

## 奥斯特瓦尔德的能量学和唯能论

李醒民

(中国科学院自然辩证法通讯杂志社, 北京 100039)

威廉·奥斯特瓦尔德 (Wilhelm Ostwald, 1853年生于俄国拉脱维亚首府里加, 1932年卒于德国莱比锡)不仅是一位伟大的化学家(1909年诺贝尔化学奖的获得者), 而且也是名副其实的哲学家、科学史家、心理学家、艺术家、语言学家、作家, 也是一位颇受欢迎的教师和精力充沛的编辑, 还是一位影响巨大的宣传者、组织者、改革家和社会活动家。他一生论著甚丰, 共出版了45本书, 500篇科学论文, 5000篇评论文章, 还创办编辑了6种杂志。

奥斯特瓦尔德是能量学(Energetik, 其英文对应词是energetics)的创始人和集大成者, 这是一门以能量(Energie)概念为基本概念, 以热力学定律为基本法则的学科。他把能量看作是宇宙中最根本、最普遍的实体, 是一切自然现象和社会现象的根底。因此, 人们往往把他推广了的能量学称之为唯能论(energetism或energism)或能量一元论(energetic monism)。

对于奥斯特瓦尔德的能量学和唯能论, 在学术界还没有比较详尽的介绍和比较客观的评价。本文拟在这方面作点探索。

### 一、能量学和唯能论的提出

当奥斯特瓦尔德刚刚步入科学生涯时, 他像一般青年化学家一样, 没有怎么考虑就接受了原子论。在1884年接触到瑞典化学家阿累尼乌斯的电离学说后, 他看到这一学说可以提高自己的亲和力理论的价值, 于是作了大量实验, 给电离学说以大力支持。这个时期, 他有意识地采取了原子论的立场。

就在奥斯特瓦尔德自觉或不自觉地信奉原子论的时期, 事情正在逐渐地起变化。1881年, 奥斯特瓦尔德发现了一种催化现象, 他觉得用原子论很难解释这一现象, 猜想这可能是能量在质上和量上转换的结果。吉布斯方程大多数项表示不同形式的能量, 这一事实也使他深受震动。热力学在物理化学研究中的巨大威力也给他留下深刻印象, 而热力学只涉及可观测的宏观量, 无需不可观测的原子和分子这样的本体论假设。渐渐地, 奥斯特瓦尔德觉得, 原子、分子和离子也许只不过是先验的数学虚构, 它们并没有提供物质本性的任何信息, 宇宙的根本构成要素恐怕是各种各样的能量。

1887年11月23日, 奥斯特瓦尔德以“能量及其转化”为题, 在莱比锡大学发表了就职演说。他针对“热力学要通过数学得以发展, 就必须把能量仅仅视为数学的功能”的观点, 强调了能量的实在性和实体性。这次演说他致力于能量学研究和发展唯能论的一个公开信号。他试图用唯能论代替原子论, 但是他还没有彻底脱离原子论阵营。

其后, 奥斯特瓦尔德对物质和能量的二元论和平行性持有强烈的疑问, 不久他便达到了能量一元论的自然观。他后来在《自传》中有一段充满文学色彩的语句, 生动地描绘了他的顿悟经过。

1890年初夏的一个早晨, 他沐浴在和煦的阳光里, 眼看着飞蝶在花丛间漫舞, 耳听着小鸟在树枝上鸣叫。这时, 他精神洋溢, 整个身心充满了生命的活力。就在这金色的一瞬间, 一道天才的闪光掠过了他的脑际。这

突如其来的灵感使他洞见到，能量是描述世界秩序的整体概念，他永远不再怀疑能量的实在性是一切存在物和现象的实质了。

奥斯特瓦尔德把这次顿悟称为“能量学的本来诞生时间”。接着，他借助于这一新启迪开始冷静地、但却是急剧地清理他的思想，组织他的论著。这导致他从整体上思索实在、物质的本性以及所有相关的概念。他明确地认识到，能量而且只有能量，才是最根本的实在，惟有它才能把万事万物囊括其中。

1891年6月，奥斯特瓦尔德开始正式研究能量学，写出了一篇论文。其中比较重要的论点是：指出机械论的理论是不完全的；除空间和时间外，只有能量在一切领域中是共同的东西，物理学的普遍定律必定是能量定律；暂时描述了作为平衡基准的假想的能量变化定律。第二年，奥斯特瓦尔德又发表了一篇论文，他通过对热力学第二定律的理解，提出了第二类永动机不可能的命题。

1892是奥斯特瓦尔德所谓的“能量学的发生年”。他利用《普通化学教程》出第二版的机会，对“亲和力论”部分进行了大修大改。他在1893年1月13日为该书写的序中说：“形成本书中心点的思想是，世界上的一切现象仅仅是由处于空间和时间中的能量变化构成的，因此这三个量可以看作是最普遍的概念，一切可能计量观察的事物都能归结为这些概念。”他把这作为能量学的根本思想，通过修改后的“亲和力论”而显示了它的多产性和有效性。

1895年9月20日，奥斯特瓦尔德在德国吕贝克第67届自然科学家和医生大会的普通组，发表了题为“克服科学的唯物论”的讲演。从此，围绕能量学和唯能论以及原子论的争论完全公开化了，而且进一步激化了。

奥斯特瓦尔德的讲演从内容上看大致分为两部分。在第一部分，他指出力学自然观是不完善的，并对它进行了批判。在第二部分，他讲了取代力学自然观的观点(他把这种观点叫作能量自然观)是完美的。他向听众说明，现存的世界观认为物质是由处于不断运动的实物粒子构成的，这是一种幻象，必须用实在是不同形式的能量的相互作用的观点来代替它。物质只不过是方便的术语，实在这个名称只能给予能量，物质只不过是不同能量在空间的聚集。

玻耳兹曼当场与奥斯特瓦尔德进行了辩论。会后六周，他又写出了反驳文章《能量学的数学语言》，奥斯特瓦尔德不久就发表了答辩文章《关于能量学》。谈到机械论，奥斯特瓦尔德指出，事情并不像玻耳兹曼所说的那样。机械论不仅出现在物理学和化学教科书中，而且大多数研究人员还依赖它工作。与反对机械论假设的人相比，信奉它的人更多，他们并不把机械论作为一种假设，而且视为事实上真实的东西。至于能量学，只要回顾一下它的历史和现状，就可以看到这种新思想在变得十分纯粹之前，已经历了多次溶解和再结晶。奥斯特瓦尔德得出结论说：一切物理的或热力学的方程式，必定表示的是能量之间的关系，暧昧的、充满矛盾的物质概念必须用能量概念来代替，物理学的必由之路就是能量学。奥斯特瓦尔德与玻耳兹曼的争论一直持续到本世纪初。

奥斯特瓦尔德提出能量学和唯能论(以及它们被一部分科学家接受)、反对原子论，并不是没有缘由的。这是由19世纪后期的科学和哲学状况和他本人的研究工作决定的。

19世纪末，经典热力学已经形成了比较完备的理论体系，能够用于物理学和化学的广阔领域，诸如相变、气化热、溶解热、渗透压、化学平衡等等。用热力学理论能够方便地导出一般关系，这与如何看待热本性无关，而且它导致的技术应用大大推动了化学工业和热动力工业的发展，取得了实际的经济效益。可是，原子论和分子运动论无法说明一些物理、化学现象，而且也看不到实际应用的前景。在这种背景下，人们信任以热力基本概念和定律为基础的能量学也就不足为奇了。

另外，热力学的建立是以克服热质说这一旧观念为前提的，而热质说把热质看作热的载体，明显地打上了力学自然观的印记。在热力学中，只要从整体上把握给定系统的参量就可

以了，没有必要把它们还原为原子、分子的力学运动。如果硬要这样做，便会导致热现象不可逆性与单个粒子运动的可逆性的尖锐矛盾。在19世纪末，力学自然观已开始走下坡路，而分子运动论以分子作为热的载体，在某种程度上似乎复活了热质说，自然容易使人怀疑其可靠性。

自从法拉第把场的概念引入物理学以来，与超距作用不同的媒递作用便有了具体的传播媒介。经过麦克斯韦

和洛伦兹的努力，场作为一种独立的存在已被确认了。1884年，玻印廷确立了场的能量和动量的表达式，把电磁能看作与物质实体一样。这是与粒子由于运动而具有能量和动量这样的力学图像截然不同的，很容易使人想到，原子和分子大概只不过是能量的核心或复合，惟有能量才是终极的实在。

更为重要的是，尽管原子论和气体运动论也取得了一些理论成果，但是直到本世纪头几年，依然没有原子和分子存在的确凿证据。加之当时实证主义思潮流行，不少科学家反对把形而上学的假设引入物理学，原子论不用说成为拒斥的对象。就是持温和立场的科学家，也只是把原子论作为一种工作假设和智力技巧，也不敢在没有感觉到原子的情况下贸然承认它。

从奥斯特瓦尔德本人的情况来看，他之所以从原子论的拥护者变为唯能论的鼓吹者，不用说与他的科学研究实践大有关系。另外，他也熟悉科学史，他知道罗伯特·冯·迈尔是最早的能量学家，尽管他还没有创造能量(Energie)这个词而坚持使用力(Kraft)的概念。英国工程师兰金是第一位名副其实的能量学家，他在1853年提出了能量的一般概念，区别了显能和潜能，把物理学和化学纳入到两三个普遍原理之中，并阐明了各种能量之间的转换规律。德国物理学家黑尔姆反对原子论所导入的假设的物理量，主张用可观测的量来描述物理现象，他还使用了能量学的名词。奥斯特瓦尔德的能量学，就是上述学者思想的有意识的、系统的发展。在这里，马赫的影响也是值得注意的。在“能量学的本来诞生时间”稍后一些，奥斯特瓦尔德在哈雷召开的自然科学家会议上遇到了马赫，他们进行了深入的交谈。奥斯特瓦尔德赞同马赫的科学认识论和方法论原则，尤其是要力图排除无法检验的、任意设定的假设。

## 二、能量学和唯能论的基本内容

在吕贝克会议之后，尤其是从莱比锡大学提前退休(1906年)之后，奥斯特瓦尔德曾一度致力于能量学和唯能论的研究。全面地论述了他的能量学体系和唯能论观点。

1904年4月19日，奥斯特瓦尔德应邀在伦敦皇家学院的法拉第讲座上发表了“元素和化合物”的讲演。他说，从化学动力学原理能够推导出所有化学计量定律，而迄今这只有借助原子假设才能推导出来，因此化学动力学使原子假设变得毫无必要。他说，法拉第一直认为，我们仅仅是通过物质的力而知道物质的，如果撤去力，便不会留下死的负载者。尽管法拉第还坚持原子假设，但也不过把原子看作是力由以发出的数学点，或是力的方向相交之处。奥斯特瓦尔德用现代语言把这些思想表述如下：“我们所谓的物质，仅仅是我们在同一地点同时发现的能量的复合。如果我们乐意地话，我们还可充分地设想，以能量或以周期方式、或以颗粒方式均匀地充满空间；后一种假定可以是原子假设的替代物。在这些可能性之间裁决纯粹是实验问题。”

奥斯特瓦尔德表示，人们能够在不考虑原子概念而坚持在与经验上确立化学计量定律一致的情况下，重新定义元素、化合物和溶液。他通过运用吉布斯热力学理论，对化学系统和物理系统进行相律分析，从而解决了这一问题。他认为实物或化学个体只不过是能够在确定的温度和压力范围内形成恒组变相的相的实体，实物之间的差别与它们的比能量含量有关，人们可以选取这些值作为实物的特征。

1908年，法国物理学家佩兰通过藤黄树脂悬浊液的布朗运动的实验，确凿无疑地证明了分子的存在。同年9月，奥斯特瓦尔德在他的《普通化学概论》第4版的序言中公开承认了反原子论的错误，认为原子假设已是具有充分科学根据的理论了。但是，承认原子论并不等于放弃能量学和唯能论。因为佩兰实验只是为物质的分立性或颗粒性提供了证据，它既没有动摇能量学的科学基础，又没有否定唯能论的哲学信条。他继续在既定方向孜孜不倦地追求着、探索着。

就在这一年，奥斯特瓦尔德出版了《能量》一书，这是他的能量学和唯能论观点的系统的说明书。全书分为12章107题，从“能量学的古老历史”开始，依次讲了“永久运动”、“热力学”、“热功当量”、“第二基本定律”、“能量和熵”；接着阐述了作者关于“能量学”、“强度法则”、“物质的因子”的观点；最后的“生命”、“精神现象”、“社会学的能量学”，则是能量学在物理、化学之外的广阔领域的应用，它们体现了奥斯特瓦尔德的唯能论和能量一元论思想。

在序言中，奥斯特瓦尔德以丰富的想像、生动的事例、优美的文字吟咏能量的“叙事诗”。他列举出大量现象说明，在一切现实的、具体的事物中，能量是绝对不可缺少的、最本质的成分。我们能够说，正是在能量中体现出未来的实在。能量在两种意义上是现实的：首先在做功这一点上是实在的，其次在可能解释事实和现象的内容这一点上是现实的。他以诗一样的语言写道：“能量在现象的疾速流动中形成静止的极，同时构成使现象世界绕这个极周围旋转的冲动力。”

为了刻画各种能量在特征上相异的性质，奥斯特瓦尔德引入了强度和容度的概念加以表征。温度、压力、电压、化学势以及其他等等，是各种能量强度的表示。容度表示能量的大小，假如动能的容度因子是质量，同样容积、距离、面积、电量、化学物质量、重量等在大小上相当于该能量的容度。容度是可以无条件地加成的，而强度则不能。至于物质，只不过是能量容度因子。

奥斯特瓦尔德把能量分为体积能量、形态能量、重量能量或引力能量、距离能量等种类。例如，体积变化以相应的能量或功的消耗为条件。物体的体积能量的含量在物体趋于自然状态时为最小，要偏离这个状态，就必须从外部加入能量才有可能。

能量学中的能量这一实在是根本的，它代替了科学唯物论中的极其可疑且不确定的物质实在。各种能量之间的无限可变性表明，能量学是把可称量的物质和不可称量的力联系起来的纽带。用能量学描述物理学和化学现象，最接近于自然科学表述的目标，即是必要的和充分的。

奥斯特瓦尔德从能量学的角度解释了生命现象。他指出，生命的一个本质特征是不断地从外部摄取能量、不断地向外部放出能量的形体，这时它的形态以及其他的延续性并没有经受本质的变化，或者只不过显示出极其缓慢的变化。生物体首先是以化学能建设其能量的原体，因为在各种能量中，化学能具有最浓缩的、同时也最便于贮藏的形态。

奥斯特瓦尔德认为，能量学可以消除物质与精神的二元对立。物质作为能量的复合体，已失去了独立存在的意义。至于精神现象，也可以从能量学的角度加以解释。精神生活总的来说依赖于感觉经验，感觉实际上是一个能量传递和转换过程，即在感官内，外部能量已变成神经能。至于意识，是心理能作用的结果。奥斯特瓦尔德再次强调能量学相对于力学的优越地位：对力学世界观而言，在作为力学的物理现象和精神现象之间，存在着无法跨越的鸿沟，相反地，对于唯能论的世界观而言，在最简单的即力学的能量活动和最复杂的即心理的能量活动之间，存在着连续的关联。

奥斯特瓦尔德认为，远为复杂的是人类社会的能量学。一般来说，动物为其目的仅使用自己身体的能量，而人类除此而外还要使用其他能量。此时，作为个体能够统辖的能量份额与由于团结作用而获得的份额相比，是无可比拟地小。从而，社会的能量学也比个体的能量学更多样、更概括。他首先强调指出，自然提供的粗能量对于人类目的而言，直接利用的仅是其极小一部分，人类必须对自然的粗能量用各种不同的方法施加影响。正是这种影响的样式和程度，我们称之为文化。在奥斯特瓦尔德看来，第一阶段是使用工具，工具无非是为适合一定的目的使能量发生变换的装置，这是人与动物的区别之处。第二阶段是使外力适合于自己的目的，如使用畜力、奴隶等，这是农业社会形态。使用无机能和有机能促使农业社会转变到工业社会，这是人类文化的第三阶段。他进而得出结论说，能量学对于文化科学的整个领域都起着指导作用，这不仅仅是从理论上了解过去，而且也是为了预言未来，给未来指出决定性的方向。

此后，奥斯特瓦尔德还把他的能量学和唯能论思想组织到他的众多研究领域。例如，在题献给阿累尼乌斯的一本著作中，他把自己的能量学思想与科学方法论和系统论、心理学、科学天才、文化问题、公共教育和国际语入门联系起来。

### 三、不应该全盘否定能量学和唯能论

在前苏联和我国的许多书刊(恕我不一一列举)中，都毫无例外地说奥斯特瓦尔德的唯能论(他们没有用“能量学”这个词，该词是我首次译用的)是宣扬“没有物质的运动”的唯心论，从而予以全盘否定。

毋庸讳言，在奥斯特瓦尔德的理论中，的确有难以自圆其说和值得商榷之处。但是，要对其采取全盘否定的

态度，则是缺乏历史的、实事求是的分析的，是不够公允的。其理由如下：

第一，奥斯特瓦尔德反对原子论、倡导能量学，虽然具有强烈的哲学色彩，但主要的还是从科学角度着眼的。这不仅从他提出的动因，研究的主要内容可以看出，而且也可以从他于玻耳兹曼、普朗克的争论文章中看出。奥斯特瓦尔德虽然多次强调不是物质、惟有能量才具有客观实在性，但这并不是他的理论的核心观点，这只不过是为了加强以能量自然观取代力学自然观的主张而加以强调的，为了给自己的观点增添更多的客观性而已。至于玻耳兹曼，他在争鸣中也明确申明不去研究“我们感觉到了手杖呢，还是感觉到了能量呢”这样的一般哲学问题。

从哲学方面讲，奥斯特瓦尔德这样做也不是用唯心论反对唯物论。他1895年的讲演虽然冠以“克服科学的唯物论”的标题，但他所谓的“科学的唯物论”，实际上指的是力学自然观。关于这两个术语，他在讲演中是这样说的：“就物理世界而言，不能用还原为‘原子力学’以外的方法去理解它。正如人们所设想的，物质和运动是形形色色的自然现象应当归结的最后概念。可以称这种见解为科学的唯物论。”“对自然现象说明所能达到的目标就是把现象分解为运动着的质点系，这就是力学自然观。”因此，奥斯特瓦尔德克服科学的唯物论，实际上是抛弃力学自然观，他驳斥原子的客观实在性并不是他讲演的目标。因此，与其说奥斯特瓦尔德反对原子论是反对原子本身的存在，毋宁说它是反对力学图像和由它所构造的机械宇宙图景。

其实，也很难把奥斯特瓦尔德的唯能论纳入唯心论的框架之中。与马赫的“要素一元论”或“感觉一元论”相比，能量一元论明显地加强了实在论的色彩，因而马赫对此持冷漠态度。为此，在马赫的影响下持经验一元论的波格丹诺夫批判奥斯特瓦尔德的能量概念不只是方法论的概念，而是实体化的东西。奥地利的马克思主义者F. 阿德勒宣称，既然奥斯特瓦尔德把能量看作是在空间和时间中存在的实体，它就和马赫的哲学无缘。进而，德国活力论的动物学家德里施认为，奥斯特瓦尔德的能量概念是与代表生物特征的隐德莱希(在生物体内起作用的非物质的、精神性的活力)概念尖锐对立，并指出唯能论是换了装的唯物论。这些说法不见得都恰如其分，但有一点可以肯定，奥斯特瓦尔德还是一位实在论者，只不过他认为实在应赋予能量而不是物质而已。他并没有认为精神比自然界或能量更本源，相反地，他把精神活动也归之于能量过程。而且他根本没有承认创世说，他是反教权主义的坚强战士。因此，断言他是唯心论者，其理由是不充分的，是难以令人信服的。以唯心论为由而全盘否定能量学和唯能论是不恰当的。

第二，从科学上讲，能量学的两个组成部分经受了时间的考验：奥斯特瓦尔德把热力学详细阐述为不可能有第二类永动机，而且早就坚持必须用吉布斯和亥姆霍兹的自由能函数代替反应热以作为化学自发性的可行性标准和化学反应平衡位置的度量。能量学还充实了热力学，并且很好地说明了自己的基本规律的普遍意义，这些基本规律不仅被用于热的研究，而且也用于物理化学等科学的研究。能量学扩大了这些规律的意义，促使这些规律的公式确切起来。尽管有人认为能量学没有助发现作用，但也承认它不失为一种出色的、明确的、精练的、有逻辑性的叙述工具，从而使关于能量的学说系统化了、体制化了，有助于知识的积累和传播。奥斯特瓦尔德把能量概念推广到其他学科和领域，虽说不见得都是成功的，但起码可以开阔人们的思路，不一定都是有害的。至于他提出的能量命令——不要浪费能量，而要合理地利用能量——则明显地走在了时代的前头，现在已为越来越多的人所理解。

第三，在19世纪后期，力学物理学的衰落导致该世纪两个独特的科学信念——自然界所有现象都能够化归为力学定律以及科学将揭示出宇宙的“真理”——崩溃了，以致许多人发出“科学破产”的悲叹。而对这种严峻形势，为了给科学谋求一个可靠的新基础，奥斯特瓦尔德提出了能量自然观的纲领，以代替行将倒坍的力学自然观，当时作为力学自然观的代替物的还有维歇特、维恩、拉摩等人提出的电磁自然观。尽管物理学的发展表明，把能量自然观或电磁自然观作为整个物理学的基础都是行不通的，但它们的出现却是合理的，都是为摆脱力学自然观而作出的有系统的尝试。这是无须大加非议的，因为与“科学破产”论者和机械论者相比，他们毕竟是旧科学纲领的叛逆者和新科学纲领的积极探索者。他们的不成功的探索也给爱因斯坦等后来人以有益的启示，促使他们另辟蹊径，不再重蹈覆辙。从这种意义上讲，他们的探索并不是徒劳无功的。附带说一句，原子和分子的实验确证，与其说是力学自然观的最后一次胜利，还不如说是它寿终正寝前的回光

返照，从此它便一蹶不振了。

第四，能量学和唯能论与机械论的冲突，或者恰当地讲，它们二者的平行进展，在某种程度上也推动了当时科学的发展。首先，唯能论作为对力学自然观的反动，防止了科学家滥用力学模型的现象，使他们避免了把这些力学模型当作客观实在。尤其是，它打破了力学自然观独霸天下的局面，使人们对力学传统的看法起了深刻的变化，这便为新思想和新理论的涌现创造了一种必不可少的自由气氛。其次，它毕竟为科学家提供了一种可供选择的方法和工具，这种情形在化学家范霍夫、范德瓦尔斯、能斯特等人那里表现得特别明显，在物理学家中也是常见的。他们兼有两种科学研究纲领，或者以力学的一般方程为根据，或者以热力学的一般方程为根据，这要看采用哪一种方法比较简单和比较恰当。最后，它从反面也刺激了关于原子论的理论研究和实验验证。正如量子物理学家约尔丹所说：今天，我们当然都知道，那时候怀疑原子的真实存在是错误的。不过，当时批评者们强调为了能够最终承认原子的真实存在，就务必要找到一种关于它的真实证明。这就是为什么这些批评在当时如此使人震惊的原因，而且这种批评也的确产生了良好的、有益的作用。它们促使那些天才的科学家去进行试验和探索物质存在的最深层次的竞赛，从而在实验上证实了原子的存在。

第五，现代物理学的发展，尤其是爱因斯坦质能关系式( $E=mc^2$ )、粒子物理和场论以及真空理论的提出，似乎显露出一些有利于奥斯特瓦尔德的能量学和唯能论的迹象，从而出现了所谓的“新唯能论”。例如，量子物理学家海森伯认为，现代物理学在某些方面非常接近古希腊赫拉克利特的学说(世界是永远地燃烧着又在熄灭着的火)。如果我们用“能量”一词代替“火”，我们几乎就能一字不差地用现代的观点来重述赫拉克利特的命题。海森伯说：“能量实际上是构成所有基本粒子、所有原子，从而也是万物的实体，因为它的总量是不变的，并且在许多产生基本粒子的实验中都可以看到，基本粒子实际上能够用这种实体制成。能量能够转变成运动、热、光和张力。能量可以称为世界上一切变化的原因。”现代物理学的真空理论告诉我们，真空是量子场的基态(能量最低的状态)，量子场的涨落就形成粒子。因此，粒子和真空统一于能量，而不是统一于实物，也就是说，物理客体(场、粒子)统一于能量，而不是统一于物质。当然，也有人扩大物质概念的外延，把场也视为物质，对新唯能论的观点提出异议。关于这个问题，也许随着科学的进一步发展，会逐渐变得明朗起来。

## 参考文献

关于奥斯特瓦尔德的生平、工作和思想，读者可参阅李醒民：奥斯特瓦尔德：科学家、思想家、实践家，《自然辩证法通讯》，1988年第3期。

在本文中，除非特别需要，我们一般不对这几个名称加以严格区分。

转引自田中实：Wilhelm Ostwaldにすける原子仮説，日本《科学史研究》，№82(1967)，44~56。

W. Ostwald, Faraday Lecture, Journal of Chemical Society, 85(1904), pp.506~522.

W. Ostwald, Die Energie, Leipzig, 1908. 本文的引文译自日译本《エネルギー》，山県春次訳，岩波書店，昭和12年。

转引自[日]杉山滋郎：19世纪末的原子论论争和力学自然观，李醒民译，北京：《科学与哲学》，1982年第6期。

W. 海森伯：《物理学和哲学》，范岱年译，北京：商务印书馆，1981年第1版，第28页。

(原载北京：《自然辩证法研究》，第5卷(1989)，第6期，第65~70页)