

## 物理学咬文嚼字之四十

# 哈, Critical

曹则贤

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

双眼自将秋水洗, 一生不受古人欺

——(清)袁枚《随园诗话》

Not every critic is a genius, but every genius is born a critic...

——[德] Gotthold Ephraim Lessing

**摘要** Critical phenomenon 是需要用 critical 态度对待的现象, 汉译临界现象, 与 crisis 的本意倒也相和. Critical 还应是面对一切学问的态度.

德国人康德 (Immanuel Kant) 据说是哲学史上的丰碑, 其著作是学哲学的人绕不过的大山<sup>1)</sup>. 康德著作中有名的要数 Kritik der reinen Vernunft (纯粹理性批判) (图 1), Kritik der praktischen Vernunft (实用理性批判) 和 Kritik der Urteilskraft (判断力之批判), 简称三大批判. 这个批判, 德文为 die Kritik, 英文为 critic, 不过意思不能为中文的批判所完全覆盖, 它也可以对应温和一些的中文词如批评、评论以及研究 (检视). Critic 还指一个职业群体, 汉译批评家, 是一群表达价值判断的人 (who expresses a value judgment), 其日常工作就是就一些领域内的事情作判断性的评论 (give critical commentary in some specific fields). 在文化艺术领域, 批评家在塑造社会的品位方面起着主导性的作用; 而在科学等领域, 良性的同行批评则是制定或者维护成就之优秀水准的重要部分 (Good peer-group criticism is an important part of developing or maintaining excellent standards of achievement).

在理解 critical 相关的意义之前, 不妨先看看其名词形式 crisis. 别人我不清楚, 反正笔者本人是没从英汉词典看出 critical 和 crisis 的关系. Crisis, 希腊语为 κρίσις, 本意是 to separate, to discern (分开、分辨). Crisis 有 “a turning point”, 即分水岭的意思, 比如疾病到了一定时候就来到一个槛上, 要么痊愈, 要么就恶化没救了. 因此, crisis 被引申为任何进程的 turning point<sup>2)</sup>, 歧路或关键时刻, 所以有 at crisis point (σε κρίσιμο σημείο) 的说法. 至于报纸



图 1 康德 1781 年版《纯粹理性批判》的扉页

上常见的 political crisis, economic crisis, 汉译危机, 应属进一步引申出来的意思. 此外, 危机似乎不能反映 “一段危险时期” 的意思 (a time of great danger or trouble).

Critical (κρίσιμος), 本意是 able to discern, 而 discern 由 dis (apart) + cernere (to separate) 组成, 都是强调分开、分叉、分辨等意思. Critical 首先强调具有分辨力, 所谓明察秋毫<sup>3)</sup> 的能力; 再则强调挑剔, 有一种吹毛求疵<sup>4)</sup> 的精神. 吹毛求疵为中国人所诟病, 不过英文的 critical 很多场合应正面理解, 强调的是 objective judgment so as to determine both merits and

1) 当然, 在一些神奇的土地上也有例外. ——笔者注

2) inflection 是某种变化之一阶微分的 turning point, 这两者好像汉译都用拐点搪塞. ——笔者注

3) 语见孟轲《孟子·梁惠王上》: “明足以察秋毫之末, 而不见舆薪, 则王许之乎?” ——笔者注

4) 语见《韩非子·大体》: “不吹毛而求小疵, 不洗垢而察难知.” ——笔者注

faults, 当理解为“细致的分析与判断(careful analysis and judgment)”, 比如“A critical examination of the techniques used by various artists”说的就是对艺术家技巧的细致考察, 不过不是为了求疵, 而是为了发现值得自己学习的地方. 当然, critical 作为 crisis 的形容词形式, 自然还有“of or forming a crisis or turning point; decisive”的本意, 比如“adolescence is a critical time for preventing drug addiction (青春期是防止染上毒瘾的关键时刻)”, “climate change is critical to world peace (气候变化对世界和平有决定性的影响)”; 许多时候 critical 意味着“dangerous or risky”, 如“a critical situation in international relations”可能就是指的危机时刻. 很多时候, 我们无法将 critical 硬和某个汉语词对应, 如“A critical time for stem cell research”, 把 critical time 译成“关键时刻”或者“危急时刻”可能都有失偏颇.

Critical 用到物理上, 出现在热力学和统计力学的语境中, 可能和字典中的释意“designating or of a point at which a change in character, property, or condition is effected”有关, 强调的是物质体系来到了一个特征、性能会引起变化的点上, 正合 crisis 的本意. 相关的词有 critical point (state), critical phenomenon, critical exponents and universality, critical opalescence, 等等. 欲理解 critical phenomenon 及相关内容, 应该从相变谈起.

谈论相变最好的例子就是水. 在地表条件下, 水能表现出气-液-固三相是生命出现的前提, 因此也是物理学出现的前提, 从这一点来看, 物理学怎么强调相变和 critical phenomenon 都不为过, 欲窥门径的读者可以参阅由 C. Domb 等主编的 phase transitions and critical phenomena 系列丛书. 摄氏零度以上的水, 根据气压的不同, 可以表现出液体和气体(水蒸气)两相, 在  $(T, p)$  相图上从三相点(triple point)向右有条曲线, 给出的是气-液两相之间的边界(图 2). 描述这条相边界曲线的数学表达式就是所谓的 Clapeyron relation. 如何得到这个 Clapeyron relation 呢? 对于一个给定的、由广延量  $V, S$  作为基本参数的热力学系统,  $dU = TdS - pdV$ ; 相应地, 其 Gibbs 自由能由关系式  $dG = -SdT + Vdp$  给出, 这是一个用强度量  $T, p$  作为基本参数的描述. 相边界是两相可共存的地区, 边界线在其任何一点的斜率为  $dp/dT$ , 则有  $dp/dT = \Delta S/\Delta V$ , 其中  $\Delta$  表示广延量在相边界上的突变<sup>[1]</sup>. 经常有人将此关系写成  $dp/dT = L/T\Delta V$ , 其中  $L = T\Delta S$  为相变潜热, 这样

做掩盖了该方程的内在含义<sup>5)</sup>. 类似地, 如果考察的是一个单轴的磁体, 则  $dU = TdS + HdM$ ,  $dG = -SdT - MdH$ , 则在  $(T, H)$  相图中的相边界线, 其任何一点的斜率为  $dH/dT$ , 由  $dH/dT = -\Delta S/\Delta M$ , 给出. 这个关系将磁相变同磁熵变联系起来, 此处不作深入讨论. 如果磁体的体积也有明显变化, 我们就是在讨论一个三独立变量的体系, 相应地有  $dU = TdS - pdV + HdM$ , 对应的以强度量为变量的热力学势由  $dL = -SdT + Vdp - MdH$  给出, 可以在此基础上讨论相变. 三维情况比较复杂, 但可以照葫芦画瓢.

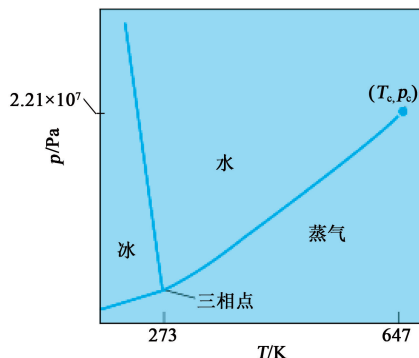


图 2 水的相图.  $(T_c, p_c)$  就是水的 critical point

注意, 水在  $(T, p)$  相图上的液-气边界在点  $(374\text{ }^\circ\text{C}, 22.064\text{ MPa})$  上走到了尽头; 再往前, 没有液气两相的区别了. 这一点在图 2 上不太看得明白, 从液-气共存曲线(coexistence curve), 即温度-密度曲线, 来看则比较直观(图 3). 我们看到, 温度在 647K 以下时, 每个温度对应两个密度值, 分别对应相边界两侧蒸气和水的密度; 当温度为 647K 时, 相变点(此时  $p = 22.064\text{ MPa}$ )只对应一个密度值  $\rho = 0.322\text{ g/cm}^3$ <sup>[2]</sup>, 此时没有液气两相的区别, 这一点就被称为 critical point. 过了这一点, 我们就进入了 supercritical region. 当  $(T, p)$  从  $(T_c^+, p_c^+)$  一侧接近  $(T_c, p_c)$  时, 相当于来到了一个液-气两相的 turning point (crisis), 笔者猜测, 这是这个点被命名为 critical point 的原因. 从这个意义来说, 汉译临界点也是相当准确的. 如果  $(T, p)$  从  $(T_c^-, p_c^-)$  一侧接近  $(T_c, p_c)$ , 显然是从有相边界的地区进入无边界的地区, 临界的说法就有点勉强, 但该概念偏偏强调的是这种情形(critical point specifies the conditions at which a phase boundary ceases to exist). 对于 critical point 这个概念我们这么 critical(吹毛求疵)

5) 无论是作为学生, 还是作为教师和研究人員, 我都反对这种扭曲物理图像的公式写法. 如果这是为了某种计算的或实验的方便, 则应该交代清楚. ——笔者注

是必要的,因为体系从哪一侧接近 critical point, 其行为是完全不一样的. Critical point is where we should look upon critically, 因为体系在临界点附近对环境参数的微小改变都极其敏感.

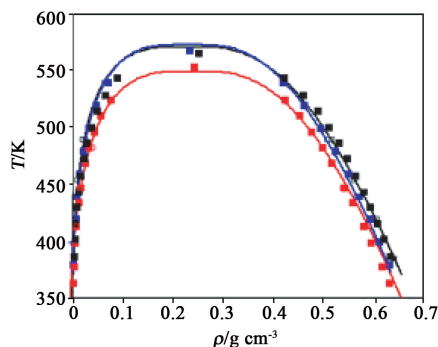


图3 水的共存曲线

发生在临界点上的物理, 统称为临界现象 (critical phenomenon). 接近临界点时, 体系的相干长度发散; 相应地, 许多物理量, 如比热、2D Ising 磁体的磁导率等, 表现出发散行为. 进入超临界状态的  $\text{CO}_2$  和水的溶解度大增, 这一点正可以用于物质合成: 在超临界一侧溶解离子, 在另一侧将离子析出. 另一个有趣的现象是临界乳光现象 (critical opalescence, 图 4), 为 Thomas Andrews 于 1869 年在  $\text{CO}_2$  中首次发现. 当将初始时为液体的物质加热 (密封条件下, 压力也随着加大) 接近临界点时, 液体和气体区域的大小剧烈涨落. 当密度涨落尺度可同光波长相比拟的时候, 物质对光有强烈的散射, 出现乳光现象.

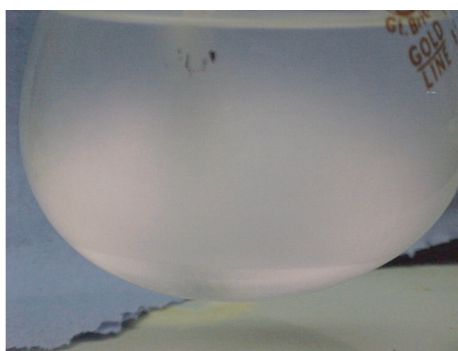


图4 乙烷和甲醇混合物在  $37^\circ\text{C}$  下表现的临界乳光现象

体系的临界行为常用临界指数描述. 引入约化温度参数  $\tau = (T - T_c) / T_c$ , 当趋近临界点时, 发散的观测量遵循一些 power law (幂律),  $A(\tau) \propto \tau^\alpha$ . 对于不同的物理量, 指数用特殊的字母表示, 如比热  $C$ , 指数用  $\alpha$  表示; 且对从  $\tau > 0$  一侧接近临界点的行为, 临界指数带撇号加以区别. 据说, 对不同的物理体系, 对应的幂指数取相同的值, 即表现某种普适性. 描述临界现象的理论, 有重整化群和共形场理论, 笔者不懂, 故不作深入介绍, 有兴趣的读者可参

阅相关领域大家的著作<sup>[3]</sup>. 不过, 对于  $\tau \rightarrow 0$  附近的 power law,  $A(\tau) \propto \tau^\alpha$ , 笔者总是抱着一点点怀疑, 总觉得因为参数变化本身太过微小 (注意,  $\tau \rightarrow 0$ ), 而在这种情形下可能测量是不够精确或者超然于测量体系的物理的 ( $T \rightarrow T_c$ ). 对温度测量精度的要求是无止境的, 而许多温度计所显示的由某个物理量换算而来的温度值同待研究的物理量所处的温度可能根本就没关系, 或者这个换算关系本身是值得怀疑的. 甚至有些研究者对温度测量是怎么回事根本就不关心. 此外, 采用 power law 也可能与定式思维有关, 因为这样的数学简单, 关于这点大家只要想想物理学初期有多少线性定律就能明白. 据说, 目前测量最准确的临界指数是关于液氦相变 ( $\lambda$ -相变) 比热的指数,  $\alpha = -0.0127$ . 不过, 有必要提醒读者, 这个精确值是在微重力环境下得到的, 是花了血本的. 为什么呢? 当我们讨论液气相变时, 我们认为  $(T, p)$  是控制参量, 但实验上仅精确控制  $(T, p)$  是不够的. 在临界点附近, 密度强烈涨落, 而密度的不同会使得实验体系受重力影响, 则在这种条件下测得的临界指数不是太可靠, 至少是不足以用来证明普适性的.

文章结尾, 聊两句 critical thinking 的问题. 批判性思考, 是一种怀疑前提假设的高级思考能力 (higher-order thinking that questions assumptions), 是做学问者应该具备的基本能力, 对物理学家来说尤其重要 (critical thinking is critical to the career of a physicist). 然而, 相当数量的国人甚至相信连洞察力都是一种招灾惹祸的本领, 《东周列国志》云: “察见渊鱼者不祥, 智料隐慝者有殃”, 就是这个意思. 这话在这块土地上似乎很有道理, 是许多人遭殃后的“智慧结晶”. 显然, 对于欲察宇宙万物之理的物理学家来说, 这样的“智慧”是与其事业的性质相抵触的. 若是一个物理学家群体对于物理学的人与事缺乏判断力或者批评的勇气, 任由谬种流传、骗子横行, 则这样的物理学家群体对物理学能有何贡献, 恐怕谁也不敢奢望. 精神不立, 学问何来? 没有健康的批评环境的国度, 一定是学术的荒漠.

### Physicists, be critical!

### 参考文献

- [1] 曹则贤, 《热力学、统计与统计物理》系列讲座 PPT, 2009
- [2] Brovchenko I, Oleinikova A. Interfacial and Confined Water. Elsevier, 2008
- [3] Kadanoff Leo P, Baym Gordon. Quantum Statistical Mechanics. Westview Press, 1994