

三、爱因斯坦转盘上的势与钟

现在我们可以计算转盘上惯性离心力的势函数 $\varphi = E_p/m$ 了。这是一个保守力场，保守力所做的功等于相关势能的减少， $W = -\Delta E_p$ ，故

$$\Delta E_p = -W = -f\Delta r,$$

图线 $f(r)$ 由下图所示。由盘心到盘缘，离心力 f 移动质点 m 所作的功 W 等于图线 $f(r)$ 跟横轴 r 所夹

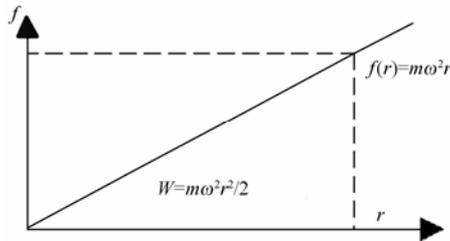


图 2

的直角三角形的面积（底 $r \times$ 高 $m\omega^2 r/2$ ），即 $W = m\omega^2 r^2/2$ 。规定盘心为势能零点，从盘心到速度为 $v = \omega r$ 的盘缘，质点 m 的势能降为

$$E_p = 0 - W = -m\omega^2 r^2/2 = -mv^2/2,$$

故离心力场的“势”为

$$\varphi = E_p/m = -\omega^2 r^2/2 = -v^2/2. \quad (2)$$

将(2)代入(1)式，得

$$\Delta t = (1 - v^2/c^2)^{-1/2} \Delta\tau = (1 + 2\varphi/c^2)^{-1/2} \Delta\tau.$$

此式意味着，将前述爱因斯坦列车换成半径为 r 的爱因斯坦转盘，盘缘上放置“标准钟”，无论转盘外

静止“站台”上的还是站在盘心处（ $\varphi=0$ ）不随转盘运动的观测者，都会看到转盘边缘上（ $\varphi < 0$ 处）的“钟慢”现象。

四、钟在引力场中变慢的因子

根据等效原理，惯性离心势 $\varphi = -\omega^2 r^2/2$ 与球对称引力势 $\varphi = -GM/r$ 局部等效，因此引力场中某地（ $\varphi < 0$ 处）的固有吋

$\Delta\tau = (1 + 2\varphi/c^2)^{1/2} \Delta t = (1 - 2GM/c^2 r)^{1/2} \Delta t$ 小于无穷远处（ $\varphi = 0$ ）观测者的“视吋” Δt 。

这就是说，在球对称引力场中，钟放置的位置越低（即引力势越低，引力场越强），在远处的观测者看来它走得就越慢。这就是广义相对论的“钟慢效应”。 $(1 + 2\varphi/c^2)^{1/2}$ 就是钟在引力场中变慢的因子。当 $\varphi \ll c^2$ 时， $\Delta\tau_2/\Delta\tau_1 = 1 + \varphi_2 - \varphi_1$ 。

细心的读者自然会想：卫星上的钟（走时 t ）比地面上的钟（走时 T ）快（ $t/T - 1 = 46 \mu\text{s}/24 \text{h} \approx 5.3 \times 10^{-10}$ ），这是哪位观测者测量的结果？是卫星上的，地面上的，还是遥远太空观测者的测量结果？钟在引力场中变慢的效应究竟是绝对的还是相对的？你想明白了吗？

利用钟慢因子，还可以解释有趣的“引力红移”现象，计算黑洞奇妙的“视界半径”。敬请读者关注下期分晓。

（河北师范大学物理学院 050024）

科苑快讯

世界上最古老的生物

提起最古老的生物，所有人都会想到树，比如加利福尼亚州和内华达州的大盆地狐尾松，有将近 5000 年的寿命。最近，法国海洋开发研究院（IFREMER）和阿尔加维大学（Universidade do Algarve）的阿诺德-哈蒙德（Sophie Arnaud-Haond）和同事在西班牙至塞浦路斯绵延 3500 千米的 40 处海底将波喜荡海藻（如图）的 DNA 取样排序，发现它是地球已知最古老的植物。这种植物像其他海草一样，通过克隆繁殖，所以这种巨大的植物在遗传学上有同样的细胞。

根据这种海草缓慢的生长率估算，研究者估计在遗传学上一致的植物片段就生长在福门特拉岛的

15 千米沿岸，寿命长达 8 万~20 万年，使其成为地球已知最古老的植物。



（高凌云编译自 2012 年 3 月《欧洲核子中心快报》）