

# 量子里程碑：1916年密立根对普朗克常数的测量

(中国科学院物理研究所 汪力 编译自 Gerald Holton. *Physics*, January 17, 2025)

该实验进一步证明了光子的存在，但密立根直到职业生涯后期才接受这一事实。

罗伯特·密立根1916年关于普朗克常数测量的论文在当时是极不寻常的。今天，这篇论文所承载的历史仍然值得玩味：对于这个事实上验证了量子理论并在7年后获得诺贝尔奖的工作，密立根本人的解读和认知却有一个纠结的过程。

虽然人们早就知道光照射在金属表面可能会射出电子(光电效应)，但密立根首次以极高精度确定射出电子的最大动能符合爱因斯坦1905年提出的方程：即  $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - P$ ，其中  $h$  是普朗克常数， $\nu$  是入射光的频率，用密立根的话来说  $P$  是“将电子从金属中取出所需的功”。通过测量阻止光电子发射所需电场的势能，即可确定光电子的动能。应用他在1913年油滴实验中确立的电子电荷  $e$  的独特精确值，密立根最终确定  $h$  的值为  $6.57 \times 10^{-27}$  尔格·秒，“精度约为0.5%”，这一数值远优于所有先前的结果。密立根

的这一实验在当时具有最高的重要性，并作为他1923年获得诺贝尔奖工作(电的基本电荷和光电效应)的一部分。

在 *Phys. Rev.* 同一卷的另一篇早期论文(1916年1月，如图所示)中，密立根在第一句话中写道：“爱因斯坦的光电方程……在我看来，目前不能被视为建立在任何令人满意的理论基础之上”，尽管“它实际上非常准确地描述了”光电效应。事实上，在密立根关于测量普朗克常数的论文表述中，他始终与爱因斯坦1905年将光效应与某种形式的量子理论联系起来的尝试保持距离。我们现在所称的光子，当时在密立根看来，是“大胆的，甚至可以说是鲁莽的假说”，因为它与光作为波传播现象的经典概念相悖。因此，密立根的论文并不像我们现在所期望的那样，是对光的量子理论实验证明。

1912年，密立根在美国科学促进会与美国物理学会联合举行的克利夫兰会议上发表演讲，明确认为自己是普朗克辐射理论的合适介绍者。带着他一贯的自信，密立根坦承光的微粒理论对他来说“完全不可想象”，在他看来，这与衍射和干涉现象无法调和。简而言之，密立根1916年的经典论文纯粹是为了验证爱因斯坦的光电效应方程并确定  $h$  的数值，而不接受任何“激进”的解读。

当密立根获得1923年诺贝尔奖

时，他的诺贝尔演讲中包含的一些段落，再次显示了他对自己成就进行解读时的纠结：“这项工作出乎我自己的意料，首次直接实验证明了……爱因斯坦方程，并首次直接光电测定了普朗克的  $h$ 。”

然而，很难在密立根当时的实验论文中找到任何关于这种与自己预期不符的文字表述。他的内心冲突是另一种类型，虽然密立根承认爱因斯坦的光电方程是“实验上确立的……但局域光量子概念(爱因斯坦据此得出他的方程)仍然必须被视为远未确立。”有趣的是，正是密立根的实验说服了倾向于实验主义的斯德哥尔摩委员会在1922年接纳爱因斯坦进入那个精英圈子。

最后的认定：1950年，82岁的密立根出版了他的自传，第9章直接题为“光子存在的实验证明——爱因斯坦的光电方程”。至此，密立根已经接受了光子的概念，改变了对他1916年左右所做工作的看法，因为他现在写道，当实验数据逐渐清晰，它们“简单而无可辩驳地证明，以能量  $h\nu$  逃逸的电子是通过光直接向电子转移了  $h\nu$  单位的能量，几乎不允许任何其他解释，除了爱因斯坦最初提出的半微粒或光子理论。”

最终，密立根重构了他的辉煌实验的复杂个人历史，以适应我们许多物理教科书中讲述的简单故事。

A DIRECT PHOTOELECTRIC DETERMINATION OF  
PLANCK'S " $h$ ."  
BY R. A. MILLIKAN.  
I. INTRODUCTORY.  
QUANTUM theory was not originally developed for the sake of interpreting photoelectric phenomena. It was solely a theory as to the mechanism of absorption and emission of electromagnetic waves by resonators of atomic or subatomic dimensions. It had nothing whatever to say about the energy of an escaping electron or about the conditions under which such an electron could make its escape, and up to this day the form of the theory developed by its author has not been able to account satisfactorily for the photoelectric facts presented herewith. We are confronted, however, by the astonishing situation that these facts were correctly and exactly predicted nine years ago by a form of quantum theory which has now been pretty generally abandoned.

1921年，密立根发表在 *Phys. Rev.* 上的论文第一段

DOI: 10.7693/wl20250410

CSTR: 32040.14.wl20250410