在相对论方面的工作甚至比他的数学工作更为人们所知。对于毛细现象，闵可夫斯基的涉猎也绝非泛泛，后来曾于1906年替高度权威的《数学科学百科全书》(*Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*)撰写过“词条”⁶⁾。爱因斯坦在联邦理工学院的一位同学在提供给瑞士作家卡尔·西利格(Carl Seelig)编撰的爱因斯坦纪念文集的一篇文章中，曾回忆说爱因斯坦对闵可夫斯基的演讲印象很深，称其为“我们在理工学院听到的第一个数学物理演讲”。

(5)玻尔兹曼的《气体理论》(*Gastheorie*)。玻尔兹曼的这部著作很可能是对爱因斯坦的第一篇论文影响最大的因素，因为这部著作不仅系统性地阐述了分子运动论，是爱因斯坦第一篇论文理论框架上的不二之源，而且直接论及了毛细现象，甚至介绍了它跟分子间力的可能关系。爱因斯坦对这部著作的青睐则有他的信件为证(可参阅脚注1)。

4 第一篇论文的缺陷

介绍完了爱因斯坦第一篇论文的大体内容及可能的思路起源，接下来再谈谈它的缺陷。美国物理学家理查德·费曼(Richard Feynman)曾经说过，“追随一个理论足够远，直到能看见一切——包括它的一切困难，你也许会有一些成就感”。费曼这句话针对的是麦克斯韦电磁理

论，那是最漂亮的经典理论之一，虽然爱因斯坦的声望犹在麦克斯韦之上，他的第一篇论文却绝不能跟麦克斯韦电磁理论相提并论，但既然读者诸君已追随本文如此之远了，那么谈谈那篇论文的缺陷或许多少也能激发出一些“成就感”吧。

爱因斯坦的第一篇论文存在诸多缺陷。其中一个首要的缺陷就在于“被与引力的类比所引导”，假设了分子间的相互作用势能类似于引力势能，可以用一个只跟分子间距有关而跟分子类型及性质都无关的函数来描述。这个假设之所以成为缺陷，是因为分子间力，尤其在像液体这种分子较为紧邻的情形下，比引力复杂得多。这种复杂性并不是仅仅将引力与距离的平方反比关系换成更普遍的函数(这一点爱因斯坦倒是已经做了)就能涵盖的，而是跟分子的类型、性质乃至空间取向等诸多因素都有密切关系(比如分子间力的有效力程与分子类型密切相关，跟分子类型及性质无关的函数不能涵盖这种关系)。此外，分子间的相互作用势能也并非简单地正比于两个分子的所谓特征常数的乘积，更遑论特征常数可以由组成分子的原子的特征常数相加而得到。因此，“被与引力的类比所引导”实系误导——起码也是非常粗糙的。

其次，在具体计算时，爱因斯坦采用了如今称之为“平均场近似”(mean-field approximation)的处理手法——也就是将每个分子都视为是浸润在其他分子的相互作用形

6) 这里提到的《数学科学百科全书》是一套令人高山仰止的百科全书。它的主编费利克斯·克莱因(Felix Klein)是数学“圣地”哥廷根的领袖数学家，被传记作家康斯坦丝·瑞德(Constance Reid)描述为哥廷根之王乃至哥廷根之神；它的作者名单如同是一部数学物理学家的“明星录”；它的许多“词条”——比如沃尔夫冈·泡利(Wolfgang Pauli)的“相对论”(Relativitätstheorie)、保罗·埃伦费斯特(Paul Ehrenfest)的“力学中统计方法的概念基础”(Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik)、马克斯·玻恩(Max Born)的“固体的原子理论”(Atomtheorie des Festen Zustandes)等——皆已独立成书，且直到今天依然是名著。

成的平均场中。这虽是一种常用的近似手法，甚至直到今天仍在处理某些问题上有用武之地，但对研究毛细现象却不甚适用，且当时就已受到过质疑。

当然，爱因斯坦对论文的缺陷也并非毫无察觉。事实上，哪怕不是出于理论上的批判眼光，单从拟合结果上也不难推知某些假设或近似的粗糙或不适用。比如某些拟合的误差高达百分之几十；更糟糕的是，爱因斯坦字里行间假设着分子间力是吸引力(他称之为“分子吸引力”)，推算出的氢原子的特征常数却是负的，对应于排斥力——且并不是那种在短距离上理应出现的排斥力，而是代表着氢原子之间相互吸引(因为两个氢原子的特征常数都是负的，乘积为正，对应于相互吸引)，氢原子跟其他原子却相互排斥(因为氢原子的特征常数是负的，其他原子的特征常数是正的，乘积为负，对应于相互排斥)的奇异行为。爱因斯坦没有对这一结果作出评论，但也许正是由于这些不如人意之处，他在论文末尾承认，“关于我们的力是否以及如何与引力相关联，暂时还必须视为完全不确定”。他同时也指出，跟分子特性无关的 $\varphi(r)$ “应被理解为近似假设”。这种措辞上的谨慎为论文主旨的颠覆埋下了伏笔——因为“完全不确定”后来越来越清晰地变成了“确知”——只不过是“确知”的错误。

除上述主要缺陷外，爱因斯坦的第一篇论文还有许多技术性的小瑕疵。比如没有意识到他用来推导某个比例系数的两种方法(在他所采用的近似之下)是热力学等价的(这一点很快就被一位对他论文评价不高的评论者所指出)；比如在表面势能的表达式中，一个对坐标的一维

积分被错成了三维积分，从而连量纲都错了。至于更小的瑕疵，比如符号错误(出现在一个能量表达式中)，下标错误(出现在一个热力学关系式中)，漏掉半个括号(出现在一个积分表达式中)，等等，则可以“甩锅”给编辑。

5 爱因斯坦与分子运动论

爱因斯坦的第一篇论文虽有诸多缺陷，且没什么实质价值，却在一定程度上代表了那个时期爱因斯坦兴趣的一个主要领域，即分子运动论。这个兴趣之后还维持了若干年。除第一篇论文外，《爱因斯坦全集》收录的第二篇论文“论金属及其盐的全离解溶液的势差的热力学理论兼论研究分子力的一种电学方法”(Ueber die thermodynamische Theorie der Potentialdifferenz zwischen Metallen und vollständig dissociirten Lösungen ihrer Salze und über eine elektrische Methode zur Erforschung der Molecularkräfte，发表于1902年)，第三篇论文“关于热平衡及热力学第二定律的分子运动论”(Kinetische Theorie des Wärme Gleichgewichtes und des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik，发表于1902年)，第四篇论文“热力学基础理论”(Eine Theorie der Grundlagen der Thermodynamik，发表于1903年)，第五篇论文“关于热的一般分子理论”(Zur allgemeinen molekularen Theorie der Wärme，发表于1904年)，及那些年爱因斯坦对别人论文的多篇评论，也都涉及了分子运动论。这个兴趣甚至衔接并跨越了1905年，即著名的爱因斯坦“奇迹年”(Annus Mirabilis)。

在最热衷于分子运动论的时期，爱因斯坦曾于第一篇论文发表

后不久的1901年4月14日，在给同学兼好友马塞尔·格罗斯曼(Marcel Grossmann)的信里写了一句很出名的话——也许是爱因斯坦最早的“金句”：“从那些对感官的直接观察而言似乎毫不相关的复杂现象中认识到统一性，那是一种壮丽的感觉。”虽然爱因斯坦此处所说的“统一性”是指分子间力与引力的关系(用信里的原话说，是“分子力与牛顿的超距作用力之间的内在亲缘关系”)，从而是完全错误的，但对那种基于“统一性”的“壮丽的感觉”的追求贯穿了爱因斯坦的一生，既缔造了他最伟大的成就，也引致了他晚年的“滑铁卢”——那是后话。

在给格罗斯曼的上述信里，爱因斯坦还表示，自己有可能利用分子力方面的研究写一篇博士论文。这个设想后来付诸了实施，且呈交给了苏黎世大学的实验物理学家阿尔弗雷德·克莱纳(Alfred Kleiner)。爱因斯坦对那篇博士论文一度信心满满，在1901年11月28日给米列娃的信里宣称“我不认为他敢拒绝我的论文”。米列娃在同年年底给朋友们的信里也称爱因斯坦已完成了一项漂亮的研究，提交了博士论文，“可能在几个月之内拿到博士学位”。从时间上看，那篇博士论文显著早于爱因斯坦的第二篇论文，从而在内容上应该跟第一篇论文有较大重叠。

但那篇博士论文未曾进入答辩程序就被撤回了。爱因斯坦为申请博士学位交付的230法郎的申请费也由苏黎世大学退还给了他——《爱因斯坦全集》收录了爱因斯坦签收退款的收据(收据显示爱因斯坦交付申请费的日期为1901年11月23日，收据本身的日期则是1902年2

月1日)。

那篇博士论文为什么被撤回呢?《爱因斯坦全集》提供了两种相互矛盾的说法。一种说法出现在有关上述收据的注释里,援引的是爱因斯坦继女伊尔塞·爱因斯坦(Ilse Einstein)的丈夫鲁道夫·凯泽(Rudolf Kayser)的说法,称那是因为玻尔兹曼的理论遭到了爱因斯坦的“尖锐批评”,克莱纳出于对玻尔兹曼的敬重而拒绝了该论文。另一种说法出现在一篇题为“爱因斯坦论分子力”(Einstein on molecular forces)的编者按里,援引的是爱因斯坦给米列娃的多封邮件,那些邮件显示克莱纳并未及时审读爱因斯坦的博士论文(从而也就谈不上拒绝)。由于论文在不久之后的1902年1月就被撤回,该编者按猜测,“可能是爱因斯坦主动要求的”。

两种说法孰是孰非?我觉得是后一种说法较有可能。事实上,前一种说法颇有些无厘头,虽然那篇博士论文现已不存,但内容与之应有较大重叠的爱因斯坦的第一篇论文并未对玻尔兹曼的理论进行“尖锐批评”(相反倒是深受玻尔兹曼的影响),克莱纳出于对玻尔兹曼的敬重而拒绝该论文云云也就无从说起了。不过,无论那篇博士论文是出于何种原因被撤回,它的夭折恐怕都在很大程度上印证了爱因斯坦的第一篇论文没什么实质价值。

爱因斯坦在分子运动论领域的巅峰成就是发表于1905年的“论热的分子运动论所要求的静液体中悬浮粒子的运动”(Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten

Teilchen),及发表于1906年的“分子大小的新测定法”(Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen),前者位列“爱因斯坦奇迹年”的四大论文之一,后者则使它的作者成为了“爱因斯坦博士”。

在那之后,爱因斯坦对分子运动论(尤其是分子间力)的兴趣显著减弱,对自己的第一篇论文更是大有“悔其少作”之意。1907年,爱因斯坦应实验物理学家约翰内斯·斯塔克(Johannes Stark)的邀请,替《放射性与电子学年鉴》(Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik)撰写过一篇相对论综述。在被询及自己的其他论文时,他于1907年12月7日寄去了已发表的多篇论文,但略去了最早的两篇,称其为“毫无价值”。物理学家出身的科学传记作家阿尔布雷希特·福尔辛(Albrecht Fölsing)在1998年出版的篇幅近900页的大部头《爱因斯坦传》(Albert Einstein: A Biography)里也附和了爱因斯坦对那两篇论文的“自黑”,表示:“如果它们的作者不是爱因斯坦的话,这两篇论文将会永远消失在科学史的深渊里”。

当然,尽管兴趣显著减弱,在之后的岁月里,爱因斯坦对分子运动论乃至分子间力仍有零星研究。1911年,他发表了跟第一篇论文所讨论的话题——即表面张力与分子运动论——有关联的最后一篇论文。在这篇题为“对厄缶定律的评述”(Bemerkung zu dem Gesetz von Eötvös)的论文中,爱因斯坦订正了我们前面罗列过的第一篇论文里那个连量纲都错了的表面势能的表达式。但尽管跟第一篇论文有关联,从而本是为旧作补正声誉的绝

佳时机,他却提都没提旧作。这一方面显示出爱因斯坦对自己的第一篇论文已毫无兴趣,甚至连补正都懒得了。另一方面,也显示出爱因斯坦在文献援引方面是很不周到的,甚至可以说是相当随意的。这若换做是在学术竞争白热化的今天,不引自己的旧作倒还罢了,一旦漏引别人的论文,恐怕会引起轩然大波,甚至被视为“学术不端”。

6 爱因斯坦论文的逻辑结构特点

爱因斯坦的第一篇论文在学术上的方方面面大体就谈完了。在结束本文之前,最后就这篇论文在逻辑结构上的一个特点略述几句。

熟悉爱因斯坦科学哲学思想的人也许知道,爱因斯坦对物理理论有一个分类,即将物理理论分为两类,一类称为“构造性理论”(constructive theory),另一类则是“原理性理论”(principle theory)。在1919年发表于《泰晤士报》(The Times)的一篇题为“什么是相对论?”(What is the theory of relativity?)的文章里,爱因斯坦对这两类理论作了这样的界定:构造性理论是“以相对简单的形式体系为出发点,……试图为比较复杂的现象构造出图像”;原理性理论则是“使用分析而非综合的方法,……形成它们基础和出发点的元素,不是假设性地构造出来的,而是在经验中发现的,是自然过程的普遍特征,……即原理”。爱因斯坦并且将分子运动论和热力学分别列为两类理论的典型例子,前者用分子运动这一“相对简单的形式体系为出发点”,来为宏观现象“构造出图像”,后者

7) 好奇的读者也许想知道这是什么样的方程,它的形式是: $d(\gamma + \omega_0)/dT = -T d^2\gamma/dT^2$ 。其中 γ 和 ω_0 分别是将液体自由表面的面积增加一个单位所需的机械功和热量, T 为温度。

则力图从几条“不是假设性地构造出来的，而是在经验中发现的”基本原理——即热力学定律——出发，通过“分析而非综合的方法”，来研究宏观现象。

爱因斯坦第一篇论文在逻辑结构上的一个值得略述的特点就是：它恰好是“构造性理论”和“原理性理论”的融合，且恰好是爱因斯坦所列的两个典型例子——分子运动论和热力学——的融合，是通过这两类理论的对比来得出结果的。

爱因斯坦也曾评述过这两类理论的特点，将“构造性理论”的特点归纳为“完整、适应性强，以及清晰”，将“原理性理论”的特点归纳为“逻辑完善及基础可靠”。相比之下，“构造性理论”的特点侧重于技巧和实用(即所谓“适应性强”)，一旦失去实用，“构造”中的技巧往

往会失去价值；“原理性理论”所具有的“逻辑完善及基础可靠”的特点则无论从实证还是推理的角度讲，都更为稳健。这也不难理解，因为“原理”既然是“在经验中发现的，是自然过程的普遍特征”，以之为出发点，用的又是“分析而非综合的方法”，按定义就具备了实证和推理的双重优势，从而显然更为稳健。爱因斯坦的第一篇论文就可以说是一个例证：它相对而言略有价值的正是其中“原理性理论”的部分，即热力学定律的推论，其中的一个方程甚至被称为了“爱因斯坦方程”(Einstein's equation)⁷——当然，方程的冠名对普通学者是殊荣，对爱因斯坦则不算什么。事实上，说起“爱因斯坦方程”，几乎不会有人想起他的第一篇论文里的方程(甚至极少有人知道那个方程乃至

那篇论文)，而往往会想到广义相对论场方程或质能关系式。

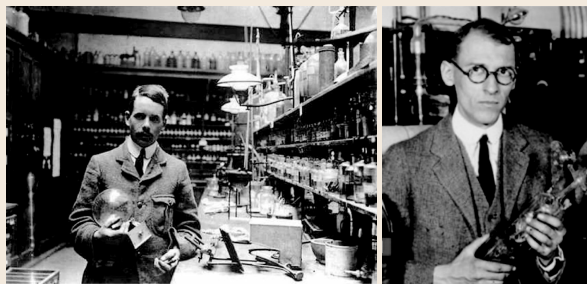
参考文献

- [1] Calaprice A *et al.* An Einstein Encyclopedia. Princeton University Press, 2015
- [2] Clark R W. Einstein: The Life and Times. Avon Books, 1971
- [3] Einstein A. The Collected Papers of Albert Einstein (vol. 1—15). Princeton University Press, 1987—2018
- [4] Fölsing A. Albert Einstein: A Biography. Penguin Books Ltd., 1997
- [5] Frank P. Einstein: His Life and Times. Alfred A. Knopf, Inc., 1947
- [6] Gutfreund H, Renn J. Einstein on Einstein: Autobiographical and Scientific Reflections. Princeton University Press, 2020
- [7] Isaacson W. Einstein: His Life and Universe. Simon & Schuster, 2007
- [8] Pais A. Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein. Oxford University Press, 1982

悟理小言

一战中的两位年轻物理学家

1914年春天，27岁的莫塞莱(Henry Moseley)刚做完并发表了其著名实验：利用X射线排列出38种(金属)元素的前后次序，确定了元素周期表乃依“原子序”而非“原子量”排列。这个困惑了数代化学家的难题，谜底自此揭晓。随即一战爆发，莫塞莱坚持与其他年轻士兵一起赶往前线参加危险战斗，次年不幸牺牲，犹未满28岁。他的英年早逝，令卢



莫塞莱

革末

瑟福、玻尔、密立根等人吁嘘不已，“Moseley law”则写入了基础物理和化学课本中。(注：卢瑟福曾努力争取并获得军方同意，让莫塞莱留在后方从事军工研究，但莫塞莱谢绝了这项安排。)

约略同时，美国青年革末(Lester Germer)大学毕业，刚进贝尔实验室工作，但他自愿离职参战，并成为了史上第一代空战飞行员，曾在西欧战场击落数架德机。退伍后，虽身心受创，他仍拒领美国政府颁发的补偿金，因他觉得许多军人的遭遇比他凄惨得多。经过短暂疗养，他重回贝尔实验室工作，同时就读哥伦比亚大学在职博士班，几年后完成了留名青史的戴维森—革末实验(Davission—Germer experiment)，验证了电子(物质)波的存在，为薛定谔波动力学理论莫立了事实依据。(注：当时贝尔实验室鼓励年轻研究员就读在职博士班以提升研究实力。)

(台湾阳明交通大学 林志忠 供稿)