

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中外科学家发明家丛书

玻恩



## 一、求学

1882年12月11日，麦克斯·玻恩出生于德国普鲁士西里西亚省首府布雷斯劳的一个医学家的家庭里。他的父亲古斯塔夫·玻恩是布雷斯劳大学医学系解剖学和生理学教授，对研究胚胎学和进化机制很感兴趣。他的母亲是一位工厂主的女儿。

玻恩是在一个科学气氛很浓的有教养的家庭里成长起来的。当他还是一个小孩子的时候，就经常和姐姐一起到他父亲的实验室里去观察父亲的实验工作。当他还是一个小学生时，就经常旁听父亲和其他一些教师和朋友关于医学及其它科学研究和发展的谈话，他们之中有606的发明者和化学疗法的创立者保尔·埃尔利希，有发现了淋球菌和其他微生物的皮肤科医生阿尔伯特·奈赛儿。家庭的学术气氛对玻恩的影响很大，使他有机会接触到最新的科学观点和科学发展成就。但是，美好的家庭生活并没有持续很久，在玻恩还很小的时候，他的母亲就去世了，后来他的父亲也去世了。在小学和中学时期，玻恩的表现平平常常，没有显示出什么与众不同之处。他的各科成绩也是中等水平。

1901年，玻恩进入一所普通的德国大学预科学校学习。在那里主要课程是拉丁文、希腊文和数学，玻恩对这几门课都不大感兴趣。在这所学校里，有一位叫马施克的数学教师对玻恩的影响很大。他不仅是一个卓越的教师，而且是一个聪明的实验家和一个很善良的人，他同时也教物理学和化学。玻恩常听他的物理课，受到他教学热情的感染。玻恩和另一位男生一起，协助马施克在他的小实验室里重复地做马可尼关于无线电通讯的实验，终于成功地把一个信号从一个房间传到了另一个房间。玻恩非常兴奋，激动地将他们实验成功的消息告诉了校长埃卡德博士。

古斯塔夫·玻恩去世前，曾教导他的儿子，在大学中不要立刻确定专业，而要先听各种不同学科的讲演，一年以后再作决定。在那时的德国各大学中，学习气氛自由。大多数课程没有一定的教学计划，既不检查听课人数，除毕业生外也不举行考试。每个学生可自选他最感兴趣的那些课程，由他自己负责在毕业考试前获得必要的全部知识，以便有权从事某种职业或取得学位。所以在第一年中，玻恩给自己定了一个相当庞杂的计划，包括物理学、化学、动物学、哲学、逻辑学、数学和天文学。

在这一时期，玻恩也阅读了许多社会科学著作，其中包括马克思和其他社会主义者的著作，并接触了康德和黑格尔的哲学，这是玻恩的哲学启蒙阶段。

在众多的学科中，玻恩尤其对天文学和数学感兴趣。著名的月球研究者、天文学家尤利乌斯·弗兰兹对天体的研究工作对玻恩产生了强烈影响。弗兰兹对月球表面的了解程度胜过了当时人们对地球地理的了解程度。尽管学校

里天文台的所有设备都是陈旧的，与其说是中用的，不如说是中看的，只有几台瓦连斯坦时代的，类似开普勒曾使用过的古老望远镜。他们没有电计时器，是数着大钟的响声，估算着十分之几秒的时间。玻恩在这所具有古老的浪漫主义艺术魅力的观测学校里，向弗兰兹学会了准确地使用仪器，精确地进行观测，迅速地排除观测错误和精确地进行数字计算。他学会了一位测量科学家的全部本领。通过对天文学的学习和观测，他有了脚踏实地，基础牢靠之感。这段时间他在天文学中所学到的知识和修养对他以后在其它方面的发展也有很大意义。

不久，玻恩开始集中精力钻研数学，并且得到了相当扎实的训练。在数学课中，雅科布·罗扎奈斯教授讲授的矩阵计算课对玻恩的未来影响很大，使玻恩对高等数学代数法有了最初的概念。这种方法研究的不是单个的数，而是同时分布在由行和列组成的直角矩阵中的数和函数的集。

在当时，矩阵计算只属于纯数学领域，它尚未应用于其它自然科学中。因此，大多数物理学家并不了解它。这种情况正好像黎曼的非欧几里得几何学一样，在爱因斯坦的相对性引力学说之前，曾经仅仅是数学家们感兴趣的纯抽象的理论。但是，类似 1915 年爱因斯坦使黎曼几何学出乎意外地具有了宇宙论方面的意义一样，经过 10 年，玻恩使矩阵计算对微观物理学具有重要的意义。

20 世纪初叶，德国的学术空气是非常自由的，教学方式也很自由，德国的大学生们通常以各种理由从一所大学转到另一所大学。有时候是因为著名的教授或设备齐全的实验室在吸引他们；有时候却是因为城市的优美环境，博物馆、音乐会、剧院、冬季体育运动、狂欢节等愉快的生活条件在吸引他们。玻恩也是这样，他在奈加河畔可爱而快乐的小镇海德堡和阿尔卑斯山附近的苏黎世各渡过了一个夏季学期。在海德堡的学习阶段，并没有给他行进在科学的道路上带来很多东西，但是他在那里结识了詹姆斯·弗兰克，他们俩同时在听数学家里昂·克尼斯贝格的课。后来，詹姆斯·弗兰克成了玻恩最亲密的朋友，并且成为戈丁根大学物理系的同事。

在苏黎世，玻恩对数学家阿道夫·胡尔威兹的讲课入了迷。阿道夫·胡尔威兹是当时第一流的数学家，他曾是爱因斯坦的老师。他关于椭圆函数的演讲，使玻恩了解了现代分析的精神。

玻恩总是在故乡布雷斯劳度过冬季学期。对他作为科学家的发展来说更具决定性意义的是去戈丁根求学。玻恩是从他的同学及朋友奥托·特普利茨和恩斯特·里林格那里了解到德国的数学圣地是戈丁根，那里有三个大数学家：弗利克斯·克莱因、达维德·希尔伯特和海尔曼·闵可夫斯基。因此，玻恩立即决定去戈丁根求学。1904 年，玻恩与奥托·特普利茨、恩斯特·里林格和另一位朋友里夏德·库朗（来自布雷斯劳的小组）一行四人前往戈丁根。

在戈丁根，玻恩主要听了希尔伯特和闵可夫斯基的讲课。当时希尔伯特

正处于其科学声誉的极盛时期，希尔伯特和闵可夫斯基从学生时代起就是朋友，他们不仅在自己的学科里，而且在各个方面都是最卓越的人物，玻恩非常尊重和敬仰这两位数学大师。

来到戈丁根后仅一年，玻恩就被希尔伯特看中，选做他的“私人助理”。这证明了这位初出茅庐的物理学家已掌握了高深的数学知识和技巧。做希尔伯特的“私人助理”是一个不很明确的职务，不付工资，但却有难以想象的重大价值，因为这使玻恩有机会天天看到他工作并听到他谈话，玻恩常常应邀和希尔伯特、闵可夫斯基一同在森林里漫步。虽然他早已习惯于在他父亲的生物学家朋友们中间自由而活跃的讨论，但是这两位伟大的数学家观察世界的方式，还是给玻恩留下了极为深刻的印象。玻恩从这两位大数学家那里不仅学到了最先进的数学，而且还学到了一种更为重要的东西，那就是对社会和国家的传统制度的批判态度，这是玻恩一生都保持着的。

在玻恩向希尔伯特学习期间发生的一件事，对玻恩产生了很大影响。一次，几位学者在议论对近代天文学家伽利略的审讯时，有人责备伽利略没有坚持自己的信念，希尔伯特相当激烈地回答：“但他不是一个白痴。只有白痴才能相信，科学真理需要殉难；殉难在宗教里也许是必要的，但是科学的结果在适当的时机自会得到证明。”玻恩认为，希尔伯特的这种教导给他指明了生活和科学道路上的方向。

在戈丁根，玻恩最不感兴趣的是被学生们称为“伟大的费里克斯”的费里克斯·克莱因。他不喜欢克莱因的讲课，认为讲得太面面俱到，因而常常在克莱因的课堂上缺席，这引起克莱因教授的不快。在克莱因和应用数学教授卡尔·龙格共同主持的一个关于弹性问题的研究班上，由于一个同学生病，玻恩被提名临时提出一个关于弹性问题的报告。因为没有时间作准备，玻恩只好临场发挥，谁知这个报告给克莱因的印象很深，以致他建议，这个报告可参加大学的年度比赛，并要求玻恩提交一篇论文。因为参加有奖比赛的论文必须匿名提出，玻恩不能征求教授们的意见。这样，玻恩开始了第一次独立地做科学研究工作。玻恩的论文题为《在各种边界条件下平面上和空间内弹性线稳定性的研究》，他在学生宿舍用自制的简单仪器完成了这项研究的实验部分。在这篇论文的写作和实验中，玻恩第一次感觉到了理论和测量的一致所带来的满足和喜悦。这篇论文很成功，获得了戈丁根大学的比赛奖金。

麦克斯·玻恩由于在弹性理论领域内的工作而于1907年获得了哲学博士学位，费里克斯·克莱因提请授予了该项工作大学哲学系的奖金。

玻恩对天文学的爱好在戈丁根也吸收了新的养料。当时，卡尔·施瓦茨西德领导着戈丁根天文台，高斯也曾在此天文台工作过数十年。施瓦茨西德30岁时曾是大学最年轻的教授之一，后来他作为波茨坦天体物理观测台的领导人而闻名，现在耶拿迈郊陶廷堡天文台就是以他的名字命名的。玻恩在施瓦茨西德那里参加了他的天体物理学讨论会，并第一次研究现代天文学问题，他们还在一起讨论行星和大气问题。在这一时期，玻恩系统地学习了气

体动力学理论，并作过关于因摆脱重力而发生扩散及进而向星际空间漏气的报告。

卡尔·施瓦茨西德的研究工作并不局限于天体物理专业，他还写下了几何光学方面的经典著作，年轻的玻恩向施瓦茨西德学会了许多天文学、物理学、光学方面的新知识。后来，施瓦茨西德在第一次世界大战期间去世了，爱因斯坦发表了激动的演说悼念他。玻恩也总是怀着激动的心情回忆这位良师。

正像父亲古斯塔夫·玻恩去世前教诲的那样，玻恩在求学时期，没有固定自己的专业，而是汲取多方面的知识养料。戈丁根又是全德国科学研究的圣地，这里汇聚了许多知名的学者、教授，有着浓厚而自由的学术气氛，使玻恩得以在浩瀚的知识海洋中自由自在地遨游。在这里，玻恩不仅学到了许多知识，打下了扎实的基础，而且形成了他自己独特的世界观。他一直认为，科学的哲学背景始终比科学的特殊成果更为重要，这一观点贯穿于他一生的研究工作，其结果之一，就是使他没有卷进核裂变及其应用于原子弹。这使他能从公正的和客观的观点出发来考虑与之相关的伦理问题和政治问题。

## 二、成为物理学家

1907年1月，玻恩获得戈丁根大学哲学博士学位后，先去服了一段时间的兵役，由于严重的气喘病而退役。该年春，为了多学习一些物理学的基本知识，玻恩去了英国的剑桥。在那里，他成了冈维尔和凯厄斯学院的研究生，参加实验和听课。在约瑟夫·约翰·汤姆森的实验室，原子研究大师汤姆森以其绝妙的、令人激动的实验示范对玻恩产生了很大影响。但拉莫尔对电磁学的介绍却都是玻恩从闵可夫斯基那里学过的。因此，玻恩在剑桥只呆了6个月，就回到了德国。但英国人民的亲切和好客，学生生活以及学院和乡村的秀丽风光，都给玻恩留下了很好的印象。

1907年秋，玻恩回到了故乡布雷斯劳。在布雷斯劳大学，有两名物理学教授奥托·卢麦尔和恩斯特·普林斯汤姆，他们在黑体辐射方面已很有研究。90年代，他们在柏林完成了黑体辐射的测量，这些测量促进了普朗克发现基本作用量子，玻恩想在这两位物理学教授的指导下提高实验技巧。由于疏忽大意，玻恩的实验室内跑了水，之后，实验的尝试也就中止了，玻恩又转而研究起理论问题来。不久，他发现了爱因斯坦1905年发表的关于相对论的论文，立刻就被它吸引住了。玻恩把爱因斯坦关于相对性原理的思想和闵可夫斯基的数学方法结合起来，发现了一个直接计算电子电磁(质量)的新方法，并据此写了一篇电子运动相对论的论文。他把这篇论文的手稿寄给了闵可夫斯基。令他惊讶的是，闵可夫斯基回信邀请他回戈丁根大学，帮助他做相对论方面的研究工作。

1908年底，玻恩又回到了戈丁根，他和闵可夫斯基愉快地工作了几个星期。不幸的是，1909年1月，闵可夫斯基得了阑尾炎，做了阑尾炎手术之后就去世了，年仅44岁。闵可夫斯基的去世，使玻恩的全部希望都破灭了。这时候，玻恩被闵可夫斯基邀请来研讨的那篇关于电子运动相对性的论文在数学会上的演讲很成功，因而于1909年获得了教授理论物理学的权利。在取得讲师职务的竞选报告中，他分析研究了汤姆森提出的原子模型。这样，玻恩就得以在戈丁根定居下来。

1909年，在萨尔斯堡举行的科学会议上，玻恩第一次见到了爱因斯坦，此后这两位科学家经常通信，主要是讨论相对论。在这次科学大会上，爱因斯坦提出了光的量子假说。他的这篇论文引进了光量子或光子的概念，并对光电效应和其它现象作了革命性解释。爱因斯坦在把量子理论重新应用于固体的热性质时，用了一个单振子的模型来描述晶体中的振动。这造成了理论和实验之间小小的脱节。因此，玻恩和卡曼试图借助于考虑点阵振动的全部光谱来消除这些脱节，这个实验同时证明了X射线的波动性质和晶体的点阵结构。

这项工作结束以后，卡曼离开玻恩，开始专门研究流体动力学和空气动力学，并在这两方面都享有盛名。而玻恩仍旧研究物理，固体比热的工作为

他以后的研究开辟了两条主要路线：点阵动力学和量子理论。从此，玻恩将自己的专业固定在物理学领域，开始了一个物理学家的研究工作。

### 三、与爱因斯坦的友谊

1912年，玻恩开始按一个庞大计划进行研究：从点阵假设出发，来导出一切晶体的性质，晶体的粒子在内力作用下可以移动。主要结果是说明了对弹性常数间的科希关系的偏离；证明了振动光谱由两种不同类型的谱带，即光带和声带组成，并且把P·埃瓦尔德关于晶体中的电磁波的绝妙理论并入了点阵动力学。

正当玻恩着手写一部系统论述晶体运动问题的专著《晶格动力学》的时候，1914年，第一次世界大战爆发了。这时，柏林大学根据麦克斯·普朗克的建议聘请他这个才华出众的青年物理学家担任柏林大学物理系理论物理学副教授职务。普朗克在陈述这一聘请理由时强调：玻恩博士是一位思维清晰、学识渊博、全心全意忠于科学和科学进步的理论物理学家，他具备讲课和联络学生所必需的一切品德。他品学兼优，符合对一位新的副教授的个性所提出的全部要求，因而在这种情况下，本系十分乐意为不久前建立的教研室作出第一个任命，并提出这唯一的候选人。

1915年春，玻恩前往柏林，他刚开始讲课不久，很快就被迫去参军。在空军无线电部门服役一个短期后，应他的朋友鲁道夫·拉登堡的请求，玻恩被调到一个炮兵研究机构的“声学测位”部门——通过在不同地点测定炮声传到的时间来寻找大炮的位置。许多物理学家都在这里工作，玻恩在这个岗位上有可能从事自己的科学研究。他和兰德继续研究，试图测定离子性晶体的内能，而且因马德隆的帮助获得了成功。马德隆发展了一种计算点阵中库仑力能量的方法（马德隆常数），根据这些结果，玻恩得到了简单的异极分子的形成热。这是根据纯物理学数据测定化学反应热的第一个例子。在这项工作中，玻恩还得到了化学家弗里茨·哈伯的帮助，因此，这项工作被称为玻恩—哈伯理论。

1915—1919年在柏林的这段期间，玻恩与爱因斯坦经常相会。在战争的黑暗时期，与爱因斯坦的友谊成为玻恩最大的安慰。玻恩多才多艺，钢琴弹得很好，而爱因斯坦则喜爱拉小提琴，因而他们经常在一起弹琴消遣。在战争即将结束前，有许多知识分子，如历史学家德尔布留克、经济学家布伦坦诺、物理学家爱因斯坦等人，组织了一种集会，并邀请外交部的高级官员参加，讨论科学问题、政治形势和军事形势，玻恩也经常参加这种集会。这些知识分子强烈反对德国政府无限制地扩充潜水艇的军事行动和政治目的，并且确信它们会导致灾难。

在此期间，爱因斯坦完成了他的广义相对论，并同玻恩进行了讨论，玻恩看到“他的概念的伟大，使我深受感动，以致我决定决不在这个领域里工作”。1919年，当英国日食考察队的观测结果公布之后，开始掀起了“爱因斯坦热”和对相对论的敌意攻击，玻恩在《法兰克福报》上发表了几篇相当激烈的文章来捍卫爱因斯坦的理论，并回敬了那些对相对论的攻击。一年以



后，玻恩的这些文章和有关相对论的报告被汇聚成《爱因斯坦的相对论》一书出版，成为叙述和普及爱因斯坦相对论的基础。

1919年春，玻恩作为正式教授来到了莱茵河畔法兰克福大学。在那里，他接任马克斯·冯·劳厄教研室的职务，而劳厄到柏林大学去。这种“调换”是根据劳厄的愿望进行的，两所大学也都同意。因为劳厄极想回到他最初开始从事科学活动的柏林大学，以便与他尊敬的导师麦克斯·普朗克一起工作。玻恩也十分怀念在柏林的这段生活，因为当时他同爱因斯坦和普朗克的关系是那样亲密无间。

在法兰克福大学，玻恩拥有一个小小的研究所，配备着各种仪器。奥托·施特恩成为玻恩的第一位助教，他立刻在玻恩指导下投入工作，很快地利用了这些实验设备。他为了研究原子的性质，提出了原子射线的方法，并为在实验上证明麦克斯韦关于气体中的速度分布定律而第一次运用了这种方法。后来奥托·施特恩与实验物理学研究所助教瓦尔特·格拉赫一起，运用原子射线方法研究了量子理论中的方向量子化问题，这就是著名的分子射线实验。这些实验出色地证实了量子论的一个基本结论：在磁场中原子的定向量子性。当纳粹掌握德国政权后，施特恩于1933年被迫离开了在汉堡的教研室而迁居到美国，他由于自己的研究成果而于1943年获得了诺贝尔物理学奖。

玻恩还领导了其它的实验研究。他同他的第二个助教E·博尔曼女士一起，提出了一种确定空气中中性原子自由行程长度直接测量的方法。这项工作后来由他的一个学生F·比尔茨在戈丁根用更准确的方法继续作下去，后来，在几个实验室里得到改进，用以确定原子和分子间的相互作用力。

玻恩自己继续从事点阵能量及其化学结论方面的工作。这时候物理化学教授R·洛伦兹帮助玻恩注意到单价离子的迁移率存在着较大的比较小的快的异常现象，使玻恩在一个更广泛的研究范围中对这些现象提出一种解释，这种研究被叫做电流体动力学，类似于现在的磁流体动力学。后来，玻恩又和他的学生P·勒尔特斯合作，在实验上证实了分子的电偶极子的力学效应，他们的方法是证明一个充满了不导电液体的玻璃棒，会由于一个快速转动的电场而开始转动。

#### 四、创立量子力学

1921年，玻恩在法兰克福大学工作两年后，被提议继其过去的老师彼得·德拜任戈丁根大学物理系主任，兼管理论物理和实验物理。玻恩认为，自己独自指挥由两个独立部分组成的大实验室有些力不从心，所以他成功地说服了教育部长重新把物理系分开，并把他的老朋友詹姆斯·弗兰克请到戈丁根。这样，物理系就由特约教授罗伯特·玻尔和詹姆斯·弗兰克任实验物理学教授，玻恩自己任理论物理学教授而组建起来。他们三人经常合办讨论会，轮流担任主席。1925年，詹姆斯·弗兰克和古斯塔夫·赫茨由于他们在光谱激发方面的工作而被授予诺贝尔奖金，这项工作证实了玻尔关于原子的量子理论。

玻恩在戈丁根任理论物理学教授的最初几年里，主要是研究点阵动力学。他还写了一些书，记载他这一时期的主要研究成果。其中有《物质结构》一书，它被译成了许多种语言出版。应《数学百科全书》物理学部分的编辑索末菲的请求，玻恩写了一篇关于固体的原子理论的论文，这篇论文后来作为一本书《固体的原子理论》于1923年出版。在此书中，玻恩对晶体动力学理论进行了新的研究。在玻尔和索末菲晚期原子论的基础上，玻恩研究了原子物理学和化学的联系。他在发表于《自然科学》上的《化学和物理学之间的桥梁》一文，详细地介绍了这种联系。

不久，玻恩就将主要兴趣和研究重点转向了量子力学理论。1924年，玻恩首先在一篇论文中采用了“量子力学”这个术语，从而使这个术语进入了物理学文献之中。在这一时期，玻恩对原子物理学的进一步形成产生了十分强烈的影响。1925—1927年，玻恩制定了统计原子力学原理，玻恩本人深入思考并奠定了量子力学的几率诠释。他建立了“关于自然现象的新的思维方式”，他最大的科学功勋就在于此。

1925年，玻恩的助教华纳·海森堡在研究量子力学中提出了一个新思想：他从不应当运用不可观察的量（如电子轨道的大小和频率）这个原则出发，引进了符号运算，并且在简单的体系（线振子和非线性振子）上获得了可喜的成果。海森堡将他的论文《论运动学和力学联系的量子论诠释》送去发表后，玻恩考虑了海森堡的体系，发现海森堡的计算方法同数学家们熟悉的矩阵演算是一样的。因此，玻恩同他的学生P·约尔丹合作，建立了“矩阵力学”的最简单的特征。然后，玻恩、海森堡、约尔丹系统地发展了这个理论。这样，虽然矩阵力学的主导思想是海森堡的，但是这种天才思想的数学形式和它发展成为完整的理论，其功勋首先是玻恩的。

与此同时，英国剑桥的保罗·迪拉克也在海森堡的影响下，用更一般的非互换量的演算，完全独立地得出了同样的理论。然后，欧文·薛定谔于1926年发表了波动力学的论文，他在苏黎世创立了自己的波动力学，波动力学很快就被承认为在数学方面同戈丁根和剑桥两种形式的量子力学具有同等价

值。但是，薛定谔认为，电子不是一个粒子，而是由他的波函数的平方  $|\psi|^2$  确定的密度分布。他认为，粒子概念和量子性跳变概念应当统统放弃，而且他这种信念决不会动摇。但是，玻恩在詹姆斯·弗兰克关于原子和分子碰撞的卓越实验中每天都目睹粒子概念的丰硕成果，因而他确信，粒子决不能简单地取消，必须发现使粒子和波一致起来的途径。玻恩在几率概念中发现了衔接的环节，即带有分量的  $X_1, X_2, X_3, \dots$  的矢量  $X$ ，矩阵对它是起作用的，它一定同几率分布有关系。只是在薛定谔的研究出名以后，玻恩才能证明他的猜想是正确的（因为他们研究的对象不同，但有密切的关系），矢量  $X$  是他的波函数  $\psi$  的不连续的表现，因此证明  $|\psi|^2$  是位形空间里的几率密度。通过把碰撞过程描述为波的散射，以及其它方法，这个假说被证实了。不久，迪拉克也以略为不同的方法单独发展了碰撞理论。

1925—1926 年冬，玻恩应邀前往美国，他在麻省理工学院讲授晶体理论和量子力学。这些讲稿汇集为《原子动力学问题》一书于 1926 年出版。这是关于量子力学的第一本书。玻恩在美国同创立控制论的罗伯特·维纳合作，试图把光谱不连续能量的矩阵理论推广到有连续光谱的更一般的体系（自由粒子），他们发展了一种算子演算，这同薛定谔的方法很接近，但他们那时还不知道薛定谔的方法。玻恩将对  $\psi$  函数的统计解释为理解原子物理学中粒子和波的关系的第一步。对澄清这种思想作出最重要贡献的是海森伯的测不准关系和哥本哈根学派的领导者尼尔斯·玻尔的互补原理。虽然当时许多物理学家都接受了这种学说，但始终有一些物理学家不接受这种学说，其中包括像爱因斯坦、普朗克、德·布罗意等，薛定谔更是强烈的反对者。他们在量子理论的第一个时期都是物理学领域的领袖人物，这也是玻恩直到 28 年后才因此学说被授予诺贝尔奖金的原因。

## 五、世界第一流的物理研究中心

在 20 年代，由于麦克斯·汉恩、詹姆斯·弗兰克和罗伯特·玻尔的共同努力，戈丁根的物理系成为世界第一流的物理研究所，大批物理学的优秀人才向此汇集。

玻恩不仅从事研究工作，讲课也很出色，他在戈丁根开设了一系列课程，包括热力学、电磁学、光学、统计力学、原子结构和量子理论等。梅耶夫人曾说他的课程很深，但讲得非常清晰明了。玻恩待人非常谦虚，从无大学者的架子。在他主持的讨论班上，他鼓励提问和批评，人们也可以打断别人的发言，热烈讨论。奥本海默就经常打断发言者，对玻恩的发言也不例外，他的批评使玻恩感到有些害怕。这种自由的学术气氛对当时科学的发展起了催化作用。

因材施教，注意培养优秀人才，也是玻恩吸引杰出青年的原因之一。他在一篇谈大学理论物理教学的文章中明确指出，对少数出众学生应开设不同于一般人的课程，也不应单从考试成绩来衡量学生的优劣。这对一个教师培养出色的学生来说，无疑是非常好的方法。1922 年 9 月，华纳·海森堡来到戈丁根，他是慕尼黑大学 A·索末菲的学生，索末菲因外出讲学，让海森堡到玻恩处吸些新鲜空气。一学期后，海森堡回到慕尼黑进行博士考试，由于他那时对实验物理兴趣不大，没有通过 W·雅恩的提问，经过索末菲的竭力帮助，才算及格成绩通过博士考试。海森堡非常沮丧，当晚就赶回了戈丁根。第二天，他问玻恩是否还愿意留他，玻恩赏识他的才华，让他留下当助手。他在玻恩处只工作了两年多，就发表了奠定量子力学基础的论文《论运动学和力学联系的量子论诠释》，并于 1933 年获得诺贝尔物理学奖。海森堡后来表示，戈丁根特有的科学传统，玻恩的坚强信念——把建立新的量子力学作为基本的研究课题是万无一失的——使他的思想能够结出硕果。

善于从晚辈那里学习，也是玻恩的特点。沃尔夫冈·泡利 1921 年刚从慕尼黑大学毕业后，来到戈丁根，给玻恩当助手，他们在一起研究量子理论。泡利在戈丁根只工作了一年多，便前往哥本哈根尼尔斯·玻尔从事研究所工作。但玻恩说，他从 21 岁的助手泡利那里学到的东西多于泡利从他那里学到的。他称泡利是最敏锐的物理学家，泡利于 1945 年获得诺贝尔物理学奖。

为繁荣戈丁根的物理学事业，玻恩邀请名家讲学，鼓励各国学者来访。1922 年夏，尼尔斯·玻尔到戈丁根讲学，介绍了最新的原子结构理论，索末菲、玻恩、弗兰克、海森堡等许多人参加了听讲。这次讲学非常著名，被称为“玻尔的节日”，它影响了许多年轻人的科学生涯，也使玻恩的兴趣转移到原子力学理论。这是戈丁根新纪元的开始。

1925 年夏，玻恩又接待了许多来访学者。这些人中有荷兰莱顿大学的 P·厄任费斯脱、哥本哈根的 H·克拉莫，从剑桥来的彼得·卡皮察和从列宁格勒来的 A·约飞。

在这一时期，在玻恩领导下，戈丁根群英荟萃，形成了和尼尔斯·玻尔的哥本哈根学派相媲美的戈丁根物理学派，主要人物有麦克斯·玻恩、詹姆斯·弗兰克、罗伯特·玻尔、华纳·海森堡、沃尔夫冈·泡利、奥本海默、K·T·康普顿、E·P·约尔丹、P·A·M·迪拉克、L·波林、P·M·S·布莱克特、F·洪德等。他们进行了大量的科学研究和学术研讨活动，量子力学主要就是由这个学派创立起来的。戈丁根的物理研究中心培养出一大批物理学家，它对物理学的发展所做的贡献是不容忽视的。

## 六、侨居英国

1928年，玻恩在讲授光学课程的过程中，着手写一部关于光学方面的教科书，结果写成了一部光学巨著，即《光学原理——光的传播、干涉和衍射的电磁理论》。这本书在麦克斯韦方程经典电磁理论范围内系统地讨论了光波传播的各个基本规律，包括反射、折射、色散、干涉、衍射以及晶体光学等，几何光学也作为极限情况（波长  $\rightarrow 0$ ）而纳入麦克斯韦方程系统，同时也讨论了象差的衍射理论。这部巨著于1933年出版，并很快作为教科书被采用。

相对平静的20年代告終了，1929年美国经济上的大灾难以后，希特勒和纳粹在德国掌握了政权。希特勒实行的一系列种族歧视政策令犹太民族的许多科学家感到恐怖，玻恩知道在德国安安静静地研究物理学已经没有希望了。1933年4月，麦克斯·玻恩被停止了他在戈丁根大学物理研究所的领导职务，他不久前出版的那部光学教科书也被禁止采用。这时，薛定谔劝他到国外去。玻恩和他的亲人于1933年5月离开法西斯德国，在意大利南部帝罗尔的多洛米特找到了一个避难所。他在德国的私人财产也被没收。在多洛米特的寂寞生活中，玻恩产生了一个想法，即把麦克斯韦的电磁场理论非线性化，因为在电磁场里，点电荷本能的能量（电磁质量）是有限的。他就按这个想法工作和讲演。他同波兰的利奥波德·英费尔德合作进行了这项工作。结果，这个所谓的玻恩—英费尔德理论消失了，因为它不能同量子理论相一致。

在意大利居住后不久，玻恩收到了去各国许多地方的邀请。其中之一是到英国的剑桥，玻恩接受了这个邀请，很快他们一家迁往英国。

剑桥是玻恩非常熟悉的地方，他曾于1907年在剑桥的冈维尔和凯厄斯学院学习过6个月，对这里的人民和美丽的风光有着深刻印象，这是玻恩在许多邀请书中选择剑桥作为新的落脚点的重要原因。

在剑桥的圣约翰学院，玻恩的老朋友保罗·迪拉克是那里的一个研究员，剑桥大学授予玻恩文学硕士学位和斯托克斯讲师的学衔。玻恩在此以讲师的职位开始了工作。这是不能同他在戈丁根的物理研究所的领导职位相比拟的。这位世界著名的年届50的科学家，几乎返回了四分之一世纪以前他开始教学生活之初的状况，但是玻恩毫无怨言，而且他为能在开文迪许实验室里接近卢瑟福、威尔逊、阿斯顿、查德威克、福勒、奥利芬特、科克罗夫特和其他许多第一流的物理学家，并能获得非常重要的经验而感到高兴。

在这一时期，玻恩出版了一本教科书《原子物理学》和一本通俗著作《不息的宇宙》。

尽管被驱逐出自己的祖国使玻恩和他的妻子很难过，但随着德国政治的发展，大批犹太人惨遭纳粹的杀害，法西斯主义在德国泛滥，玻恩夫妇把这种强迫移居看成是一种恩典，他们逃离了法西斯的魔掌。因此，玻恩夫妇在

剑桥费了许多时间和精力，帮助在德国的犹太人移居国外，但玻恩的许多亲戚和朋友都在纳粹集中营里死去或自杀了。在剑桥，玻恩经历了一件难以忘却的事情，这件事情清楚地说明了许多德国侨民的心态。当玻恩 1933 年来到剑桥时，费里茨·哈伯也在那里。他病魔缠身，因为被驱逐出祖国而悲痛欲绝。玻恩试图把他介绍给卢瑟福，但哈伯拒绝同化学战的首倡者握手。

1936 年，玻恩在剑桥的任期届满时，他收到了在班加罗尔的印度科学院院长、物理学家、诺贝尔奖金获得者 C·V·拉曼爵士的邀请，来到班加罗尔，作为客座教授在拉曼研究所发表了一系列讲演。

回到剑桥以后，玻恩收到了彼得·卡皮查转交给他的一份荣誉聘书，请他在莫斯科大学任教授职务。然而，玻恩对此不能下定决心，他宁愿留在英国。在他被法西斯德国驱逐之后，是英国首先给了他友好的接待。正在此时，爱丁堡的自然哲学（从牛顿时代起，人们习惯地称呼理论物理学为“自然哲学”，这也是当初玻恩获得的博士学位是哲学博士而不是后来的物理学博士的原因）教授，玻恩的老朋友查尔斯·高尔顿·达尔文写信给他，请他成为自己要离开的爱丁堡大学的继任者。这样，玻恩就来到了爱丁堡大学，任自然哲学教授，也就在这一年（1936），玻恩被选为英国皇家学会会员。

1933 年，欧文·薛定谔因为痛恨法西斯主义，不愿在纳粹统治下工作，毅然辞去了柏林大学物理系主任的职位，也来到了英国牛津，并在牛津度过了三年时光。更紧密的友谊将玻恩与薛定谔联系在一起，这两位物理学家相互访问或信件来往。他们两人一直为量子力学的解释争吵不休，薛定谔反对量子规律的统计观，而玻恩则勇气十足地断言哥本哈根学派及海森堡对量子规律的诠释是众所公认的。薛定谔在给玻恩的信中以其特有的风格抨击玻恩的这种“厚脸皮”。薛定谔写道：“他本应知道，例如普朗克、爱因斯坦、劳厄、德·罗布意是不满意这种诠释的。”玻恩反驳说：“要知道，大多数原子物理学家是同意哥本哈根学派的。”对此，薛定谔感慨地回答：“这是从什么时候起用多数票来决定科学原理的正确性呢！（当然，你可以强词夺理：至少从牛顿时代起）。”在其逝世前几周给玻恩的最后一封信中，薛定谔仍然以其常有的激昂态度同玻恩就量子力学问题进行争论，他写道：“麦克斯，你知道，我是很喜欢你的，在这一点上是不能有什么改变的。但请允许我好好地训你一顿。因此，你听着……”玻恩就此指出：“在我们通信来往的许多年里，经常是这样：粗鲁和亲切混杂在一起，最激烈地交换意见；但始终没有委屈之感。”对量子力学的激烈争论，丝毫没有减弱他们之间的伟大友谊。在 1961 年追悼薛定谔的悼文中，玻恩写道：“当希特勒取得政权时，薛定谔——‘亚利安人血统’的人、麦克斯·普朗克的继任者——完全不应当辞职和离开德国。但是，他辞职了，也离开了德国。我们钦佩他，因为对一个中年人来说，侨居国外决不是轻松的事儿。可是，他甚至不愿意听留在德国的话。他走了，因为人们不让他安静，并要求他从事政治。就是到了后来，当他本人的科学眼看要悲剧地卷入重大政治之中时，他依然一点也

不愿意从事政治。”



## 七、在爱丁堡的研究工作

1936年，麦克斯·玻恩一家前往苏格兰，他们在爱丁堡大学“自然哲学”研究室工作了17年。在这里，玻恩很快展开了广泛的研究活动和教学活动。如同在戈丁根那样，他的学生中有许多外国人，苏格兰人却很少。1939年玻恩获得了英国国籍。

在爱丁堡大学“自然哲学”研究室，同玻恩一起做研究工作的有赖因霍尔德·菲尔特，他原是布拉格的德国大学教授，在二次大战前夕作为一个难民来到爱丁堡。他协助玻恩指导学生研究晶体热力学和其他课题，玻恩曾说，菲尔特对他的帮助很大。另一位是德国的原子研究者克劳斯·傅克斯，他是玻恩在爱丁堡“最卓越的弟子”。他是一个共产主义者，作为反法西斯主义者，离开了希特勒统治的德国。最初他在布里斯托尔学习，尔后在爱丁堡大学受到玻恩的关怀和支持，获得了两个学位，并在1938—1940年间同玻恩一起发表了几篇很有意义的论文。傅克斯是个很有才华的人，又是一个很有信仰的人，在战争爆发后，他作为敌国侨民被短期拘留以后，加入了不列颠核裂变研究小组。玻恩很理解他的政治抱负和对信念的忠实态度，尽管玻恩不是一个共产主义者，但他给了共产主义者傅克斯巨大的帮助。玻恩的第三位合作者是赫伯特·西德尼·格林，他同玻恩一起研究了凝聚气体和液体的严密的分子运动论。他们那时对晶体的研究，主要涉及根据X射线漫散射和拉曼效应来测定点阵的振动光谱。他们还从不同的方向研究一种新思想，即倒易原理，试图说明基本粒子的存在和性质，但由于实验资料太少而一无所得。和玻恩合作研究的人中还有一位中国人——黄昆。黄昆与玻恩一起研究点阵动力学，并于1954年出版了两人合著的《晶格动力学理论》。黄昆于1951年回国后，担任北京大学教授。在这部《晶格动力学理论》中系统地运用了量子力学。

在爱丁堡大学“自然哲学”研究室里，实验物理学是由尼克拉主持的，他以发现元素独特地吸收X射线而闻名。数学系主任是埃德蒙·惠特克，常常帮助玻恩工作。行政工作和大量教学工作是由玻恩的讲师R·施拉普和A·尼斯比特完成的。在最后几年里，E·沃尔夫也来到爱丁堡工作，他和玻恩合作写了第二部光学方面的巨著。另外，哲学家肯普——史密斯成了玻恩在爱丁堡最好的朋友。

在爱丁堡，玻恩和他的妻子继续帮助德国和其它被纳粹德国奴役的难民，这项工作后来主要由玻恩的妻子去做，她参加了苏格兰的公馆会。战争年代，公馆会和其它许多组织一起，从纳粹集中营和煤气室里拯救了几千人。

1948年，玻恩应邀在牛津大学玛格德伦学院主持韦恩弗利特讲座。那些讲稿汇集成《关于因果和机遇的自然哲学》于1949年在牛津出版。在这本书里，玻恩试图说明关于科学的哲学思想，以及他作为一个物理学家如何发展了这种思想。

战争结束后，爱丁堡的生活变得一天比一天好起来。移居国外的许多德裔科学家开始重新访问德国。戈丁根大学为麦克斯·玻恩、詹姆斯·弗兰克和库朗一起提供了“出入城市的自由”。1952年，玻恩首次访问了德国。

1953年，玻恩到了退休年龄，当他从爱丁堡大学“自然哲学”研究室的讲席上退休时，爱丁堡大学授予他一本荣誉出版物，其中有爱因斯坦的一篇论文。爱因斯坦在这篇论文里为否定以他的物理实在概念为依据的量子力学的统计解释，提出了一个简明的论据。玻恩不同意爱因斯坦的观点，而且认为爱因斯坦对一个例子的数学处理是不充分的。为此，玻恩著文答复，试图证明他的统计观点是正确的。他认为，爱因斯坦所说的古典力学是决定论的这种说法是没有理由的，因为它依赖于绝对准确的数据就有物理意义这个假设。而玻恩认为，这种假设是荒谬的。他因此而发展了古典力学的统计陈述。在这篇文章里，玻恩还对爱因斯坦的例子提出了一个直截了当的量子力学的处理，并且证明了在古典力学的范围里，它恰好得出了以前根据他的量子力学的统计陈述所得出的结果。

然而，量子力学波函数的统计解释刚一出现，爱因斯坦就持否定态度。他早在1926年12月就给玻恩写信说：“量子力学这是深受尊敬的理论。但内心告诉我，这还不是所需要的东西。这种理论所给东西不少，但它未必引导我们更接近上帝老人的秘密。在任何情况下，上帝是不掷骰子的。”爱因斯坦始终认为，统计量子力学只是对原子中发生的诸过程作了不完全的描述，并认为将来必然要返回早已表现出来的思想方式上来。爱因斯坦直到最后也没有放弃对统计量子力学的反对态度。在1953年，他同玻恩就此问题展开的争论达到非常激烈的程度，他们之间通了很多信，但相互间的误解却越来越深。当时在普林斯顿的玻恩的老朋友沃尔夫冈·泡利试图调解，但没有成功。后来，泡利帮助玻恩改写了为答复爱因斯坦的观点而写的文章，并经过泡利的完全同意，发表在丹麦科学院为纪念尼尔斯·玻尔诞辰70周年而出版的学报上。虽然同爱因斯坦的争论是相当激烈的，但这两位著名物理学家的友谊丝毫没有受损。

## 八、回归祖国

1953年底，玻恩从爱丁堡大学退休后，决定返回德国定居，虽然他已于1939年入了英国国籍。他的这个决定受到许多朋友的反对，爱因斯坦也劝他不要回去。但他当时认为回到德国能在宣传反核武器方面比留在英国多做些工作，因为英国人民在政治上比较成熟，而希特勒的法西斯政权摧残了德国的民主，更需有人去宣传民主精神。这样，玻恩及其亲人于1953年底离开了他们居住了20年的英国，回到了祖国，他们在离戈丁根不远的巴特皮尔蒙特定居下来。回到德国之初，玻恩仍在量子力学这个领域里继续研究。1954年，他同W·留德维希一起发表了一篇论文。在这篇论文里提出一个公式，用来表示自由运动的（例如旋转的）物体从分散状态的极端量子领域到连续性的古典领域的运动。

1954年，年届73岁的玻恩因他在28年前提出的量子力学波函数的统计诠释与核物理学家和射绕研究者瓦尔特·波蒂一起荣膺了诺贝尔物理学奖金，而他的许多学生和同事获得诺贝尔奖金的时间要比他早得多。玻恩本人知道原因所在。他说道：“1954年我荣膺诺贝尔奖金的那些工作，未曾包含某种新的自然现象的发现，而是对观察自然现象的新方法的论证。”玻恩的主要科学功勋就在于此。

此后，麦克斯·玻恩将其工作的重心转入研究物理学的哲学含义。玻恩是国内外许多科学协会会员和科学院院士，也是许多名誉博士学位的获得者。1962年12月，正值他80寿辰之际，柏林洪堡大学数学——自然科学系授予他名誉博士学位。戈丁根科学院出版了他内容丰富的两卷本《论文选》。玻恩虽然经历过第一次世界大战，并在军队中有过三次短暂的服役，但他很长时间都是一个纯学者。纳粹的暴行和战争的残酷使玻恩对自己过去的单纯感到惊讶，他开始认识到科学家应该有强烈的社会责任感。于是，他与许多科学伟人，如爱因斯坦、B·罗素一起，为新的道德规范，为世界和平而奔走呼号。

1955年以前，玻恩主要从事的是自然科学——理论物理学的研究，并做出了很大贡献，而在1955年及其以后，则是玻恩广泛社会活动的开始。1955年，52位诺贝尔奖金获得者在博登湖畔的迈瑙签订了反战的《迈瑙宣言》：

我们，下面的签名者，是不同国家、不同种族和宗教、不同政治见解的自然科学家，只有诺贝尔奖金把我们联系在一起，我们有幸获得这种奖金。

我们愉快地贡献我们的一生为科学服务。我们相信：科学是通向人类幸福生活之路。但是，我们怀着惊恐的心情看到：也正是这个科学在向人类提供自杀的手段。

军事上利用现有的武器可导致放射性物质的扩散，这种扩散将成为整个民族死亡的原因。这种死亡不仅威胁着交战国家的人民，同样威胁中立国家的人民。

如果在大国之间爆发战争，那么谁能担保战争不会转变为殊死的搏斗。冒昧发动总体战争的国家将加速其本身的灭亡，并将给整个世界造成威胁。

我们不否认这样的看法，即正是面临着这种致命武器的恐惧心显然有助于今天保卫和平的局面。然而，我们认为：各国政府所说的相信面临武器的恐惧心将帮助他们长期避免战争的话，只不过是自欺欺人之谈；恐惧心和紧张局势引起战争的情况是太频繁了。在我们看来，那种相信小冲突在未来仍将是使用常规武器加以解决的言论，也同样是自欺欺人之谈。在极端危险的情况下，任何国家都不会放弃利用科学技术产生的任何武器。

所有国家都应当自动放弃使用武力来作为政治中的极端手段。如果他们做不到这一点，他们就将停止生存。

玻恩是其中的一位宣言者。1955年，玻恩还在“罗素—爱因斯坦”反战宣言上签名。1957年，玻恩是发表反对西德原子武装呼吁书的18位戈丁根人之一，并且在“戈丁根宣言”上签了名。他1957年参加发起了帕格沃什会议，1961年又参加发起奥斯陆反核会议。他是美国“科学社会责任协会”会员，也是1963年秋罗素发起的和平基金会成员。

玻恩还通过各种新闻媒介呼吁和平。他用物理学家的眼光审视世界，对许多社会问题作了极有见地的分析，将余生献给人类的和平事业。有人比较了玻恩和玻尔，认为玻尔采取的是同政府合作的方法，用自己的思想去影响政府，而玻恩则是以写作、演讲，通过公共舆论来影响社会。

1970年1月5日，麦克斯·玻恩在戈丁根医院去世，享年88岁，他的墓碑上刻着他发现的著名公式

$$q - qp = \frac{h}{2i}$$

他的学生梅耶夫人说：“玻恩的逝世是一个时代的结束；玻恩是那一代伟大物理学家的最后一位，他们发展了原子结构理论，工作于初期的量子理论，并最终看护它发展成为我们今天所知道的量子力学。”

## 九、玻恩对自然科学的贡献

玻恩一生发表了 280 多篇科学论文，涉及相对论、量子论、晶格动力学、液体理论、超导理论、光学理论等等领域。他还编撰了 20 多本科学著作，其中有科学的经典著作，如《原子物理学》、《晶格动力学理论》等；有科学哲学的论著《关于因果和机遇的自然哲学》；有面向广大读者的，《我这一代的物理学》和《物理学与政治》这两个文集主要包括认识论、科学史和政治方面的论文和报告；有自传性的回忆。《我的一生和我的观点》和《我的生活》他为培养青年一代物理学家作出了重要贡献，他的助手，后来成为大物理学家的有海森堡、泡利、施特恩、洪德等。他的博士生有奥本海默、梅耶夫人、约尔丹等，因而，玻恩对人类的贡献是多方面的，这些贡献使他成为现代物理学的一代宗师，博得了科学界特别是 30 年代、40 年代学习物理学的那一代人的特殊尊敬。玻恩对科学的贡献主要是如下两大方面：

### 一、晶格动力学之父

玻恩一生涉足的领域非常广泛，但研究时间最长、论文最多、最能代表他个性的是在晶格动力学方面的工作，仅收于玻恩自选文集中属于这一领域的论文就有 33 篇。玻恩在晶格动力学领域的贡献主要有：

#### 1. 比热理论

固体比热的杜隆—珀蒂定律存在许多例外，这被列为 19 世纪末晶体学悬而未决的谜之一。1906 年，爱因斯坦对比热问题的解决提供了一个极其简单而成功的例子：考虑到麦克斯·普朗克量子假说，固体比热可以用固体中粒子的振动来解释，但固体中粒子振动的物理图像还不清楚。

1912 年，玻恩在戈丁根大学任讲师，他与后来成为空气动力学创始人之一的特奥多尔·冯·卡曼住在同一幢房屋里，他们俩人天天一起讨论物理学。在讨论中，他们谈到了爱因斯坦比热理论与实验的小小脱节。他们坚信晶格是物理实体，力图给出晶体作为动力学体系的图像。玻恩和卡曼合作的论文，奠定了晶格动力学的基础，引入了这一领域的几乎所有基本概念。后来，卡曼专注于流体理论，而玻恩和他的许多助手、学生，一直继续在这一领域工作。他们发展了基于晶格动力学的固体的热学、光学、力学理论。因此，玻恩被科学界称为“晶格动力学之父”。

当时从事改进爱因斯坦比热理论的还有 P·德拜，他的工作比玻恩和卡曼早几个星期，但德拜简单地把固体视作一种连续媒质，因而忽略了其原子性的内部结构，而玻恩和卡曼的理论则是以较完善而严格的原子动力学原理为基础。就晶格研究的理论意义来说，玻恩和卡曼的结果更为重要。这一工作的另一重要结果，是玻恩认识到普朗克的作用量子  $h$  不可能像普朗克本人所希望的那样可以同牛顿或麦克斯韦的理论结合在一起，原子领域需要一种更基本的新力学，因为固体的振动不再是单个粒子或粒子群的经典振动，而是一种新的模式振动。

## 2. 离子晶体

离子晶体，特别是卤化碱，在固体物理学发展中起着十分重要的作用。它们容易产生、单纯，适于作精确和重复的实验研究。1918年，玻恩和他的学生A·朗德研究了离子晶体，他们所用模型的最简单情况是：晶格位置被球对称的离子所占据，它们所具有的电荷与它们的正常化学价相对应。这些离子与邻近的位置只是稍为重叠，彼此通过向心力作用。每个离子按玻尔理论都是轮模型（核被平面电子轨道围绕）。由此，玻恩假说，和排斥力相当的相互作用能的形式是：

$$E_r = \frac{b}{n^2},$$

其中b和n为常数，而r为异类邻近离子间距。进一步，玻恩认为晶体的总能量为

$$U = -\frac{de}{r} + \frac{b}{r^n}, \text{ 其中 } -\frac{de}{r} \text{ 为静电相互作用能。}$$

开始玻恩和朗德得到了n=5的结论，由于E·马德隆的帮助，他们又克服了求和时库仑势收敛很慢的困难，后来常数d被称为马德隆常数。

不久，实验数据表明，n=9代替n=5，这种代替使玻恩等人相信玻尔的原子模型不再正确。玻尔的原子模型是电子的平面轨道运动，n=9而不是5，表明原子的有核模型应该具有更高的对称性。这是玻恩认为需要更新的更基本的力学的又一启示。诺贝尔奖获得者N·芙脱曾评论说：“这项工作或许应该认为是固体物理学的真正开始。”以前，物理学家和化学家用不同的方法研究离子晶体；由于玻恩的工作，这种情况得到了改善。玻恩还在弗里茨·哈伯帮助下，提供了仅用物理数据决定反应热的第一个例子，这个例子被称为“玻恩—哈伯理论”，它利用了焓H的总变化与实现变化的中间步骤无关的原理。

## 3. 晶格动力学方面的经典著作

玻恩在晶格动力学方面花了许多心血，成果卓著，这一领域的各个方面都有他的贡献，这些成就主要反映在三本著作中。

玻恩很早便被公认为是晶格动力学领域的权威。1918年，索末菲请他就固体的原子理论写一篇论文，这篇论文后来以单行本出版，书名为《固体的原子理论》。1915年，他写了一部总结当时晶格动力学研究结果的专著《晶格动力学》。量子力学诞生后，晶格动力学迅速发展，到了40年代，玻恩又着手写一部已经发展了的晶格动力学著作。1947年5月，中国物理学家黄昆到爱丁堡大学玻恩处进行短期工作。玻恩将自己写的一部分《晶格动力学理论》的初稿给黄昆看，在两人的讨论中，玻恩发现青年物理学家黄昆具有独到见解，就要求黄昆同他合作完成此书。1951年黄昆回国，在国内修改了此书的最后一章。此书于1954年由英国牛津大学出版社出版。此后20多年，此书一直是晶格动力学的主要基本理论著作。英国晶格动力学家W·科克伦在其所著《晶格中原子的动力学》一书的1973年版引言中说：“玻恩和黄昆

在 1954 年出版的《晶格动力学理论》，至今仍然是这个学科的主要方面的权威著作。”

## 二、量子力学的先驱

玻恩通过在固体比热和离子晶体方面的工作，感到需要用更基本的新理论来代替玻尔的量子理论。1922 年玻尔到戈丁根讲学后，玻恩便把注意力集中于此。他和詹姆斯·弗兰克及罗伯特·玻尔一起举办物质结构讨论班，他们一起寻找波兰半经典理论的弱点和矛盾。海森堡曾对比玻恩的戈丁根学派和索末菲的慕尼黑学派，当玻恩的戈丁根学派对波兰理论的正确性表示怀疑时，索末菲学派还相信；只要附加普朗克、玻尔和索末菲所提出的量子条件，牛顿力学还可以解决原子领域的问题。海森堡认为，玻恩甚至比玻尔更加坚信有一套完整的、数学上统一的量子理论；而不是在牛顿力学、量子条件和光量子假设之间徘徊，试图去调和它们。

玻恩和其助手泡利深入讨论了把微扰理论用于原子理论，并同海森堡合作对氦原子进行了研究。玻恩还和约尔丹一起研究多周期体系，他们发现：量子的“跃迁量”总对应于经典理论中振幅的平方，由此能恰当地构成“跃迁振幅”的概念，这符合玻尔的对对应原理。玻恩对此非常重视。

海森堡于 1925 年发展了玻恩的设想。他在一篇论文中沿着 H·克拉曼包散工作的方向，把注意力从定态能量转向跃迁几率。他抛弃了旧量子论中电子的位置、速度、轨道等经典概念，主张代之以原子光谱的频率、波长、强度等可观测量。他认为只有可观测量在物理理论中才是有意义的。他推广了玻尔的对对应原理，并把它从数学上精确化。海森堡让玻恩决定他是否应当发表该文，他说他已无法再推进一步。玻恩立即看出了海森堡思想的重要性。海森堡的论文发表后，玻恩发现：海森堡的不同寻常的演算实际上不过是矩阵演算，海森堡对量子条件所作的新表述，表示了矩阵方程的对角线元素

$$pq - qp = \frac{h}{2i}$$

玻恩想证明其余的元素为零。

恰在此时，德国物理学会下萨克森地区分会的物理学家在汉诺威举行会议。在赴会途中，玻恩遇见了他以前的助手泡利。此时，泡利已经写出了许多很有价值的论文，并因提出不相容原理而颇有名气，玻恩向泡利讲述了他关于矩阵的想法，并希望能与泡利合作解决遇到的困难，但是泡利对此并不感兴趣。他认为玻恩的数学体系会破坏海森堡的物理思想。但是一向以思想敏锐著称的泡利错了。事实很快证明玻恩的数学素养对发展海森堡的思想产生了不可估量的作用。此后，玻恩与他的学生约尔丹合作，发表了一篇论文，提出了一些重要的量子力学原理，其中包括量子力学在电动力学上的推广。

不久，玻恩、海森堡、约尔丹合作完成了一篇很长的论文，这篇论文使矩阵力学的形式在一定程度上趋于完善，成为量子力学的经典文献。

1925 年 11 月 14 日至 1926 年 1 月 22 日，玻恩应邀去美国麻省理工学院

讲授晶体理论和量子力学。晶体理论 10 讲；量子力学 20 讲，所用标题为“原子动力学问题”。玻恩第一个把新的量子理论带到美国，吸引了许多听众。他的讲稿于 1926 年由麻省理工学院出版，同年出版了德文本，这是关于量子力学的第一本专著。在麻省理工学院讲学期间，玻恩还和维纳合作，用算符理论对矩阵力学进行了推广。

由于德布罗意和薛定谔等人的工作，1926 年在同一领域又出现了不同于矩阵力学，但同样有效的波动力学。薛定谔对矩阵力学很反感，海森堡对波动力学也同样反对，物理学家们以针锋相对的论战来辨别两套理论的优劣。玻恩 1926 年的工作对统一物理学家的思想，澄清对此问题的讨论起了关键作用，使这两种截然不同的思想得到某种综合，在新的高度上达到了一定的统一。他用薛定谔的方法处理碰撞问题，讨论了入射粒子功能远远大于散射中心相互作用势能的情况，得到了著名的玻恩近似，即电子波函数的几率诠释。这项工作从物理上统一了波动力学和矩阵力学。几率诠释使物质的波粒二象性更加明确，在此基础上，海森堡提出了测不准关系，玻尔提出了互补原理。

玻恩的几率诠释对量子理论的发展，对人们思维方式的影响很大。他和哥本哈根学派坚持认为几率是量子理论的内在性质。著名科学史学家 A·派斯甚至认为：“在量子力学的这种意义上引入几率——也就是说，几率是物理基本定律的内在特征——很可能是迄今仍具影响的 20 世纪最根本的科学变革。同时，它的出现标志一次科学革命——这是常用而很少定义的术语——的结束而不是开始。”统计观念在玻恩自己的思想中也占有重要位置，形成了他哲学思想的一部分。



## 十、玻恩的哲学观点

玻恩知识渊博，多才多艺，除物理学外，他还喜欢文学、诗歌、音乐、历史、哲学等。他有相当高的文学修养，熟悉许多德国和英国的文学作品和诗歌，他还把一首十分流行的德文诗歌译成了英文。他还非常熟悉法国、意大利、俄国及其它国家的作家。他也十分热爱音乐，年青的时候钢琴弹得很好，完全可以参加室内乐的演奏，甚至和管弦乐队一起演奏。他读过许多关于历史以及当时社会经济和政治方面的书籍。至于哲学，他读的书也很多，对从古希腊直到现代的主要哲学流派都很熟悉。

玻恩本人高度重视哲学思维在自然科学基础理论研究中的作用。在他看来，“每一个现代科学家，特别是每一个理论物理学家，都应深刻地意识到，自己的工作同哲学思维错综地交织在一起的，要是哲学文献没有充分的认识，他的工作就会是无效的。在我的一生中，这是一个最重要的思想。”

玻恩早年受实证主义哲学的影响很深，他在《物理学中实在性的概念》这篇论文中写道，“就最严格的意义而言，实证主义应当否定客观的、外在世界的实在性，或者至少否定任何论述客观的、外在世界的可能性。应当想到，这类看法是任何一个物理学家都不能同意的。然而，这类看法存在着，甚至被当作时髦货。几乎在每个理论家发表的文章中都有实证主义的说教。”他鼓吹“实证主义在科学中是一股生气勃勃的力量”，是“和科学的进展齐步前进的”现代哲学体系，是“20世纪科学的哲学”。直到晚年，他仍然强调，由于互补原理的确立和量子力学只能作出概率性的预言，使人类对微客体的认识丧失了客观性，“主观性的倾向被重新引进了物理学，而且消除不掉。”这表明，他的哲学思想的基调始终没有变，只是到晚年时他已不再直言不讳地宣扬实证主义了，而代之以自然科学家比较容易接受的实在主义哲学。

玻恩的哲学观点与辩证唯物主义有许多共同之处，他在其哲学论文中同几位苏联科学家进行了对话。他就与莫斯科的同行谢尔盖·苏沃罗夫的通信一事中写到：“我应当承认，我感到高兴的是，我同一位科学家——共产主义者直接地、友好地交换意见；在这个领域内谈论的问题相当简单和明确，至少是如果把这些同经济学、社会学和政治诸问题比较起来的话，前者是相当简单和明确的。”

玻恩的哲学思想，同量子力学哥本哈根学派的主要代表人物玻尔的哲学思想，实质上是完全一致的。他对玻尔提出的互补原理推崇备至。他也认为，互补原理是一个普遍适用的哲学原理，不仅可以应用于量子力学，而且可以应用于自然科学的其他许多领域，甚至可以应用于意识形态领域和社会政治领域，使资本主义和共产主义这两种对立的思想体系和社会制度相互补充。这当然是错误的。

玻恩的哲学思想很复杂，充满了矛盾，他的思想既有辩证唯物主义色彩，

又否认马克思主义哲学对自然科学的指导作用。他坚持物理学理论和实验紧密联系的思想，反对对物理学理论的发展采取教条主义和经验主义的态度。他在戈丁根时期的一篇论文中说道：“物理学家力求研究自然中的事物，实验和理论仅为他达到目的服务，当他意识到他在每项实验中遇到的所发生的一切具有无限的复杂性时，他就会反对把某种理论看作为终极理论的任何企图。因此，他憎恨‘公理’这个词，因为在一般的用词中，这个词含有终极真理的意思。他之所以憎恨这个词，还因为他清醒地感觉到教条主义是自然科学最凶恶的敌人。他承认在我们主观之外存在着“物理实际”，这种实际以其各种变体的形式反映在物理理论中。他认为自然界中存在着新型的因果关系，任何理论都是在不断发展的。但是，他又把这些观点和唯物主义对立起来，认为这些观点是现代物理学在分析新发现（相对论、量子物理学）的基础上独立形成的，是经典的唯物主义不可能预见的。因此，他公开否认马克思主义哲学对自然科学的指导作用。他说：“很难期望大约在一百年前发展起来的马克思的观点能够给现代科学的发展带来指路明灯。”他的这种论调在一定范围内颇有些代表性，不仅在欧洲有人支持，而且在中国也有人响应。当代自然科学家中不是有许多人在向 2000 多年前的古希腊哲学请教吗？还有一些人主张要回到大约 200 年前发展起来的康德哲学那里去。这些事实说明，当代自然科学家在创造性地发展新理论的过程中，不论自己承认不承认，愿意不愿意，都不能不借助哲学思想的光辉来照亮科学上前进的道路。

玻恩十分关心科学发展的社会后果问题，也就是科学发展会把人类社会引向何处的问题。这位科学家经常强调，物理学家，特别是发现和掌握前所未闻的自然力的原子核研究家，对待他们的研究成果的利用不能漠不关心。他曾责备自己在戈丁根时期虽然使许多原子物理学家获得了专业的教育，但是没有培养他们拥有因科学发展所产生的社会道德责任感。

1959 年玻恩在关于世界物理概观范围的报告中说道：“当我年轻的时候，不很关心应用和技术，堪称为一个纯粹的科学家。今天，这就不可能了。因为自然的研究与社会、政治生活的联系极为密切。它需要大型设备，这些设备只有从大型工业或国家那里才能得到，因此，其成果不能不让这些组织知道。尤其是，核物理、火箭技术和宇宙飞行耗费大量资金。这样，今天每一个研究者乃是他生活所在的技术和工业系统中的一个环节，他对其研究成果的合理应用也应当承担一部分责任。”

玻恩本人未曾从事核技术的研究，也未曾直接或间接地参加原子弹的研究和制造，他始终支持反对原子战争的一切主张。随着科学技术的进一步发展，玻恩和许多西方科学家忧心忡忡地认为，科学的发展也许已经无可挽回地摧毁了人类文明的基础。在他们看来，西方社会“道德的完全崩溃”是科学发展的“必然结果”。人类正处在深刻的危机之中，这种危机包括：灾难性的人口过剩的前景；人类生存环境的污染，资源的日益枯竭；人类伦理原则的崩溃；以及爆发战争的危险及科学技术发展的最直接的后果——军事武

器日益更新带来的灾难。因此，玻恩和许多科学家呼吁反对滥用科学发明。他一方面提倡“用物理学的方法来思考历史问题和政治问题”，天真地提出要“用民族的互补感来代替民族之间的敌意”，“在国际范围内使恨代之以爱”，另一方面，他在许多反战宣言上签名，参加贝特朗·罗素于1963年组织的和平基金会，还发表了一系列文章谴责原子武装，宣传和平。他不仅是1957年春发表反对西德原子武装呼吁书的十八位戈丁根人之一，也是反原子屠杀委员会组织的示威游行的参加者。他自1954年至1970年的17年间，主要从事的就是与物理学相关的哲学问题、伦理学问题和生态、能源、人口方面的研究，以及致力于反对战争及争取和平的社会活动。

玻恩的哲学思想和观点同他所处的时代密切相关，也与他的出身及所受教育密切相关，其思想中既有精华，又有糟粕；既有合理的内核，又有必须摒弃的错误，这是正常而合乎逻辑的现象。

