

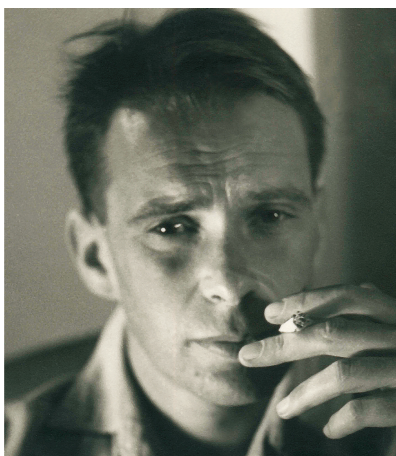
从死亡射线到反物质

(复旦大学 赵杰、何万兵 编译自 Giulia Pancheri. *Physics World*, 2024, (7): 33)

布鲁诺·陶舍克(Bruno Touschek)是一位出生于奥地利的理论物理学家，提出了世界上第一台环形粒子对撞机。但正如 Giulia Pancheri 所描述的，很少有同事知道他的黑暗过去，他曾为纳粹军方研制过“死亡射线”装置。

1966年5月一个阳光明媚的日子，我第一次走进罗马附近的弗拉斯卡蒂国家实验室(Frascati National Laboratory)。当时我刚从罗马大学物理学专业毕业，并获得了在弗拉斯卡蒂理论物理组工作的奖学金。该小组由布鲁诺·陶舍克领导，他在六年前提出了建造一种新型粒子加速器的著名建议，这种加速器后来成为世界上诸多未来装置的原型。

他的想法不是用粒子轰击固定靶或电子相互碰撞，相反陶舍克提出，以正电子的形式储存足够的反物质，并在一个环形装置中将它们与电子正面碰撞，由此产生的湮灭将揭示粒子世界的新秘密。1963年，当“储存环”(Anello di Accumulazione, AdA)投入使用时，这一



1955年，才华横溢的布鲁诺·陶舍克在德国死里逃生十年后的照片。此时，他已是一位成功的理论家，并已提议建造世界上第一台正负电子对撞机

想法变成了现实。

AdA 储存环装置非常成功，因此世界各地很快建造起类似的正负电子对撞机。1966年，陶舍克正在监督 ADONE 的建设，这是一台更加强大和漂亮的装置，它运行的正负电子对撞质心能量高于世界上任何其他加速器。现在我仍然记得，当时陶舍克把我带到恩里科·费米大街对面一座圆形建筑的大礼堂时的激动心情，一台巨大的起重机正在吊装 ADONE 的第一块磁铁。

接下来的一年里，我在陶舍克的研究小组工作，但无论是我还是在罗马大学的大多数同事，都不知道他那黑暗而充满戏剧性的过去。对大多数学生来说，陶舍克最出名的是他精彩的统计力学讲座，他讲课细致而精确，用词妙趣横生，优美整洁。

对我和其他许多人来说，陶舍克是个天才。作为一名物理学家，他对自己的能力充满信心，而又不傲慢，他喜欢聪明勤奋的学生。AdA 储存环的伟大成就使他身上闪烁着光辉。有关陶舍克动荡的早年生活的真实故事直到多年之后，他于1978年去世以后才浮出水面。

不平凡的一生

在陶舍克去世之后的几年里，他的朋友和同事们在各种文章、书籍、讲座和视频纪录片中讲述了他的故事。但是，直到2009年，科学

史学家 Luisa Bonolis 和我发现了一批陶舍克写给他父亲的信件，他非凡的一生才得以完整展现。

尽管陶舍克是犹太人，但他在第二次世界大战期间却被迫为纳粹工作。他被征召去帮助制造一种可以发射军用级“死亡射线”的科学设备，他的故事令人难以置信。后来，陶舍克被关进了集中营，在最恶劣的环境下，他表现出了无穷的勇气。尽管遭受了这些创伤，他仍以坚定的决心和远见卓识为粒子物理学做出了重要的基础性贡献。

悲剧时代

陶舍克于1921年2月3日出生在维也纳，是家中独子，他的母亲是犹太艺术家 Camilla Weltmann，父亲是奥地利军队中的一名天主教军官 Franz Xaver Touschek，第一次世界大战期间在意大利境内作战。他的童年充满了悲剧色彩，母亲在他9岁时死于“西班牙流感”后遗症，1934年，他的舅舅在希特勒上台后自杀身亡。

1938年初，奥地利被纳粹德国吞并，生活雪上加霜。陶舍克是著名的 Piaristengymnasium 中学的学生，第二年就要参加期末考试了。虽然陶舍克的母亲为了嫁给他的父亲而改信天主教，但陶舍克仍被视为犹太人，被禁止与同学们一起参加考试。

随着欧洲走向战争，陶舍克意

识到留在维也纳的危险，但战争已经爆发，他的选择变得有限。大学第一年结束时，他被停学。1941年1月，他被完全开除。陶舍克继续在维也纳生活和学习的机会有着迅速消失。

前往德国的心脏

陶舍克随后得到著名德国物理学家索末菲的保护和鼓励。当时，72岁的索末菲在慕尼黑大学工作，尽管曾因不遵守反犹政策而遭到纳粹政府的排挤，但他在德国物理学界仍是一位颇具影响力的人物。对陶舍克来说至关重要，德国有些科学家试图保护他们的犹太同事，雇用他们到为纳粹军队制造设备或器械的公司工作。这些科学家可以声称，他们犹太朋友的活动对战争的成功是不可或缺的。这样可以让犹太科学家远离盖世太保的视线，避免他们被送进集中营。

至少希望如此。事实证明，盖世太保完全了解犹太科学家的就业情况。纳粹当局容忍了这种做法，因为他们知道，一旦项目完成，这些科学家就会被逮捕和遣散。陶舍克当时并没有意识到这些危险，他收拾行囊，前往德国。

柏林和 β 加速器 (电子感应加速器)

1942年11月，随着汉堡和其他城市开始遭到盟军的炮火轰炸，陶舍克再次踏上了迁徙之路，这次他来到了柏林。他比以往任何时候都更接近纳粹政权的黑暗中心，他在一家与军方有联系的电子公司Löwe Opta找到了工作。在Löwe公司，陶舍克听说了一个建造15 MeV的 β 加速器项目，这是一种可以将电子加速到高能级的机器。

该项目受德国帝国航空部委

托，曾寻求过挪威物理学家罗尔夫·韦德罗的帮助，他于1928年提出了这种加速器的工作原理。纳粹希望该装置的威力足以产生“死亡射线”，可以在军事行动中击落敌机。

接近死亡

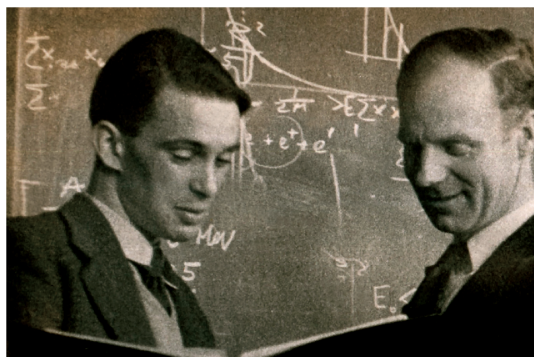
1944年年底， β 加速器完成。但随着1945年的到来，德国显然将输掉这场战争。德国接到命令，从不断推进的盟军手中抢救重要的基础设施和设备。

1945年3月15日，陶舍克和韦德罗完成了任务。第二天，陶舍克返回汉堡，午夜时分到达他的公寓。第二天早上7点，他被盖世太保叫醒，盖世太保将陶舍克带到臭名昭著的富尔斯布特监狱，在那里他被关押了四个星期，起初他的处境非常悲惨，甚至想到了自杀。

后来陶舍克身体不适，转移集中营时晕倒在汉堡郊区的公路上。一名随行的党卫军军官向陶舍克开枪，在他晕倒时向他开了两枪。陶舍克倒在路边的壕沟里，头部鲜血直流，这名军官和其他战俘继续前进，陶舍克被丢下等待死亡。

幸运的是，他的伤口很浅。陶舍克恢复了知觉，被送往医院，然后又被送往另一所监狱，1945年4月底，一名 β 加速器项目的同事将他从该监狱释放。

陶舍克从未真正解释过自己被捕的原因，在随后的几年里，他对不同的人给出了不同的解释。在我看来，他根本不愿意解释，或是无法解释自己参与由德国帝国航空部资助的机密项目的原因。为纳粹政



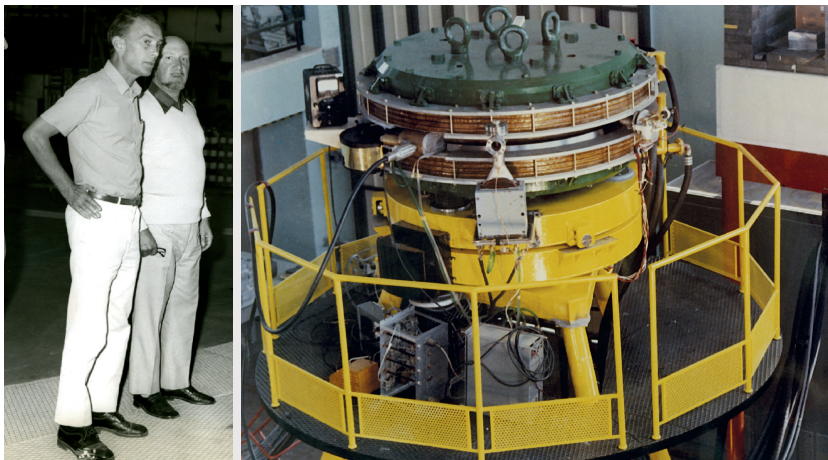
和平进步。第二次世界大战后，陶舍克移居英国，于1949年在格拉斯哥大学获得博士学位，在那里他继续学习粒子加速器日益增长的知识。他与格拉斯哥新成立的同步加速器小组的同事Samuel Curran在一起

权所做的工作并不是陶舍克能够轻易接受或忘记的。

哥廷根、格拉斯哥和罗马

战后，盟军允许德国科学界在哥廷根大学维尔纳·海森伯的指导下重新起步，条件是只能用于和平目的。但是，随着曼哈顿原子弹项目使粒子加速器成为核同位素的有效来源，陶舍克在 β 加速器上的经验引起了占领汉堡地区的英国人的注意。英国人看中了陶舍克理论与实践兼备的才能，于是制定了一项计划，将陶舍克带到了英国。

1947年，陶舍克来到格拉斯哥大学攻读博士学位，由John Gunn(译者注：耿氏效应的发明者)指导，鲁道夫·派尔斯(Rudolph Peierls)担任外聘导师。在格拉斯哥五年中，陶舍克在科学和个人方面都收获颇丰。通过关注格拉斯哥350 MeV同步加速器的建设，并为伯明翰和其他地方正在建设加速器的实验室提供建议，从而拓展了自己在粒子加速器方面的知识。在理论物理学方面，他认识了马克斯·玻恩，后者在1933年离开德国后在爱丁堡大学找到了庇护所。



对撞之旅。左图：1966年，陶舍克与弗拉斯卡蒂国家实验室主任 Italo Federico Quercia，监督 ADONE 正负电子对撞机的建设。ADONE 是 AdA 储存环对撞机(右图)的高能量升级，陶舍克是该对撞机的带头人，它后来成为世界上许多未来装置的原型

陶舍克与他合作编写了玻恩著名的《原子物理学》一书的第二版，并讨论了各种物理学问题，有时甚至解释海森伯的最新论文。在此期间，陶舍克开始研究所谓的“红外灾难”。这种现象来源于被加速的带电粒子所发射的低频光子，这一现象在后来建设的所有高能粒子加速器中都被考虑到。

作为一名物理学家，陶舍克的资历已经得到了证实。1952年，陶舍克接受了阿马尔蒂的邀请，成为罗马大学的一名研究员。回到这座战前他曾多次造访的城市，陶舍克发现大学的物理研究所充满了活跃的学术氛围。该学院接待了众多杰出的国际访客，其中包括诺贝尔奖得主布莱克特和泡利。

随着战争的结束，许多国家和国际物理项目也开始启动。其中一个欧洲核子中心，即位于日内瓦附近的欧洲粒子加速器中心，阿马尔蒂大力支持该中心，并担任其首任总干事。罗马也是意大利两个重要的新项目——核物理研究所(INFN)和弗拉斯卡蒂实验室的所在地，这两个项目都将在陶舍克的未

来科学生涯中扮演重要角色。

粒子加速器迅速成为一种基础研究工具，被用来发现全部的新粒子。陶舍克对它们的对称特性产生了兴趣，并开始研究中微子，提出了手性对称变换。在罗马，他与泡利密切合作，后者正试图证明电荷—宇称—时间(CPT)定理，根据该定理，如果粒子变成反粒子、空间坐标被反射或时间被反演，粒子状态不会改变。

陶舍克对CPT的理解使他意识到，正负电子对撞机对物理学的未来至关重要，这种对撞机能使物质和反物质沿同一轨道加速，但方向相反。1960年，他根据CPT定理确信电子和正电子可以相互撞击和湮灭，于是开始带领弗拉斯卡蒂的科学家团队建造一台原型机。这就是储存环对撞机AdA，它于1961年2月开始运行。

为了证明其作为研究装置的可行性，这个直径1.3米的装置被运往巴黎附近的奥赛(Orsay)实验室，法国和意大利的研究小组于1963年底在那里首次观测到了电子—正电子碰撞。储存环对撞机AdA成功的关

键在于罗马的年轻理论物理学家、弗拉斯卡蒂和奥赛的技术和科研人员的杰出成就。虽然它从未导致湮灭或产生新的粒子，但AdA是新型机器的试验平台。

永恒的遗产

陶舍克的远见卓识很快激励了法国、苏联和美国的其他大型物理实验室建造类似的电子—正电子对撞机，为新粒子的发现打开了大门。储存环对撞机AdA由此奠定了粒子物理学标准模型的基础，并改变了物理学本身的面貌。陶舍克亲眼目睹了这些重大事件的发生，如在ADONE上产生多强子和发现粲夸克。

1977年，他在欧洲核子研究中心(CERN)度过了一年的休假期，那里将建造超级质子—反质子对撞机和大型电子—正电子对撞机(LEP)。他非常不喜欢大型国际化机构，认为这些机构非常复杂和官僚主义，尽管如此，他还是非常喜欢与卡洛·鲁比亚(Carlo Rubbia)讨论随机冷却，这是一种制备反质子储存的技术(反质子可以与质子湮灭，是用来研究弱相互作用的载体)。

然而，1978年2月，陶舍克的健康状况开始迅速恶化。在多次住院治疗，他向欧洲核子研究中心当时的总干事Léon Van Hove要了一辆车，将他送去奥地利的因斯布鲁克。那里是他的出生地，也是他一生挚爱的地方。1978年5月25日逝世的陶舍克没能亲眼目睹粒子物理学在随后几十年的复兴——W玻色子和Z玻色子、顶夸克和希格斯玻色子的实验发现。

但是，陶舍克作为一位有远见的科学家，尽管面临种种困难，仍表现出智慧、毅力和坚持不懈的精神，他的遗产将永垂不朽。