

物理学史中的九月

1892年9月10日：康普顿的诞生

萧如珀 杨信男



1895年，伦琴（Wilhelm Conrad Roentgen）在研究阴极射线时，发现了X射线。虽然当时有人建议将此新射线命名为“伦琴射线”，但因它的本质是个谜，所以伦琴还是坚持以数学上用以代表未知数的符号“X”来称呼它。由于伦琴所发现新型态的射线可以穿透身体的软组织，看得见骨头，在医学诊断上帮助很大，所以马上在全球各地引起轰动。科学家对此新射线更是着迷，用尽各种方法，希望能揭开它的谜底，了解它的本质。1923年，康普顿（Arthur H. Compton）提出了答案，X光是短波长的电磁波，同时带有波和粒子的性质。

康普顿于1892年9月10日出生在美国俄亥俄州伍斯特，家学渊源，父亲艾利亚斯·康普顿是伍斯特大学的哲学教授、院长与代理校长。康普顿兄弟三人都是普林斯顿大学的博士，当时传为美谈；大哥卡尔曾任麻省理工学院校长，二哥威尔森则曾任华盛顿州立大学校长，他自己也当过圣路易斯华盛顿大学的校长，堪称“校长之家”。

大学期间，康普顿获得了一项以回转仪技术控制飞机的专利，因而欲专攻机械工程。但后来他受到



图1 康普顿

哥哥的影响，也追随哥哥到普林斯顿大学深造物理，1916年，他完成论文《X光的反射及原子内部电子的分布》，获得博士学位。

伦琴发现X光后不久，法国科学家萨格纳克（Georges Sagnac）立即注意到，当X光照射到任何物质，不管是固体、液体或气体，都会引发次级辐射，此现象提供了研究X光本质的极佳平台；接着斯托克斯（G. G. Stokes，1819～1903，英国物理及数学家，1849～1903任剑桥大学卢卡逊（Lucasian）讲座教授）提出了X光为电磁脉冲的观点。1903年，汤姆孙（Joseph John Thomson，因

发现电子，获得1906年诺贝尔物理学奖）将斯托克斯的观点进一步延伸，提出电磁脉冲，即X光，照射在物体上时，电磁场会让物体中的电子加速；依照麦克斯韦的电磁论，电子会将吸收的能量以相同频率的电磁波辐射出去，即所谓的次级辐射。汤姆孙所导出的次级辐射的角分布形状，在教科书中通称为汤姆孙公式。

经由一系列的实验，巴克拉（C. G. Barkla，因研究X光获得1917年诺贝尔物理学奖）印证了汤姆孙公式的正确性，并发现次级辐射也像光在天空中的散射一样，带有极化性。1912年，劳厄（Max von Laue，1914年诺贝尔物理学奖获得者）完成了X光行经晶体所出现的绕射实验，X光的波动本质终于获得物理学家广泛的认同，其中还包括极力主张X光是由质点组成的威廉·布拉格（W. H. Bragg，1915年诺贝尔物理学奖获得者）。

此外，巴克拉还发现，次级辐射中也含有一些与原入射X光波长不同的辐射，他称之为“特征辐射”。因绝大多数特征辐射的性质均与入射X光无关，只视被照射的物质而定，也就是说，这些特征辐射反映了被照射物质的特性。不

过，巴克拉还观察到少量的特征辐射，波长与原入射 X 光相差不大，与被照射的物质亦无关，他称之为“J 特征辐射”。

康普顿获得博士学位后，先到明尼苏达大学任教一年，再转赴匹兹堡的西屋灯具公司工作，并为讯号公司研发飞行仪器。两年后，他获得国家研究委员会的奖学金，得到剑桥大学卡文迪许实验室进修，与汤姆孙的儿子乔治·汤姆孙（G. P. Thomson, 1937 年诺贝尔物理学奖获得者）合作研究 γ 射线的散射与吸收。他发现 γ 射线所产生的次级辐射比较容易被物质吸收，而吸收率的增加被认为是因辐射的波长变大所致，但当时康普顿并无法由吸收率的变化精确地决定出波长的增加量。

一年后，康普顿离开了剑桥，接任华盛顿大学教授兼物理系主任。他立即着手研究，将 γ 射线的散射延伸到 X 光范围，以绕射方法精确地测定入射与散射的 X 光波长。他将石墨块置于以钨为标靶的 X 射线管外做为散射体，再以铅板隔绝主辐射，并以几组细缝引导次级辐射照在方解石晶体做成的绕射光栅上；当散射角度是 90° 时，出现的光谱有两条：一是原辐射钨的 K_α 线，另一则是波长增加 0.024\AA ($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$) 的谱线。康普顿解释，波长增加 0.024\AA 谱线的次级辐射是源自主辐射被散射体内电子所散射的。

当时美国国研会成立一研究次级辐射小组，由哈佛大学教授杜安（William Duane）主持。康普顿

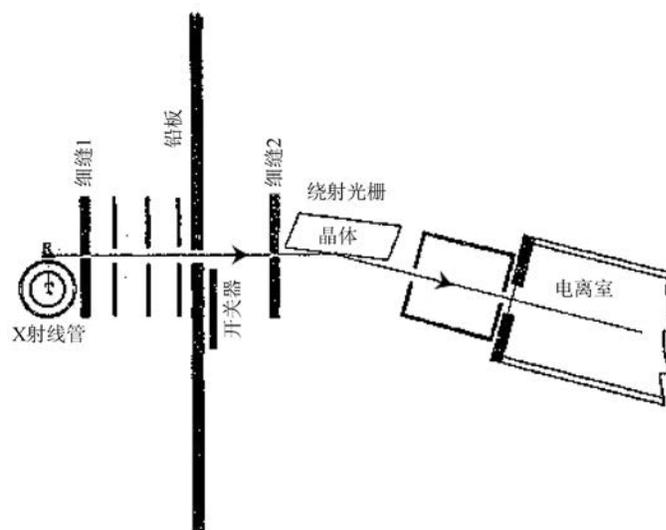


图2 康普顿于1922年的实验装置：T为X射线管，R为散射体石墨，X光经由细缝导入射于绕射光栅——方解石晶体，以测出其波长

将他的发现放在小组的报告中，但杜安不相信他的结果，反对将其收录在正式出版的报告中，幸好赫耳（W. Hull）坚持，康普顿的论文才得以登出。

康普顿的论文一发表出来，在苏黎世联邦理工大学（ETH），原即有着类似想法的德拜（P. Debye, 1936 年诺贝尔化学奖获得者）马上写了一篇论文，解释康普顿所观测的波长变化，论点基本上与康普顿的假设相同。康普顿完整的论文于《物理评论》（*Physical Review*）中刊出后几天，德拜有关散射波长变化的论文亦在《物理学期刊》（*Physikalische Zeitschrift*）中发表。

1923 年，康普顿在美国物理学会 4 月年会上报告，说明他发现次级辐射频谱出现了差距约有 0.024\AA 的双峰结构及其解释，引起了极大的轰动。由于杜安无法认同康普顿的看法，所以美国物理学会于该年底的年会中安排了一场两

人的正式辩论会，会后两人还互访对方的实验室，实际了解实验结果相异的原因。后来，威尔逊（C. T. R. Wilson）经由他发明的云雾室观测到 X 射线与电子碰撞后，反冲电子的轨迹与康普顿的理论预测相吻合，杜安才接受康普顿的见解。威尔逊和康普顿于 1927 年因此发现同获诺贝尔物理奖，X 光量子与电子碰撞以致波长增长的发现之后被称为“康普顿散射”。

爱因斯坦对光电效应的解释说明光具有波及粒子的双重特性，康普顿效应则说明短波的电磁波如 X 光也带有波及粒子的双重特性。这让物理学家确信所有的电磁波，不管波长大小，都具有波及粒子的双重特性，也多少启发了德布罗意（L. de Broglie, 1929 年诺贝尔物理学奖获得者）在 1927 年提出电子应该也具有波及粒子的双重特性。

1923 年，康普顿被芝加哥大学延揽。1941 年 4 月，美国国家科学院成立研究委员（下转 63 页）