

# 伦琴与X射线的发现

曹则贤<sup>†</sup>

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2021-07-04收到

<sup>†</sup> email: zxcao@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20210801

## Röntgen and the discovery of X-ray

CAO Ze-Xian<sup>†</sup>

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

无心插柳柳成荫 ——[元]关汉卿

**摘要** X射线的发现是人类历史上影响最大的事件之一，同其先驱阴极射线的发现一样，都是无心插柳柳成荫的佳话。伦琴为了将阴极射线引出玻璃管外进行研究，用了较高的放电电压且是在黑暗的实验室内进行研究，无意间发现了X射线。伦琴因X射线的发现于1901年获得了第一届诺贝尔物理学奖。X射线为人类带来数不尽的发现和福祉。

**关键词** 伦琴，气体放电，克鲁克斯管，暗区，阴极射线，X射线

**Abstract** The discovery of X-ray, as that of its precursor the cathode ray, is the most influential, and serendipitous, event in history of science. In order to extract cathode ray from a Crookes tube, Röntgen applied a relatively higher voltage and carried out the experiment in dark, thus unintentionally found a novel unknown ray, which he named the X-ray. Röntgen was awarded the first Nobel prize in physics for his discovery of X-ray, which in turn has brought with it a lot of new findings and benefits to the human society.

**Keywords** Röntgen, gas discharge, Crookes tube, dark zone, cathode ray, X-ray

## 1 伦琴其人



图1 X射线的发现者伦琴

伦琴(Wilhelm Conrad Röntgen, 1845—1923)，德国物理学家，因X射线的发现而名垂青史(图1)。伦琴出生于德国，三岁回到母亲的故乡荷兰乌特勒支(Utrecht)，在乌特勒支技术学校上的中学，但未获得中学毕业

证书。没有高中毕业证书，伦琴就无法在德国上大学。1865年，伦琴进入新建的瑞士联邦理工(如今叫ETH Zurich)学习机械工程，1869年从苏黎世大学获得了博士学位。在苏黎世大学其间，伦琴得到了孔特(August Kundt, 1839—1894)教授的赏识，这为他一生的成功埋下了伏笔。1869年，伦琴作为孔特的助手来到了德国西南部的维尔茨堡(Würzburg)大学。由于伦琴没有高中毕业证书，故他虽然拥有苏黎世大学的博士学位却也不能做Habilitation(德国一带的学术升迁制度。博士以后做Habilitation，要求独立做研究。通过Habilitation的博士可以把头衔改为Habil. Dr.，可以在大学担任私俸讲师，有资格到其他学校申请教授职

位),自然也就没有升教授的可能。尽管孔特特别赏识伦琴的才华,为其力争,但在讲究规则的德国也没有丝毫回旋的余地。恰好不久普法战争(1870—1871)结束了,1872年德国要在斯特拉斯堡(Strassburg,现属法国)建立斯特拉斯堡大学(Kaiser-Wilhelm-Universität Strassburg),孔特前往该大学任职,把伦琴也带过去了。估计是在新占领地区建的新学校,政策放宽了些,这样就把伦琴的Habilitation问题给解决了。1874年,伦琴成了斯特拉斯堡大学的私俸讲师,1875年在霍亨海姆(Hohenheim)大学的农业系找到了第一个教授位置,其后先后在斯特拉斯堡和吉森(Giesen)的大学做教授,1888年伦琴重回维尔茨堡大学,在那里实现了人生的辉煌。1900年,伦琴又转往慕尼黑大学任教,直至1923年辞世<sup>[1, 2]</sup>。

## 2 X射线的发现

X射线的发现,是在研究阴极射线过程中偶然发现的。欲从科学研究方法的角度评价X射线的发现,有必要先谈谈阴极射线的发现与研究。这一段传奇直接缘起1865年盖里克(Otto von Guericke, 1602—1686)发明了气泵所带来的气体放电研究,其间思想火花飞溅,剧情跌宕起伏,是物理学史的重头戏。限于篇幅,笔者此处只能择其要点略述大概<sup>[3]</sup>。

设想给平行板电容器充电后放置观察,会发现电荷很快就消失了。可能的原因包括绝缘不好,平行板上有毛刺(干脆换成针尖任由电荷泄露,这就是后来的电子枪了),存在环境气体,等等。把平行板封装在玻璃壳里,发现漏电会少一些但仍然有漏电。人们自然会想到,如果将玻璃壳里的空气抽出来,漏电问题会有所改善。一开始果然如此,不过当玻璃壳内的气压小到一定程度而所加电压足够高时,漏电反而更剧烈了,气体发光了——这带来了气体放电(gas discharge)。气体放电引起了物理学家的极大兴趣,为此制作了许多实验设施开展研究(图2)<sup>[4]</sup>。仔细观察气体放电过程,会发现阴极一侧存在一个暗区。减小气压,暗区会向阳极方向延长。当气压小到一定程度时,会发现阳极竟然亮了。阳极亮了,那应该是被来自阴极的某种射线给照亮了的。1869年希托弗(Johann Hittorf, 1824—1914)首先想到必定是有什么东西从阴极射向阳极,1876年戈登斯坦(Eugen Goldstein, 1850—1930)认为那东西就来自阴极,于是将这种射线叫作阴极射线(Kathodenstrahlen, cathode ray),性质待定。

研究阴极射线后来常用的是克鲁克斯(William Crookes, 1832—1919)管,包括一个抽了真空的密封玻璃管,有两个金属电极,一般两个电极会采用相对的几何,后来为了研究阴极射线会把阳极放在侧面。此外,为了探究阴极射线的性质人们还在玻璃管中间放上孤立的铁十字或者小风车(图3)。阴极射线能将小风车打得转起来,这

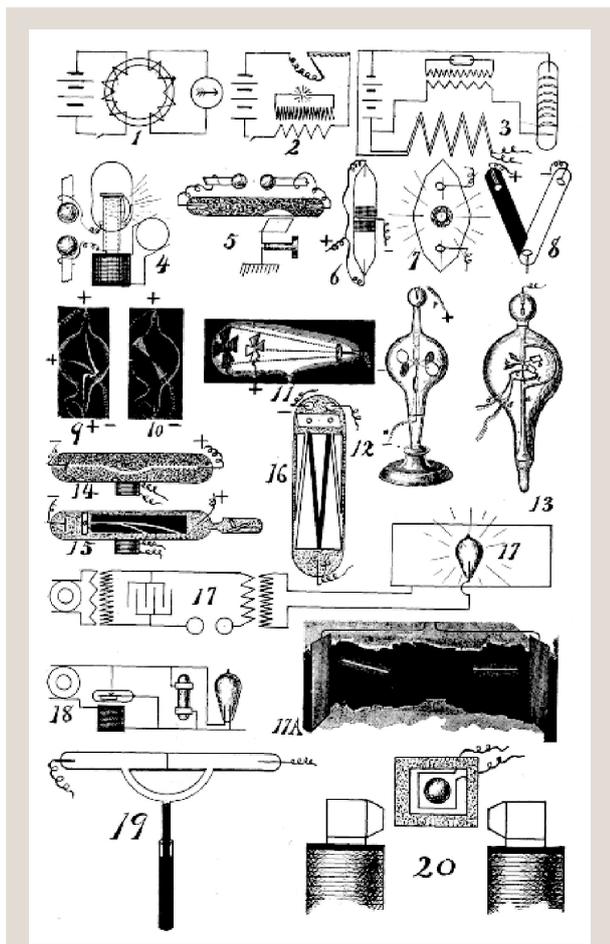


图2 与气体放电相关的一些电学实验<sup>[4]</sup>

说明它是粒子。此外，阴极射线受磁场影响，会发生偏折(图3，图4)，令人猜测其是带电的。许多著名物理学家都投入了阴极射线的研究，这包括德国的赫兹(Heinrich Hertz, 1857—1894)、伦纳德(1862—1947)，英国的汤姆孙(J. J. Thomson, 1856—1940)等人。汤姆孙于1897年测定了阴极射线的质量约为氢原子，并且发现其诸多性质同光电效应产生的粒子和放射性物质发出的 $\beta$ 粒子相似，比如带负电荷<sup>[5]</sup>。后来这些粒子或射线被发现都是电子(electron)。伦纳德因阴极射线的研究获得1905年度的诺贝尔物理学奖，汤姆孙因电子的发现获得1906年度的诺贝尔物理学奖，这是后话。

伦琴于1888年回到维尔茨堡大学任物理教授，受赫兹、伦纳德的影响也研究阴极射线，他用的设备都是跟赫兹、伦纳德借的。既然认识到阴极射线是粒子，受磁场作用能偏折，那能不能把它引出玻璃管外加以研究呢？为此，要在玻璃管上钻一小孔，用金箔封上，外侧再加纸板之类既能抗得住内外压力差又(估计)能让阴极射线透过的材料作支撑。注意，在小孔外需要用荧光材料，比如氢氰酸钡，以探测是否有阴极射线出来。由于预期阴极射线即便被引出来也不会太强，那它能激发的荧光也不会太强，所以这样的研究应该在黑暗的屋子里进行。碰巧的是，伦琴是个富家子弟，在19世纪末就是个出门就挎相机的人。他在瑞士上大学期间，和朋友远足时就总带着相机和黑布罩(想当实验物理学家的人，最好是有手艺的)。1895年11月8日，伦琴发现放在远处的一块荧光板竟然是亮的且显然不是由阴极射线引发的？那估计是一



图3 阳极在下部、中间安置了一个铁十字的克鲁克斯管，细的尾端是阴极。左图：未加电压没有放电；中图：加上电压有放电，铁十字的影子在阴极对面清晰可见；右图：加磁场，可以挪动铁十字的影子，且影子也变得模糊

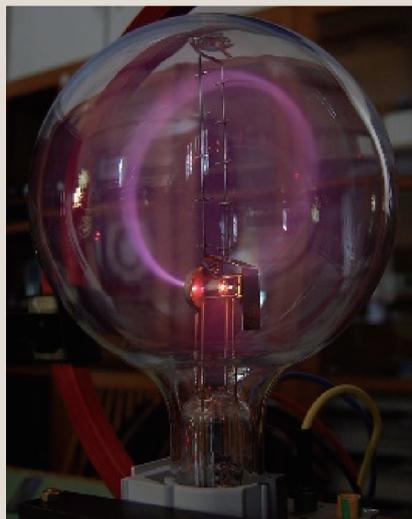


图4 阴极射线受磁场影响。特斯拉线圈在克鲁克斯管外产生的磁场在管内造成了一个光圈



图5 用X射线拍摄的伦琴夫人手部照片

种新的未知射线造成的，伦琴管它叫X射线<sup>[6]</sup>。4周后，发现X射线的消息传遍了全世界。1895年12月22日，伦琴用X射线拍摄了其夫人手部的照片，演示了X射线强大的穿透能力(图5)。后来，伦琴又于1896年1月23日拍摄了解剖学家Albert von Kölliker的手，这让人们看到了X射线巨大的医用潜力。von Kölliker在那一年的自然科学家大会上建议将X射线称为伦琴射线，也得到了响应。伦琴觉得X射线应该跟光有点儿亲戚关系，但是他用干涉现象来确认X射线是光的努力没能成功。

伦琴之所以能发现X射线，除了因为想要把阴极射线引出玻璃壳外因而动用了荧光材料以及伦琴是摄影爱好者常于暗室工作以外，最重要的前提是他的设备产生了足够强的X射线——要发

现X射线总得有X射线可发现才是。如今我们知道,光子能量在约100 eV—100 keV,对应波长在10 pm—10 nm的电磁辐射属于X射线。对于一般的金属阳极,受阴极射线轰击产生可供探测到的X射线(来自轫致辐射部分)大约总需要5000 V的高压,电压不够高可能是伦琴之前的研究者未能注意到X射线存在的原因。笔者猜测,是为了让阴极射线能够穿透金箔,伦琴才使用了尽可能高的电压的。

### 3 X射线被发现之后

阴极射线和X射线的发现都是无心插柳的结果,这从这两个完全不知所云的名字就能看出来。伦琴发现X射线事先没有任何的伟大规划,就是因为把电压加得足够高了,又碰巧自身是个摄影爱好者。有人问伦琴他发现X射线时在想什么,伦琴回答说,我没想什么,我是在研究。然而,阴极射线和X射线这种无心插柳式的伟大发现还是激发了人们发现更多未知射线的热忱,甚至到了强迫物理世界满足人之研究期望的地步,在法国更是引发了N射线研究的丑闻。

伦琴没有为X射线的发现申请任何专利,他认为那是属于全人类的,理应让公众免费获得。

1901年,伦琴获得首届诺贝尔物理学奖,他把5万瑞典克朗的奖金捐给了维尔茨堡大学。维尔茨堡大学至今走出了6位诺贝尔物理奖获得者,其他5位分别是维恩(Wilhelm Wien, 1864—1928)于1911年因为热辐射的研究,斯塔克(Johannes Stark, 1874—1957)于1919年发现斯塔克效应,劳厄(Max von Laue, 1879—1960)于1914年实现X射线衍射,布朗(Ferdinand Braun, 1850—1918)于1909年对无线电技术的贡献,克利青(Klaus von Klitzing, 1943—)于1985年因为发现整数量子霍尔效应而获奖。劳厄于1912年在慕尼黑大学实现了X射线的晶体衍射<sup>[7]</sup>,应该是受伦琴工作的影响,伦琴自1900年起就一直在慕尼黑大学。

伦琴在实验室里发现X射线不久,X射线强大的穿透能力就使其在医学领域得到了广泛应用,如今大部分人知道X射线这一概念也还是得自医疗体验<sup>[8, 9]</sup>。其实,大自然中有多种产生X射线的机制,人类也研究出了多种产生X射线的机制,甚至有了X射线激光。X射线是特定能量(波长、频率)范围内的电磁辐射,一方面它就是电磁辐射而已,另一方面我们必须牢记,光,或曰电磁辐射,在每一个频率上都有独特的物理。X射线的研究与应用已经为人类带来了诸多成果与福祉<sup>[9, 10]</sup>,未来它必然还会允诺更多。

### 参考文献

- [1] Wilhelm Conrad Röntgen, Wikipedia 条目
- [2] Glasser O. Wilhelm Conrad Röntgen and the Early History of the Röntgen Rays. John Bale, Sons and Danielsson Ltd., 1933
- [3] 曹则贤. 平行板装置上产生了多少个诺贝尔物理奖? 个人讲座 PPT, 2015
- [4] Thompson E P. Röntgen Rays and Phenomena of the Anode and Cathode. D. Van Nostrand, 1896
- [5] Thomson J J. On bodies smaller than atoms. The Popular Science Monthly, 1901, p.323
- [6] Röntgen W C. Über eine neue Art von Strahlen Sitzungsberichte der Würzburger Physik-med. Gesellschaft, 1895; On a new kind of rays. Nature, 1896, 53:274
- [7] Ewald P P. 50 Years of X-ray Diffraction. International Union of Crystallography, 1962
- [8] Hahn M. Die Durchleuchtung der Welt (透视世界). Journal der Physik, 2020, 19(7):26
- [9] Trevert E. Something About X-Rays for Everybody. Medical Physics Publishing Corporation, 1988
- [10] Agar J. Science in the Twentieth Century and Beyond. Polity Press, 2012