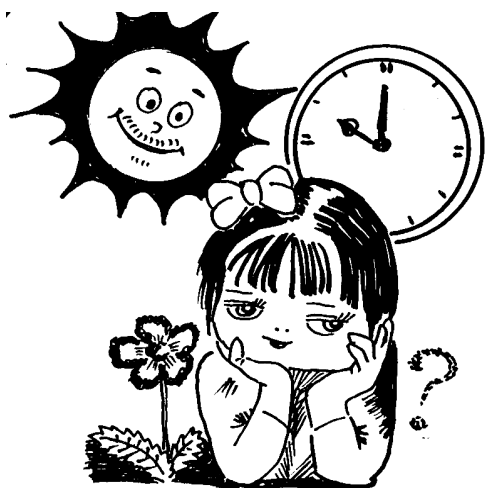


万物之数 太阳寿命

章德海



上讲中我们谈到了太阳质量、半径和密度，后两者主要是被原子

参数决定的。但是太阳最重要的另一些物理参数，例如太阳温度、亮度、寿命又是由什么决定的呢？它们对宇宙中的生命起到什么作用呢？这要从生命现象的基础是生化反应说起。典型的化学反应能标应该是什么？原子能标 $E_{\text{atom}} = \alpha^2 m_e / 2 = 13.6\text{eV}$ ，约 $1.5 \times 10^5 \text{ }^\circ\text{C}$ ，对化学反应太高了。化学物质千千万万，化学反应更是不尽其数，那么典型的化学反应能标是什么呢？以 0°C 液态水的气化潜热 10.8kcal/mol 为例，它约合 0.47eV 。虽然水的蒸发好像仅仅是个物理过程，但它涉及氢键断裂。生化分子中氢键的断裂可能引起化学性质的根本改变（例如酶的催化特性），DNA 双链间的连接也是氢键，因此氢键在生命化学中的作用举足轻重。于是我们取 0.5eV 为化学反应的典型能标（分子能标），它与原子能标的比值为 $1/27$ 。

但是假如有另一个世界，它的电磁耦合强度 α 与我们世界的 $\alpha=1/137$ 有所不同，那么分子能标与原子能标之比又该是多少呢？我们显然不可能跑到那个“世界”去做个试验“测定”这个比值，但我们有坚实的理论基础可以计算出这个比值，它一定与 α 有关。它不可能直接就是 α ，这种按 α 整幂次降低的方式太像圈图量子效应了。因为分子间的相互作用是原子间的一种剩余电磁相互作用，它的强度下降必然比量子修正效应要高，即 α 的幂次是小于 1 的真分数。最简单的真分数是 $1/2$ ，发现它不适合。再下一批次的简单真分数就是 $1/3$ 和 $2/3$ 了。我们发现 $\beta = \alpha^{2/3}$ 就是一个恰当的减缩因子，代入我们世界的 α 值，就正好得到刚才的那个比值 $1/27$ 。以后会很奇怪地发现，这个数字有相当的普适性，将在各个物理领域中起重要作用，我们把它叫做“普适减缩因子”。 β 这个普适减缩因子的引入可能有现在未能理解的深刻原因。有了这个数，化学能标的公式

就可以表示为 $E_{\text{ch}} = \beta E_{\text{atom}} = \alpha^{8/3} m_e / 2 \sim 5900\text{K}$ ，这一温度恰好与太阳表面温度（ 5770K ）相近。这其实有深刻道理。如果太阳表面温度就是这个化学能温度 $T_{\text{sun}} = E_{\text{ch}}$ ，那么太阳表面发射的光子平均能量约是 0.5eV ，它不会随行星与太阳的距离而变化。当然地球离太阳远了，地球接受到太阳的总光子数就会降低，地球就难于被加热。因此地球到太阳之间需要有一个适当距离，使海洋保持液态。当阳光照射到地球上时，这些光子能量正好能够充分激活有机化学反应。能量高了容易伤害生命分子，能量低了生命活性和进化效率太低。有了太阳温度，前讲也有了太阳表面积，于是就得到了太阳亮度 $L_{\text{sun}} = ST_{\text{sun}}^4 / 6 = \alpha^{26/3} m_e^2 m_n^{-2} / 8$ ，准确度 6%（《“宇宙与生命”系列讲座之二——万物之数 太阳质量》表 1）。

太阳为生命提供能源。如果这个世界除了有引力作用外只有电磁相互作用，那么化学反应的能源最多只能从引力塌缩获得，将不会持久并很快耗尽，系统也不稳定。生命现象的维持一定要求另有能源。因此物质结构除了必须有依靠电磁相互作用形成的原子分子结构以外，还必须有更深一层的力和结构，即核力和核结构。由核结构的重组而导致的核反应来提供持久能源，维持生命过程。如果能知道太阳可以提供多少能源，那么我们就能够算出太阳发光发热的寿命。太阳的质量上讲已知，它的静能 $E_{\text{sun}} = M_{\text{sun}} c^2$ 当然不可能全部转化为光子能量。太阳成分中还有相当一部分氦，暂时不能被青壮年太阳燃烧。即使氢也不可能被燃烧殆尽。巧合的是，能够转换成能量的比例正好是“普适减缩因子”的平方，其中一半又被中微子带走，因此只有 $\beta^2/2$ 的比例转化为光子。于是就得到太阳“化学”寿命 $\tau_{\text{ch}} = (E_{\text{sun}} \beta^2 / 2) / L_{\text{sun}} = 2\beta^{-2} \alpha^{-6} m_e^{-2} = 2\alpha^{-22/3} m_e^{-2}$ ，计算值为 91 亿年，其一半正好是地球年龄 46 亿年。这个公式很有意思，它似乎说明，太阳寿命极敏感地取决于电磁耦合常数 α ，也与电子质量有关，但却与核子质量无关。太阳寿命（91 亿年）在量级上正好与宇宙年龄（137 亿年）相仿。地球年龄、太阳寿命和宇宙年龄的比值正好为 1:2:3，这种巧合背后蕴含

着深刻道理。

化学能不单决定了太阳表面温度，还决定了地球的质量。地球的目的在于承载生命。地球应该越大越好，这样可以有更多的物质参与生命的创造和循环，增加生命奇迹的概率。但是地球越大，表面重力能也越大。当表面重力能超过了化学能，生命活力就降低了，高级生命就会变得步履维艰。因此一个核子在地球表面的重力势能 $V=GM_{\text{earth}}m_n/R_{\text{earth}}$ 应该与化学能标 E_{ch} 相差不远（不大可能刚好相等）。选择 $V=2^{1/3}E_{\text{ch}}$ ，出现与 1 相近的系数 $2^{1/3}\sim 1.23$ 的理由我们暂时还不明白，值得以后寻找，但是它便于以后推理。上讲中地球密度表达式已知为 $\rho_{\text{earth}}=m_n\alpha^3m_e^3/2$ ，于是可得用 M_{earth} 表达的 V ，我们就能通过方程 $V=2^{1/3}E_{\text{ch}}$ 求得已列入《“宇宙与生命”系列讲座之二——万物之数 太阳质量》表 1 的地球质量表达式 $M_{\text{earth}}=2^{-3/2}(\beta\alpha)^{3/2}m_n^{-2}=2^{-3/2}\alpha^{5/2}m_n^{-2}$ ，计算值与实际值相差仅为 1%。地球半径和太阳地球质量比皆可迎刃而解，列入《“宇宙与生命”系列讲座之二——万物之数 太阳质量》表 1 中。

前面提到的太阳亮度实际是为了适应生命现象而确定的恒星亮度。但是从物理原理上讲，能够允许的恒星亮度将远远大于刚才得到的那个太阳化学亮度。这是我们已知的天文常识，有许多星星的绝对亮度比太阳亮。那么恒星是不是可以无限制地发光呢？不。限制恒星最大亮度的物理因素是，恒星发出的光会把恒星物质向外推压。如果光压大于重力吸引，恒星就会解体。光的压力取决于电子对光子的散射截面。那么从光子的观点来看，电子该有多大半径呢？电子有静电能 e^2/r ，它不应大于电子的静能 $m_e c^2$ ，于是电子的“经典”半径最小只能是 $r_e=\alpha m_e^{-1}$ 。那么电子的截面应是 $\sigma_e=\gamma\pi r_e^2$ 。量子电动力学可以推出系数 $\gamma=8/3$ （汤姆森截面），但实际上此系数与电子能量有关，介质温度高时这个系数要减小。考虑了适当温度后，我们因此可取这个系数 $\gamma=2$ 。恒星光度 L （即功率）除以光速是整个光球向外的光压力 L/c 。如果恒星半径为 R ，那么光球面积是 $S=4\pi R^2$ ，光辐射的压强为 L/cS 。每个电子的截面为 σ_e ，因此光压作用在一个电子上的力为 $F_e=\sigma_e(L/cS)$ 。由于电子与质子是电中性等离子体， F_e 应与一个质子的重力 $F_g=GMm_n/R^2$ 平衡 $F_e=F_g$ ，于是得到质量光度比为 $M/L=\alpha^2 m_n^{-1} m_e^{-2}/2$ 。恒星的质量光度比其实就是恒星的饱和寿命（假设全部质量

可转化为光能，这当然是不可能的），这个寿命称为恒星的爱丁顿寿命，计算值为 3.4 亿年。显然，太阳若以其最大限度的亮度发光，寿命就会相当短，满足不了生命进化长期性（34 亿年？）的要求。恒星爱丁顿寿命与太阳化学寿命的比值恰好就是那个“普适缩减因子” $\tau_{\text{Ed}}=\beta\tau_{\text{ch}}$ 。如果这个等式成立的话，就能得出质子质量与电磁耦合常数之间的关系 $m_n=\beta\alpha^8/4=\alpha^{26/3}/4$ ，准确率在 2%。这是否说明大自然在选取质子质量时，需要参考电磁耦合强度呢？值得思考。

在爱丁顿寿命中代入太阳质量 $M_{\text{sun}}=m_n^{-2}/2$ 就得到了太阳的爱丁顿亮度 $L_{\text{Ed}}=\alpha^2 m_n^{-1} m_e^2$ ，其值比太阳的化学亮度 L_{sun} 高出 5000 倍！质量比太阳大的恒星表面温度更高、表面积更大、亮度更强，寿命也更短，更加不能为行星上生命的长期演化提供一个几十亿年的稳定环境。质量比太阳小的恒星，以表面温度为能量的光子不足以激活生命化学反应，而且能够在行星上保持液态水的行星轨道“生存带”太窄，行星落入其中的概率降低，因此对生命的出现极为不利。只有像太阳这样质量的恒星所带有的像地球这样的行星才可能最适合生命的存在和进化。

最后一个比较难的问题是恒星核反应温度。太阳虽然有 5800K 的表面温度，但是太阳的内部密度和温度都不均匀。进行核反应，核子应克服库仑斥力，这需要很高温度。只有在恒星中心才能进行核反应，那么恒星核反应的温度应该是多少呢？它决定于两个因素。首先，即使恒星中心温度没有达到核能标 $E_{\text{nu}}=1\text{MeV}$ ，也不能说没有核反应产生。粒子热运动能量是一个分布（麦克斯韦）。即使温度较低，也有少数粒子的能量远远超过平均温度，当然能量越高的粒子其数目也越少。另一个因素是，能量越高的粒子，贯穿库仑势垒的概率也越大，越容易产生核反应。这两个因素正好相反，于是必然折衷，存在一个最佳核反应能量，它比恒星温度要高。由此导致恒星产能率（单位质量恒星物质的产能功率）为 $\varepsilon=A\cdot T^{-2/3}\exp[-(54\alpha^2 m_n/T)^{1/3}]$ 。当恒星温度处在最佳核反应温度 $T'_{\text{best}}=27\alpha^2 m_n/4$ 时，产能率 ε 最高。适当考虑屏蔽效应和耦合常数的跑动，可取 $T_{\text{best}}=5\alpha^2 m_n$ ，数值在 30 亿度左右，显然比太阳表面温度高太多了。实际上，太阳中心温度比最佳核反应温度低，太阳表面温度又比太阳中心温度低，之

抗震救灾中生命援救的一些科技装备

杨先碧

5月12日汶川8.0级大地震发生之后，需要争分夺秒地救援，提前1秒就可能多拯救一个生命。此时光靠人力不能满足救援需求，亟需出动一些高科技装备。常见的挖掘机可清理道路和挖掘废墟；千斤顶可顶住压在被困者身上的楼板和石块，防止救援时再次垮塌。此外，电视上还出现了一些平时不常见的高科技装备，比如生命探测仪、二氧化碳探测器、直升机、遥感飞机、漕渡门桥等。这些装备缩短了救援时间，使救援队伍能够拯救更多的生命。

生命探测仪

在拯救废墟中的幸存者时，我们从新闻中看到或听到最多的技术装备就是生命探测仪，国家领导人在讲话中也鼓励广大救灾人员要充分利用好这种高科技仪器。它是目前世界上最先进的救生探测工具，2005年由美国超视安全系统公司推出，是美国麻省理工学院物理学家大卫·席思利用雷达超宽频技术开发的。

生命探测仪由发送超宽频信号的发送器、探测接收返回信号的接收器和用于读入接收器的信号并

进行算法处理的电脑组成，实际上是一个探测人体呼吸和运动的仪器。雷达信号发送器连续发射电磁信号，扫描一定空间，接收器不断接收反射信号并对返回信号进行算法处理。如果被探测者保持静止，返回信号是相同的。如果目标在动，则信号有差异。通过比较不同时间段接受的信号，就可判断目标是否在动。由于呼吸频率较低（一般每秒1~2次），就可把呼吸运动和其他较高频率的运动区分开来。



图1 生命探测仪

间的比例又是涉及那个“普适缩减因子” $T_{\text{中心}} = \beta^2 T_{\text{best}}$, $T_{\text{表面}} = \beta^2 T_{\text{中心}} = 5\beta^4 \alpha^2 m_n$ 。如果这时把这个恒星表面温度与太阳的化学表面温度联系起来，我们就得到电子质量为 $m_e = 10\beta^3 m_n = 10\alpha^2 m_n$ ，数值误差在2%。这又是一件奇妙的事情，大自然在选择电子质量时，要兼顾电磁耦合强度和质子质量吗？真值得深思。

一般大质量恒星燃烧太快，但太阳燃烧相当缓慢，其原因是什么？太阳为什么能发生核燃烧？两者的原因都是因为“弱相互作用”。我们知道，太阳是依靠燃烧4个氢原子核成为1个氦原子核而产生能量。但是这一过程必然要把两个质子转化为两个中子。这就必然要求自然界有弱作用。弱作用的传递粒子很重，才使太阳核燃烧变得缓慢，提供几十亿年的稳定辐射以供生命进化之需求。于是我们看到，引力、弱、电、强四种相互作用对生命的进化和高级生命的出现至关重要，缺一不可。

本讲给出了许多重要物理对象的物理参数与基本物理参数之间的简洁关系（剩余的会陆续给出）。上述各种物理过程的真正物理分析要远远复杂和细致得多，只能读厚厚的各类教科书才能专业性地了解。但是在我们的简洁分析中，上述各种物理过程的物理理由却非常明确，抓住了它们的主导物理原因，忽略了许多细节。它至少告诉我们，正是物理学的基本参数（电磁耦合强度、电子质量、核子质量）决定了太阳质量、表面温度、寿命，地球质量、大小等等。所以我们看出，万物在万物图中的位置是被基本参数决定了的。电磁耦合强度 α 的幂次最多只被分割为1/3，并不是更小的分割。某种意义上讲它是个“量子化”的现象。基本参数一旦变化，整个万物之间的关系就将改变，很可能不利于生命的出现，我们将在后面的讲座中逐一分析。

（北京市中国科学院研究生院 100049）