

漫谈高能辐射防护的发展

吴靖民

自1931年第一台回旋加速器问世以来,加速器技术有了很大的发展.初期加速器的束流强度和能量都很低,凭着经验和谨慎地工作,加速器并未出现严重的辐射防护问题.随着原子核物理、高能物理的发展,物理学家要求提供能量更高、强度更强的束流,加速器的发展进入了一个新的阶段——向高能加速器发展.

人们通常把能量大于1GeV的加速器列为高能范畴.1952年,美国布鲁克海文国立实验室3GeV质子同步加速器的建成,标志着高能加速器的新纪元.如果说过去辐射防护是以经验为主,则往后要求进行更多的机制方面的研究.同时要求保健物理学家们更多地参与大型加速器的讨论和设计.防护史上有过这样一个故事:在1952年,西欧核子研究中心(CERN)设计质子同步加速器,当时对高能粒子通过屏蔽层后的杂散辐射现象不清楚.保健物理学家建议在加速器和居民点之间建筑一条土堤作为防护,建议被采纳了.可是加速器运行后却发现这条土堤形同虚设,无济于事.这引起人们极大的兴趣去研究杂散辐射.几乎在所有的加速器上进行了类似的试验.最后终于揭开了其中的奥秘.原来高能粒子(主要是中子)贯穿加速器顶部的屏蔽层后,射向空中,经过大气中空气的多次散射,有一部分被反散射回到地面,使得距加速器较远的地方(几百米乃至几千米)仍有一定的剂量.这种现象叫做“天空反照”.此后大型加速器几乎全都建在地下,上面覆盖一层厚厚的混凝土或土层.“天空反照”问题解决了,那条土堤至今仍然保留着,成为防护史上的一座纪念碑.不过,“天空反照”迄今仍是防护领域里一个十分活跃的课题.

高能粒子与物质相互作用是十分复杂的,级联过程会产生各种各样的次级粒子.其中高能电子与核作用产生的电磁级联,人们还比较了解,并用量子电动力学理论获得解决.至于高能质子与核相互作用产生的强子级联,至今仍不十分了解,往往采用半经验的方法来处理.五十年代后期,赫斯(Hess)从宇宙射线的研究中,进一步揭示了强子的级联过程,同时发现宇宙射线通过大气层的中子谱,与高能加速器屏蔽层中的中子谱十分相似.有趣的是大气层的质量厚度(1034克/厘米²)与一般高能加速器屏蔽层的质量厚度相当.如4米半混凝土的质量厚度为1025克/厘米².因此,人们形象地把浩瀚的宇宙比拟为一台硕大无比的加速器,地球上的人们靠着大气层这天然屏障,赖以安全地

生存着.大气中宇宙射线谱的研究,为高能辐射防护奠定了理论基础.

六十年代初,莫耶尔(Moyer)通过高能加速器Bevatron屏蔽体中中子衰减规律的研究,发现各种粒子通过屏蔽层后,如果高能中子衰减到人体容许水平时,辐射场中其它任何成分都将衰减到略而不计的程度.他提出一种“现象学理论”,后来为裴得逊(Potterson)和托马斯(Thomas)等学者所完善,称为“莫耶尔模型”.它的基本思想是:中子进入屏蔽体后很快达到谱平衡,其中能量大于150MeV的高能中子,由于作用截面小,贯穿本领就大,而能量低于150MeV的中子,作用截面随能量的减小而急剧增大,贯穿本领就弱.这样就可以只考虑高能中子的屏蔽,而忽略低能中子.又由于高能中子的作用截面为一常数,中子迁移方程的解是一简单的指数方程,极大地简化了屏蔽计算.“莫耶尔模型”的提出,在高能辐射防护中是一项重大的突破.

当加速器能量大于10GeV时,必须考虑 μ 子的防护. μ 子是在 π^\pm 介子衰变时产生的,它与物质产生弱相互作用,只能通过电离作用损失很小一部分能量. μ 子贯穿本领甚强,要阻挡它并不容易.但是, μ 子主要是在束流前进方向很小的圆锥角内产生,又使问题趋于简化.一般是在靶的后方加相当厚的屏蔽体来实现.如费米实验室介子厅靶的后方,先安置10米厚的铁块,接着用土层来防护 μ 子.

从六十年代开始,人们开展大规模的屏蔽实验.如1961年和1966年,英国、美国和西欧核子中心等几个高能实验室,先后在CPS上进行大型屏蔽试验.1964年和1970年,美国伯克莱实验室和布鲁克海文实验室在各自的加速器上进行系统的屏蔽实验.它们都取得了很好的成果,为防护理论和设计提供了大量的数据.

七十年代,计算机技术的突飞猛进,保健物理领域中又出现一支新的学科——辐射防护与剂量学中的计算技术.计算机技术的应用,对于以实验和宏观现象为基础的防护理论来说,又向前推进了一步.

人类已跨入二十世纪八十年代,加速器不断向更高强度、超高能方面发展,加速器的新原理新方法不断发展.想当初,第一个回旋加速器直径只有10厘米,精巧玲珑,可谓是一件艺术珍品,如今西欧核子中心正在兴建的正负电子对撞机LEP,位于地下500米,储存环隧道周长达27公里,工程又是何等伟大!另一方面,宇航事业的迅猛发展,人类不断地向太空深处开拓,征服宇宙的活动方兴未艾.无论是天上还是地下,高能辐射防护都面临着新的挑战!