

“熵”不起——生命以负熵为生

杨清翠^{1,*}, 刘文¹, 曹莉¹, 唐琛², 许冰¹, 赵捷¹

¹ 西安建筑科技大学化学与化工学院, 西安 710055

² 西安建筑科技大学文学院, 西安 710055

摘要: 以某大学社团几名学生观影“长安三万里”后对李白诗句的感慨为切入点, 引出对熵及熵增原理的讨论。通过介绍熵的起源及意义了解热力学三大定律的内容及关联; 再分别从熵增原理对生命和生活两个方面的启示进行阐述。揭示了整个人类的进化和生命的发展就是一部逆熵的历史, 人活着就是对抗熵增的过程, 若要不负此生, 就要奋斗不止。

关键词: 熵; 熵增定律; 负熵; 启示

中图分类号: G64; O6

For Entropy Hurts: Life Thrives on Negative Entropy

Qingcui Yang^{1,*}, Wen Liu¹, Li Cao¹, Chen Tang², Bing Xu¹, Jie Zhao¹

¹ School of Chemistry and Chemical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China.

² School of Language, Literature and Law, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China.

Abstract: Starting with the emotional response of university students to Li Bai's poems after watching the film "The Longest Day in Chang'an", this paper delves into the concept of entropy and the principle of entropy increase. By introducing the origin and significance of entropy, the paper aims to elucidate the contents and connections of the three laws of thermodynamics. It further explores the implications of the principle of entropy increase on both life and everyday living. The paper reveals that the entire history of human evolution and the development of life is a narrative of combating entropy. To live a meaningful life, one must continuously strive against entropy, breaking free from comfort zones and maintaining self-discipline.

Key Words: Entropy; Law of entropy increase; Negative entropy; Enlightenment

观影“长安三万里”归来, 某大学社团不同专业的伙伴们围坐在校园图书馆前的草坪上。

“君不见, 黄河之水天上来, 奔流到海不复回; 君不见, 高堂明镜悲白发, 朝如青丝暮成雪……”小艺激情澎湃地朗诵着。同样沉浸在李白诗句中的小文也挥着手说道: “每次读李白的《将进酒》, 都给我一种气势磅礴、恣意潇洒之感!” “就是就是, 虽然‘不复回’和‘暮成雪’有些悲凉, 但依然如此浪漫豪迈, 令人快哉!” 小化也回应道。

“但是, 这两句诗若从科学的角度思考, 实际上说明了自然和人生的发展都是自动发生的不可逆过程。简言之, 水不能自动从低处流到高处, 人也不可能返老还童。因为宇宙万物的发展都是有方

收稿: 2024-02-19; 录用: 2024-05-18; 网络发表: 2024-09-02

*通讯作者, Email: yqcsrg@126.com

基金资助: 西安建筑科技大学未来技术学院2022年教学改革研究专项(022/1960423039); 陕西高等教育教学改革研究项目(23BY051); 西安建筑科技大学2022年课程思政示范项目(022/609223045); 西安建筑科技大学2023年课程思政示范项目(022/1609224044)

向的，而且最终都会消逝。这是熵增原理决定的。”爱好学术的小冷幽幽地说。

一下子，热烈的气氛有点尬。

“呦呵！小冷同学说得挺涨知识呀，熵增原理是什么？讲通俗一点，仔细一点，让我们能够理解。”社团中的老大小管说道。

“这个问题有趣，咱们一起来探讨。”小物也随声附和道。

小冷扶了扶镜片说：“好啊！不过，这个问题有趣又烧脑，我们分几次来分享。今天就先来了解什么是熵？为什么要提出熵？它有什么意义？”

1 熵的起源及意义^[1-13]

“熵的起源，得从19世纪中叶荷兰科学家迈尔和英国科学家焦耳提出热力学第一定律——能量守恒定律说起。科学家明确提出世界运转的动力就是能量，而能量守恒定律就是用来解决各种变化过程中的能量衡算问题。”小冷娓娓道来。

“这个我知道，能量可以由一种形式转换为另一种形式，但能量在传递与转化过程中守恒，不能凭空产生和消失。”小文高兴地插话。

小物也说道：“有人幻想制造一种不消耗能量而能不断对外作功的机器——第一类永动机，实践证明一切努力都是徒劳的，因为它违背了能量守恒定律。所以，热力学第一定律也可以表述为‘第一类永动机是不可能造成的’。”

“嗯嗯，文艺复兴时期意大利的达·芬奇也造过类似的装置，而且也得出永动机是不可能实现的结论。”小艺说。

“看你们一个个滴，都是能豆豆！小冷继续。”小管笑着说。

“如果不违背热力学第一定律，这个过程是不是就一定能实现？人们又梦想着制造另一种不违反能量守恒，而且经济又方便的永动机。比如，可直接从能量取之不尽的海洋或大气中吸取热量使之完全变为机械功的热机。这种永不停息地运转做功的热机也被称为第二类永动机。有人测算过，这个想法若能实现，只要使整个海水温度下降0.01 °C，对外所做的功就可供全世界的工厂上千年之用。”小冷继续说。

“这种想法若能实现，现在的人类就再也不用担心能源的问题了！”小管说。

“是的，然而各种层出不穷的第二类永动机设计方案都在科学的严格审查和实践的无情检验下失败了。这是因为能量的转化和转移是有方向和限度的，而熵的提出就是为了解决方向和限度的问题。所以热力学第二定律的一种表述就是‘第二类永动机是不可能造成的’。”小冷答道。

“就是，像前面讲的黄河之水就不能自动从低处流向高处，即使从高处流向低处也有限度……”小艺附和道。

小化也说道：“欲死灰之复燃，艰乎为力！化学反应中能量的转化也是有方向和限度的。”

“其实很早，人们就发现功可以完全转化为热，而热转化为功却是有限度的。18世纪工业革命发明的蒸汽机——最早的热机，就是一种把热转化为功的机器，它的效率只有5%。为了寻求效率最高的热机，1824年法国科学家卡诺研究了一种理想热机——可逆热机。实际热机的效率只能不断改进以接近卡诺热机。”小冷继续说。

“等等，科普一下‘可逆过程’，这个概念听着蛮重要。”小管说。

“这个概念对熵的导出和理解确实很重要。可逆过程指的是无摩擦力的准静态过程，在这个过程中系统对环境做最大功，环境对系统做最小功。换句话说，做同样的功，比起不可逆过程，可逆过程的系统能量损耗最小。当然，实际中不可能没有摩擦力，所以这是一个理想化的过程。”小冷说。

“致敬卡诺！在他理论工作的基础上，德国物理学家克劳修斯研究制冷机(电冰箱、空调机等)后总结：‘热不能自动从低温物体传给高温物体而不产生其他变化’；英国物理学家开尔文研究热机(蒸汽机、内燃机等)后认识到：‘不可能从单一热源吸热使之全部对外做功而不产生其他变化’。这

些也都是热力学第二定律的表述。”小物说。

“1865年，克劳修斯利用卡诺循环导出了热力学状态函数——熵：

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q_r}{T}$$

即可逆过程的热温商(S 是熵， Q_r 是可逆热)。

再进一步导出热力学第二定律的数学表达式——克劳修斯不等式：

$$\Delta S \geq \int \frac{\delta Q}{T} \begin{array}{l} \text{不可逆} \\ \text{可逆} \end{array}$$

从而可以定量地对过程的方向和限度进行判断，这也是熵的热力学意义。”

“1872年，奥地利科学家玻尔兹曼把系统的宏观量熵与微观量热力学概率联系起来，关系式为： $S = k_B \ln \Omega$ (k_B 是玻尔兹曼常数， Ω 是微观状态数，它正比于实际可能发生事件的概率)，阐明了熵的本质和统计意义，即熵是系统无序度的量度，系统越无序，熵值越大^[2,5]。”

“由普朗克在1911年提出，经路易斯和吉布森在1920年修正后的热力学第三定律表述为：纯物质完美晶体在0 K (也称为绝对零度，-273.15 °C，此时宇宙万物都已被冻结)时的熵值等于零。有了这个规定熵，就可以计算化学变化过程中的熵变。”

“学艺术的表示有些难，感觉大脑的CPU都要被烧掉了！”小艺说。

“真是隔行如隔山，文理两重天呀！”小文也挠着头说。

“理工科学生表示克劳修斯不等式也需要好好理解！上物理化学课时老师也说这是难点。”小化说。

“确实挺烧脑，不过，‘犹抱琵琶半遮面’的熵增原理就要呼之欲出了！今天就卖个关子，也布置个任务。大家下去看看相关资料，结合今天的讨论，回答几个问题：什么是熵增原理？为什么所有的生命最终都会走向死亡？为什么说人活着就是为了对抗熵增？人为为什么要自律？……下次社团活动我们就这个专题继续讨论。”小冷说。

“看个电影，引发了我们这么多的思考，不知不觉，奇怪的知识又增加了！”小管笑着说。

天上星星闪烁，注视着草坪上这群青春洋溢的年轻人……

2 熵增定律

一转眼，就到了社团相聚的日子。吃过晚饭，伙伴们聚集在物理系的一间教室里。

“当-当-当……有请我们的冷博士！”小艺用笔有节奏地敲着水杯道。

“在上次的讨论中，大家了解了热力学三大定律的内容及关联，熵的提出解决了能量转化和转移的方向与限度问题，知道了熵是量度系统无序度的函数；系统越无序，熵值越大，无效能量越多。现在来讨论上次布置的任务，大家看资料了吗？”小冷问道。

“坐等检查！”伙伴们异口同声地回应道。

“谁先来解释一下什么是熵增原理？”小冷问。

“我来解说，伙伴们还记得热力学第二定律的数学表达式——克劳修斯不等式吧？”小物一边说着一边在黑板上写下了公式。

“记得！”

“好，大家来看，若过程为绝热，则 $\delta Q = 0$ 。公式变为： $\Delta S \geq 0$ $\begin{array}{l} \text{不可逆} \\ \text{可逆} \end{array}$ 这就是熵增原理。通俗点说，就是在绝热情况下系统绝不可能发生熵减少的过程。”小物边写边讲。

“为了便于伙伴们理解熵增原理，强调几个概念：① 系统是指作为研究对象的那部分物质，而与系统紧密相连的那部分物质称为环境。② 系统分为三类：开放系统是指系统与环境既有物质又有能量的交换，就像打开塞子的热水瓶；通常研究的封闭系统是指系统与环境之间有能量而无物质的交换，就像不保温的热水瓶；隔离系统(也称为孤立系统)是指系统与环境之间既无物质又无能量的

交换, 就像一个完好的热水瓶。另外, 如果把封闭系统和环境看作一个整体, 也被看作是孤立系统。”

“很显然, 既无物质又无能量交换的孤立系统也满足绝热的条件, 上述熵增原理的公式就变为:
 $\Delta S_{\text{iso}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{amb}} \geq 0$ ^{不可逆}/_{可逆} (公式中iso、sys、amb分别代表隔离系统isolated、系统system、环境ambience的缩写)。则熵增原理也可表述为: ‘孤立系统的熵永不减少’。解答完毕, 请伙伴们批评指正^[1-7,10-14]!” 小物娓娓道来。

“逻辑清晰, 我一个文科生都听懂啦!” 小文笑着说。

“不愧是物理系的, 讲得不错!” 小管竖起拇指道。

“我想问一下, 既然有熵增, 那有没有熵减呀!” 小艺问道。

“这个问题问得好! 熵减与熵增对应, 只要我们打破封闭系统或无外力做功这两个导致熵增的条件——也就是在有外力做功、开放系统的条件下, 就可以从环境获得负熵来做熵减。”小物说道。

“关于开放系统有一个伟大的发现, 就是1977年诺贝尔化学奖得主普里戈金提出的耗散结构理论。这个理论是以开放系统为研究对象, 阐明了一个远离平衡态的开放系统通过不断地与外界交换物质和能量(开放性和非平衡性), 在外界条件变化达到一定阈值时(非线性), 可以通过内部的作用产生自组织现象, 使系统从原来的无序状态自发地转变为时空上和功能上的宏观有序状态, 形成新的、稳定的有序结构^[15]。”小管补充道。

“孤立系统中的封闭系统若对环境开放, 也被看作是内部的开放系统, 可以从无序变有序, 而两者组成的整体则是由有序变无序的熵增过程。”小物继续说。

“这解决了我一直以来的一个困惑: ‘热从高温到低温系统不是更有序了, 为什么还是熵增过程?’ 这个理论让我顿悟了! 也就是说, 虽然封闭系统内部高温到低温是熵减, 但环境的熵却增加得更多。而熵增原理的研究对象是孤立系统, 所以总体的熵增大了。”小化开心地说。

“总结一下, 熵增原理就是指在一个孤立系统里, 如果没有外力做功, 其总混乱度会不断增大。如果要打破熵增就必须为系统做熵减。另外, 相信伙伴们在多数科普视频中看到熵增原理也被称为熵增定律。伙伴们就分别来说说熵增定律为什么很重要?” 小冷说。

“熵增定律可太牛了! 它被称为宇宙的终极演化定律, 所有生命和非生命的演化进程都得遵循它, 它不仅揭示了自然界的奥秘, 也揭示了社会发展变化的规律。爱因斯坦将它称为科学第一定律, 认为它凌驾于所有定律之上; 爱丁顿爵士认为它是宇宙所有定律中最至高无上的哲学定律! 吴国盛教授说, 如果物理学只保留一个定律, 那就是熵增定律^[16]。”小文说道。

“是的, 自从1865年提出熵增定律以来, 科学家对其在宇宙万物中的理论探究从未停止。这一定律不仅在物理学中起作用, 还渗透到了其他学科, 从生态学到信息论, 从社会科学到宇宙学等。出现的熵的概念有统计熵、信息熵、基因熵、气象熵、社会熵、经济熵等, 它深刻地影响着宇宙的演化和人类社会的发展。我们再来分享熵增定律对生活和生命的启示吧^[12]。”小冷说。

2.1 熵增定律对生命的启示

“前两天, 我从图书馆借了薛定谔的《生命的意义》, 也看了有关生物进化的资料, 很有感触, 我来谈谈对生命的启示吧。”小化说。

“达尔文的生物进化论认为, 地球上的生物物种从少到多, 从简单到复杂, 呈现从无序到有序的进化趋势。有了耗散结构理论, 我们就不难解释生物进化论与熵增定律并不矛盾, 一个以生物物种(开放系统)为研究对象, 一个以地球(孤立系统)为研究对象。都是可信的^[17]。”

“薛定谔认为: 生物有机体作为一个孤立系统, 按照熵增定律会持续增加自己的熵, 因此有接近最大熵的状态——也就是死亡的倾向。而生物之所以能生存, 是因为开放系统后不断地从环境中获得负熵来避免衰退, 例如生物要进行光合作用和呼吸作用才能获得物质和能量等^[18]。”

“以生命的进化为例, 我们的始祖是一种蛋白质加RNA的聚合体, 科学家将它命名为卢卡(LUCA, The Last Universal Common Ancestor)。卢卡通过吸收环境的能量来大量复制, 所以卢卡的熵减会导致环境的急剧熵增, 环境熵增以后卢卡为了生存只能进化, 于是DNA聚合体诞生了, DNA

比RNA更稳定也更加智能，但是这样一来消耗的能量就更大，导致环境的熵增也比以往更大，所以DNA聚合体又被逼着向单细胞演化，同样环境的熵增会再次增加，于是单细胞又开始向更高级的多细胞演化……生命为了生存变得更加智能，这就是生命的进化过程^[16]。”

“从生命的进化我们可以得到启示：生命通过做功、开放系统、智能化等方式做熵减来减缓这个群体的熵增速度，所以整个生命的发展其实就是一部逆熵的历史。而做熵减必然会将无效能量释放到环境中，导致环境变得恶劣^[16,19]。”小化娓娓道来。

“所以薛定谔说：‘人活着就是在对抗熵增定律，生命以负熵为生’。生命系统的熵减意味着地球环境更多的熵增。这个定律真是‘伤’人‘伤’环境呀。确实‘熵’不起！”小管调侃道。

“我们享受的美好生活是以牺牲环境为代价换得的。许多人以为污染是生产的副产品，但实际上它只是世界上转化成不能再利用的无效能量的一种形式，是耗散了的能量。所以我们人类要在尽可能提高生存质量的同时保护好我们的环境，比如一直提倡的坚持可持续发展战略、实行节约型经济模式、从熵的角度出发寻找高效的新能源、充分利用不可逆过程的建设性作用、通过知识技术的进步提高资源能源的利用率等^[20,21]。”小文说。

“其实，我们不用过多纠结生命与环境的矛盾，因为这种争论无解。唯一要思考的是生命做熵减的同时减少环境的熵增。”小冷说。

“除了生命，生活中的许多问题也都与熵增定律有关联。”小文说道。

2.2 熵增定律对生活的启示^[16,19,22]

“和生命进化一样，在生活中，遵循熵增定律相对比较容易，而反抗它则会带来痛苦。例如：自律总是比懒散痛苦，放弃总是比坚持容易，变坏总是比变好容易。”小文说。

“是呀是呀，坚持早睡早起、读书、运动、减肥等都不容易，立的flag总是很难实现！”

“就是，买的书都积灰了还没读完。”

“还有，手机会越用越卡，桌子上的书籍不定期整理会逐渐变乱等。”

“就是！房间不整理变得混乱，臭袜子不及时洗影响整个宿舍环境。”

“生活中每天都会有各种各样的琐事，如果任由其发展，生活就会陷入到混乱状态。”

大家此起彼伏地回应着……

“那怎么办呢？”小文问。

“做熵减。”大家异口同声地说。

“哈哈！都会抢答了。依然是通过做功、开放系统、智能化来做熵减，让生活更加有序。”小管乐呵呵地说。

“不过，有些人认为不自律也没什么，不也过的挺舒服的吗？”小艺说。

“实际上这种很舒服的状态就是耗散结构理论中的平衡态(即随着熵逐渐增大，系统会越来越无序，但是这种结构却更加稳定，这种稳定就是平衡态)，也被称为舒适圈，是熵增定律的一张王牌，一旦我们减少了能量的投入，熵增就会立马回来。例如，天冷你想睡懒觉而放弃跑步，腰上的赘肉马上就会回来。”小管补充道。

“是的，每一个人有选择自己生活方式的权利，遵循熵增必然会降低生存的质量。比如坚持运动比不运动的人普遍健康状况要好。”小文说。

“这也是人为什么要自律的答案。因为自律能使我们的生活更加有序，生命更有意义。”小冷态度凝重地说道。

“是的，我们在生活中总会遇到很多繁琐的事情，不去处理就会变得越来越糟，只有调整心态，积极应对各种问题，才能越来越好。”小物说道。

“熵增定律的影响真是无处不在呀！”小艺说。

“是的，熵增定律还可以解释很多问题，例如：企业为什么会官僚化？国家为什么要对外开放？我们为什么要不断学习？宇宙为什么会走向湮灭(热寂)？时间之矢怎么理解？我们另选时间分享如

何？”小冷问道。

“好呀好呀！”伙伴们积极地回应。

3 结语

“我们每一个人，每一代人都肩负着守护和传承生命的使命。正如薛定谔所说，我们的生命就是在与熵增定律进行抗争，我们的选择和行动无论多么微小，都有负熵的存在，或许正是因为熵增定律的存在，生命的意义才变得更加珍贵。所以，生命不息，奋斗不止！”小管铿锵有力地总结道。

“生命不息，奋斗不止！”伙伴们也齐声回应着。

教室墙壁的画像上，克劳修斯深邃的目光注视着这群年轻的生命……

参 考 文 献

- [1] 天津大学物理化学教研室. 物理化学简明版. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2018: 20–91.
- [2] 傅献彩, 侯文华. 物理化学(上册). 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2022: 79–214.
- [3] Atkins, P.; de Paula, J.; Keeler, J. *Atkins' Physical Chemistry*, 11th ed.; 侯文华, 等译. 北京: 高等教育出版社, 2021: 39–83.
- [4] 李先国, 高立斌, 孙好芬, 蒋海燕, 王燕华, 曹晓燕, 钟莲. 物理化学. 北京: 北京大学出版社, 2016: 44–45.
- [5] 胡英主编. 华东理工大学物理化学教研室 黑恩成, 彭昌军, 等编. 物理化学(上册). 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2014: 67.
- [6] 熵. [2024-02-03]. <https://baike.baidu.com/item/%E7%86%B5/19190273?fr=aladdin>
- [7] 曾志旺. 物理通报, 2016, No. 10, 119.
- [8] 永动机. [2024-01-25]. https://baike.baidu.com/item/%E6%B0%B8%E5%8A%A8%E6%9C%BA/366300?fr=ge_ala
- [9] 第二类永动机. [2024-01-26].
<https://baike.baidu.com/item/%E7%AC%AC%E4%BA%8C%E7%B1%BB%E6%B0%B8%E5%8A%A8%E6%9C%BA>
- [10] 尹世伟, 郭庆伟, 李鑫茹, 潘龙. 大学化学, 2011, 26 (1), 85.
- [11] 田景华, 袁海泉. 物理与工程, 2019, 29 (5), 49.
- [12] 高盘良. 大学化学, 2011, 26 (5), 74.
- [13] 杨国平. 物理教师, 2014, 35 (2), 29.
- [14] 熵增定律. [2024-02-01]. <https://baike.baidu.com/item/%E7%86%B5%E5%A2%9E%E5%AE%9A%E5%BE%8B/10127998?fr=aladdin>
- [15] 耗散结构理论. [2024-02-04].
<https://baike.baidu.com/item/%E8%80%97%E6%95%A3%E7%BB%93%E6%9E%84%E7%90%86%E8%AE%BA/1138452>
- [16] 熵增、熵减, 宇宙、人生, 在希望与绝望中循环. [2024-02-05]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1727913320570958599&wfr=spider&for=pc>
- [17] 王炳香. 物理通报, 2018, No. 5, 119.
- [18] 薛定谔. 生命是什么. 肖梦, 译. 天津: 天津人民出版社, 2023: 108–114.
- [19] 为什么说我们以负熵为生. [2024-02-09]. <https://www.bilibili.com/video/BV18w41137sd/>
- [20] 田春玲. 物理教学探讨, 2010, 28 (376), 42.
- [21] 沈昊婧, 袁绪英. 环境科学与管理, 2007, 32 (7), 171.
- [22] 哲学启蒙社: 熵. [2024-04-12]. <https://zhidao.baidu.com/question/1740168189306482987.html>