

中等卫生学校试用教材

X线物理与防护

(供放射技士专业用)

主 编 马 延 洪

审 校 张 丹 枫

孙 立 亭

山东省卫生厅

中等卫生学校试用教材

X线物理与防护

(供放射技士专业用)

主 编 马 延 洪

副 主 编 王 淑 云

编 写 金 家 美

审 校 张 丹 枫

孙 立 亭

山 东 省 卫 生 厅

一 九 八 四 年 济 南

出 版 说 明

近年来,随着X线诊断设备的迅速发展和技术水平的不断提高,为适应专业发展和专业分工的迫切需要,山东省济南卫生学校于1981年恢复了放射技士专业,经过几年的教学实践积累了一定的经验,为满足本专业的教学需要,我们委托济南卫生学校牵头,组织省内部分院、校的有关专业技术人员参加,编写了一套三年制放射技士专业试用教材,包括《X线物理与防护》、《医用X线机结构学》、《医用X线机安装及维修》、《X线摄影学》、《X线摄影化学与暗室技术》、《X线诊断学》。

在组织编写过程中,首先召开全体编写人员会议,对我厅制定的三年制放射技士专业教学计划,进行了充分讨论。在统一认识的基础上,确定了各门教材的撰写重点和相互衔接等问题。

各门教材初稿脱稿后,分别邀请有关专家、教授对教材内容详细审查和认真修改。在此,特向大力支持编审工作的单位和参加编审的同志致以衷心地谢意。

本教材暂内部发行,做为招收高中毕业生的三年制放射技士专业的试用教材,也可作为临床放射工作者的参考书

由于我们对办放射技士专业缺乏经验,因此,在制订本专业教学计划和组织编审这六门教材工作中,难免存在一些缺点错误,敬希从事放射专业的同志和广大读者提出宝贵意见,以便再版时予以修改补充。

山东省卫生厅

一九八四年四月

前 言

本书是由山东省卫生厅组织编写的高中中专放射技师专业六门专业课教材之一，供三年制放射技师专业或放射技师进修班教学试用。若适当压缩学时和内容也可作放射技师专业或同类型进修班的试用教材，还可作为广大医务工作者、X线工作者和辐射防护专业人员的参考书。

近几年来辐射剂量学和辐射防护学从理论到实践都有较快的进展，国际有关组织接连发表了许多报告书和出版物。为了使本教材内容能反映这一最新发展趋势，在编写过程中我们力求选用国内外及本省的最新材料、标准和实验数据作为主要依据。主要参考文献有：国际放射防护委员会（ICRP）26号、33号、34号出版物；国际辐射单位与测量委员会（ICRU）33号报告书；原子能辐射效应科学委员会（UNSCEAR）1982年报告书；我国1984年拟订的《放射卫生防护标准》《医用诊断X线卫生防护规定》及山东省近年来的有关科研资料。

本书内容包括三部分，即：X线物理、X线剂量和X线防护。总教学时数为94，其中讲课66学时、实验22学时、机动6学时。

X线物理是X线剂量与X线防护的必要基础和前提。内容包括物理光学的基本知识；原子发光机理；X线的产生和性质；X线与物质的相互作用及X线在物质中的减弱规律等。

X线剂量一篇除介绍了X线常用的辐射量和单位外，还为辐射防护领域引进了一些新的辐射量和单位。本篇主要介绍照射量、吸收剂量、比释动能、剂量当量和X线照射量、X线质测量的基本原理和方法，以及X线剂量的估算等。它可为研究辐射效应与剂量之间的关系、实施辐射防护的剂量监测和评价、进行放射治疗和人体辐射损伤的医学诊断提供科学的剂量依据。

在X线防护一篇中介绍了X线在医学上的应用和发展趋势；辐射损伤机理；X线防护标准；X线防护原则；X线屏蔽防护；医用诊断和治疗中的X线防护；被检者和患者的防护以及X线防护监测等。本篇重点介绍了ICRP提出的剂量限制制度（体系），医用诊断X线的防护、被检者的防护、屏蔽设计以及防护监测等，内容比较全面和实用。

X线的广泛应用，给人类带来巨大裨益，在医学科学的发展中起了极大的推动作用，但也伴有一定危害，主要是电离辐射对人体健康的影响。因此，必须进行防护——即保护受X线照射的个人、他们的后代以及全体人类。

对X线的认识，应以辩证唯物主义观点为指导，既要充分利用X线造福于人类，又不可忽视可能带来的危害。X线是电离辐射，它对人体健康有危害的一面，但也决不能因噎废食而抛弃它，相反，这更应促使人们进一步研究其规律，认识其本质，限制其危害，发展其应用。

对X线的危害我们即不能麻痹大意，也不能盲目恐惧。随着科学技术的发展，辐射损伤的规律是可知的，X线的危害是可防的。只要我们切实掌握使用X线的正当化、防护水平的最优化和个人剂量限值的三项基本原则，认真改善设备的防护性能，坚持搞好防护安全操作，并加强防护管理，做到正确合理地使用X线，就可完全控制其危害，使X线更好地造福于人类。

本教材由山东省济南卫生学校、泰山医学院和山东省医学科学院放射医学研究所参加编写。其中第一篇和第三篇的第一章及实验1~3由马延洪编写；第二篇和第三篇的三至九章及实验4~10由王淑云编写；第三篇的第二章由金家美编写。本书承蒙山东省医学科学院放射医学研究所张丹枫所长和孙立亭主任热情指导和精心审校，谨此表示诚挚的谢意。

在审定稿过程中北京卫生干部进修学院陈玉人教授，中国医科大学裴尚义副教授、刘文白副教授和代铁城讲师对书稿提出了宝贵意见，给予大力帮助，编者在此一并表示衷心感谢。

由于本书取材较新，编者水平有限，书中缺点错误定然不少，恳切希望各界专家和使用本教材的广大师生及读者不吝批评指正，以便我们总结经验再版时修订。

编 者

1984年5月

目 录

出版者说明

前 言

第一篇 X线物理	1
第一章 光的基本知识	1
第一节 对光的本性的认识.....	1
第二节 光的电磁理论与电磁谱.....	2
一、电磁波.....	2
(一) 电磁场理论.....	2
(二) 电磁波的基本性质.....	2
(三) 电磁波的波长、频率和波速.....	3
二、光的电磁理论.....	3
三、电磁谱.....	4
第三节 光的量子性.....	7
一、光电效应的实验规律.....	7
二、光电效应与波动论的矛盾.....	8
三、爱因斯坦的量子解释.....	9
第四节 光子的质量和动量.....	10
一、相对论的两个重要结论.....	10
(一) 质量与速度的关系.....	10
(二) 质量与能量的关系.....	10
二、光子的质量和动量.....	12
第五节 波粒二象性.....	13
习题 1—1.....	14
第二章 原子发光机理	15
第一节 原子结构.....	15
第二节 原子核外结构.....	16
第三节 原子发光机理.....	19
一、原子的能级.....	19
二、能级跃迁光辐射.....	21
习题 1—2.....	23
第三章 X线的产生和性质	25
第一节 X线的发现.....	25

第二节 X线的本质和特性	26
一、X线的本质	26
二、X线的特性	27
(一)物理效应	27
(二)化学效应	28
(三)生物效应	28
第三节 X线的量与质	28
第四节 X线的产生	30
一、X线的产生条件	30
二、X线管	30
三、X线的产生装置	32
四、自整流和全波整流X线机电路	33
(一)自整流X线机电路	33
(二)全波整流X线机电路	34
第五节 X线的产生原理	35
一、电子与物质的相互作用	35
二、X线的产生原理	36
(一)连续X线谱	36
(二)特征X线谱	39
第六节 影响X线产生的有关因素	42
一、靶物质的影响	42
二、管电压的影响	43
三、管电流的影响	43
四、高压波形的影响	44
第七节 X线的产生效率	44
第八节 X线的空间分布	45
一、薄靶周围X线的空间分布	45
二、厚靶X线的空间分布	45
三、X线机周围剂量场的分布	46
习题 1—3	52
第四章 X线与物质的相互作用	54
第一节 概述	54
第二节 X线与物质相互作用的主要过程	56
一、光电效应	56
(一)光电效应	56
(二)线光电减弱系数与线光电能量转移系数	56
(三)光电效应的几率	57

(四) 光电效应中的特征辐射	57
(五) 诊断放射学中的光电效应	58
(六) 光电子的角分布	58
二、康普顿效应	58
(一) 康普顿效应	58
(二) 反冲电子及散射光子的能量	59
(三) 康普顿效应的截面	61
(四) 线减弱系数和线能量转移系数	62
(五) 康普顿散射光子和反冲电子的角分布	63
三、电子对效应	63
第三节 X 线与物质相互作用的其他过程	64
一、相干散射	64
二、光核反应	65
第四节 各种基本作用发生的相对几率	65
一、X 线与物质相互作用的总结	65
二、原子序数 Z 和光子能量 $h\nu$ 与三种基本作用的关系	66
三、在诊断放射学中各种基本作用发生的相对几率	66
习题 1—4	67
第五章 X 线在物质中减弱规律	69
第一节 单能窄束 X 线在物质中的减弱规律	69
一、窄束概念及其指数减弱规律	69
二、质量减弱系数、质能转移系数及质能吸收系数	72
(一) 质量减弱系数 μ/ρ	72
(二) 质能转移系数 μ_{tr}/ρ	74
(三) 质能吸收系数 μ_{en}/ρ	76
(四) 混合物和化合物的质量减弱系数和质能吸收系数	78
第二节 宽束 X 线在物质中的减弱规律	80
一、宽束 X 线在物质中的减弱规律	80
二、积累因子	80
第三节 连续能谱的 X 线在物质中的减弱规律	83
一、连续 X 线在物质中的减弱特点	83
二、X 线的滤过	84
(一) 固有滤过	84
(二) 附加滤过	84
第四节 诊断放射学中 X 线的减弱	87
一、X 线通过人体的减弱规律	87
二、诊断放射学中的散射线	88

(一) 照射面积的影响	88
(二) 被照射体厚度的影响	89
(三) 管电压的影响	89
第五节 影响 X 线减弱的因素	89
一、射线能量和原子序数对减弱的影响	89
(一) 射线能量和原子序数对作用类型的影响	89
(二) 射线能量对减弱的影响	90
(三) 原子序数对减弱的影响	90
二、密度对减弱的影响	91
三、每克电子数对减弱的影响	91
习题 1—5	92
第二篇 X 线剂量	94
第一章 X 线常用的辐射量和单位	94
第一节 照射量	95
一、照射量及其单位	95
(一) 照射量 X	95
(二) 照射量的单位	96
二、照射量率 X 及其单位	97
第二节 吸收剂量	98
一、吸收剂量及其单位	98
(一) 吸收剂量 D	98
(二) 吸收剂量的单位	98
二、吸收剂量率 D 及其单位	99
三、吸收剂量与照射量的关系	99
第三节 比释动能	102
一、比释动能与比释动能率	102
(一) 比释动能 K 及其单位	102
(二) 比释动能率 K 及其单位	103
二、比释动能与吸收剂量的关系	103
(一) 带电粒子平衡	103
(二) 比释动能与吸收剂量的关系	104
(三) 比释动能和吸收剂量随物质深度的变化	104
三、比释动能概念的应用	105
第四节 剂量当量	106
一、剂量当量及其单位	106
(一) 剂量当量 H	106
(二) 剂量当量的单位	108

二、剂量当量率H及其单位	108
三、有效剂量当量	109
(一) 辐射效应的危险度r	109
(二) 有效剂量当量 H_E	110
四、集体剂量当量和集体有效剂量当量	111
(一) 集体剂量当量S	111
(二) 集体有效剂量当量 S_E	111
习题2—1	111
第二章 照射量的测定	113
第一节 标准电离室	113
第二节 实用型电离室	115
一、理想空腔电离室	116
二、实用型电离室	116
(一) 室壁厚度	117
(二) 电离室大小	117
(三) 仪器校正	117
三、NYL—Ⅲ型伦琴计的使用	118
(一) 测量量程	118
(二) 仪器结构	118
(三) 工作原理	119
(四) 使用说明	119
第三节 照射量测量的其他方法	120
一、闪烁计数器	120
二、盖革—弥勒(G—M)计数管	122
习题2—2	123
第三章 吸收剂量的测定	124
第一节 量热计测定法	124
第二节 电离室测定法	125
第三节 吸收剂量的估算法	127
习题2—3	128
第四章 X线质的测定	129
第一节 半价层	129
第二节 半价层的测定	130
一、测定半价层的方法	130
二、影响半价层的因素	130
(一) 管电压、总滤过对半价层的影响	130
(二) FFD、FCD、线束 ϕ 对半价层的影响	131

第三节 有效能量和等值电压·····	136
习题2—4·····	138
第三篇 X线防护 ·····	139
第一章 X线在医学上的应用 ·····	139
第一节 X线在诊断方面的应用与发展·····	139
一、X线透视·····	139
二、影像增强器及X线电视·····	141
(一)影像增强器的结构和工作原理·····	141
(二)影像增强器的优点·····	142
(三)新型影像增强管·····	143
(四)X线电视·····	143
三、X线摄影·····	144
(一)一般X线摄影·····	144
(二)乳腺X线摄影·····	144
(三)特殊X线摄影·····	145
四、造影检查·····	145
五、X线CT·····	146
六、X线诊断技术的发展趋势·····	147
七、X线诊断检查频率及其发展趋势·····	149
八、我国在X线应用中值得注意的几个问题·····	152
第二节 X线在治疗方面的应用与发展·····	153
一、X线在治疗方面的应用·····	153
二、X线在治疗方面的发展趋势·····	154
习题3—1·····	155
第二章 X线对人体的危害 ·····	156
第一节 辐射损伤概述·····	156
一、辐射损伤机理·····	156
二、影响辐射损伤的因素·····	157
(一)辐射性质·····	157
(二)X线剂量·····	157
(三)剂量率·····	157
(四)照射方式·····	157
(五)照射部位和范围·····	157
(六)环境因素·····	158
第二节 慢性小剂量照射的生物效应·····	158
一、非随机效应·····	159
(一)血液和造血器官的变化·····	159

(二) 眼晶体的改变·····	159
(三) 放射性皮肤损伤·····	159
二、随机效应·····	163
(一) 致癌作用·····	163
(二) 遗传效应·····	164
三、胎内照射效应·····	164
第三节 小剂量受照人员的医学观察·····	165
一、检查要求·····	166
二、检查项目·····	166
三、不适应症·····	166
四、远期随访观察·····	166
习题 3—2·····	167
第三章 X 线防护标准 ·····	168
第一节 辐射防护学概述·····	168
一、辐射防护学的特点·····	168
二、辐射防护学的任务和主要内容·····	168
三、近代辐射防护之趋向·····	169
第二节 辐射防护标准概述·····	169
一、辐射防护标准的演变·····	169
二、ICRP 最新辐射防护标准·····	170
(一) 基本限值·····	170
(二) 推定限值·····	172
(三) 管理限值·····	172
(四) 参考水平·····	172
三、危险度在辐射防护标准中的应用·····	173
第三节 我国的放射防护标准·····	174
一、《放射防护规定》·····	175
二、拟订的《放射卫生防护标准》·····	176
(一) 放射工作人员的剂量限值·····	176
(二) 对公众的个人剂量限值·····	177
(三) 医疗照射的防护·····	178
(四) 教学中接触电离辐射时的剂量限值·····	178
(五) 放射工作场所的限值·····	178
(六) 其他标准限值·····	178
习题 3—3·····	179
第四章 X 线防护原则 ·····	180
第一节 X 线防护的目的·····	180

第二节 X线防护原则	180
一、剂量限制体系(制度)	180
(一)辐射实践的正当化	180
(二)辐射防护的最优化	180
(三)个人剂量限值	181
二、防护外照射的一般方法	182
(一)缩短受照时间	182
(二)增大与X线源的距离	182
(三)屏蔽防护	182
三、固有防护为主与个人防护为辅的原则	183
四、X线工作者和被检者防护兼顾的原则	183
五、合理降低个人受照剂量与全民检查频度	183
习题3—4	183
第五章 X线屏蔽防护	184
第一节 屏蔽材料的防护性能	184
一、屏蔽材料的铅当量	184
(一)铅当量	184
(二)铅当量测定	184
(三)常用材料的铅当量	188
二、屏蔽材料的散射量	189
(一)散射量	189
(二)散射量测定	191
(三)散射线能量的测定	191
第二节 屏蔽材料的选择	192
一、常用的屏蔽防护材料	193
二、复合防护材料	193
三、碳纤维板材料	194
第三节 X线的屏蔽计算	195
一、计算X线屏蔽的依据	195
(一)X线的量和质	195
(二)屏蔽材料的防护性能	195
(三)屏蔽用途和距离	195
(四)工作负荷	195
(五)使用系数和占有系数	195
二、计算X线屏蔽的方法	196
(一)利用屏蔽公式计算X线屏蔽	196
(二)利用透射比计算X线屏蔽	200

(三) 利用减弱倍数计算X线屏蔽·····	201
(四) 直接用工作量求X线屏蔽·····	201
三、X线屏蔽计算方法评价·····	204
四、计算X线屏蔽时的注意事项·····	204
习题3—5·····	204
第六章 医用诊断X线的防护 ·····	207
第一节 X线机的防护·····	207
一、X线机的防护设备·····	207
(一) 透视用X线机的防护设备·····	207
(二) 摄影用X线机的防护设备·····	208
二、X线机的防护性能·····	208
(一) 有用射线束照射量率的测试·····	208
(二) X线管头组装体漏射线照射量率的测试·····	208
(三) 防护区照射量率的测试·····	210
(四) 总滤过铅当量的测试·····	213
三、旧X线机的防护改进·····	213
(一) “管、遮、屏”防护装置·····	214
(二) 床侧板和X线机配套防护装置·····	216
(三) 减少漏射线量的措施·····	217
(四) 牙科X线机的防护改进·····	217
第二节 X线机房的防护设施·····	218
一、X线机房的建筑要求·····	218
二、X线机房内的防护设施·····	219
(一) 固定式防护设施·····	219
(二) 活动式防护设施·····	221
(三) 辅助防护用品·····	222
第三节 质量保证程序·····	223
一、X线防护管理·····	223
二、安全操作规则·····	224
习题3—6·····	225
第七章 医用治疗X线的防护 ·····	226
第一节 医用治疗X线机的防护规定·····	226
一、技术要求·····	226
(一) 对X线管头组装体漏射线的规定·····	226
(二) 对遮线筒有用线束透过率的规定·····	227
(三) 对有用线束不对称性的规定·····	227
(四) 其他技术要求·····	227

二、检验方法	228
第二节 医用治疗X线防护规则	228
一、防护设施	228
二、操作规则	229
习题3—7	229
第八章 被检者和患者的防护	230
第一节 人类的辐射环境	230
一、天然辐射源	230
二、人工辐射源	231
第二节 医疗照射的剂量水平和危险度估计	232
一、X线诊断中被检者接受剂量的水平	232
二、X线诊断检查的危险度估计	234
第三节 医疗照射的控制原则	237
第四节 被检者和患者的防护措施	238
一、提高有关人员的放射防护知识水平	238
二、正确的临床判断与合适的检查方法	238
(一) 应用X线检查和治疗的指征	238
(二) 选择合适的检查方法	240
三、采用恰当的X线质和量	240
四、认真控制照射野范围	241
五、注意非投照部位的屏蔽防护	243
六、提高记录系统的灵敏度	244
七、避免操作失误	244
八、严格执行安全操作规则	245
第五节 医疗照射的剂量估算	245
一、利用X线机输出额估算器官剂量	245
二、利用深部剂量分布估算组织剂量	248
(一) 表面反散射系数 b	248
(二) 百分深度剂量 P	249
(三) 组织剂量计算	250
三、利用器官——空气比计算器官剂量	252
(一) 器官——空气比 F	253
(二) 器官剂量计算	255
习题3—8	256
第九章 X线防护监测	257
第一节 场所辐射监测	257
一、场所辐射监测的目的和内容	257

二、场所辐射监测的方法和仪器	257
第二节 个人剂量监测	259
一、个人剂量监测的目的	259
二、个人剂量监测方法	259
(一) 施行个人剂量监测的工作条件	259
(二) 个人剂量监测方法	260
(三) 个人剂量评价方法	260
(四) 个人剂量监测记录	262
三、个人剂量监测仪	262
(一) 个人剂量笔	263
(二) 胶片剂量计	264
(三) 荧光玻璃剂量计	264
(四) 热释光剂量计	265
(五) 个人剂量报警器	266
四、个人剂量估算	266
(一) 利用辐射场照射量率估算个人剂量	266
(二) 根据工作量估算个人剂量	267
(三) 利用器官——空气比估算个人剂量	269
习题 3—9	270
学生实验	271
实验一 稀薄气体放电和阴极射线的研究	271
实验二 验证 X 线的特性	273
实验三 减弱系数的实验测定	273
实验四 照射量的测定	275
实验五 半价层的测定	278
实验六 铅当量的测定	280
实验七 散射线量的测定	282
实验八 X 线卫生防护调查	283
实验九 剂量监测仪的使用	284
实验十 透视用 X 线机防护性能测试	285
附录	
附录一 SI 单位制简介	288
附录二 常用物理常数和单位换算系数	291
附录三 医学物理学标准男人数据	293
附录四 附表	294
附表 1 元素周期表	295
附表 2 e^{-x} 函数表	296

附表3	f' 系数表	297
附表3.1	f' 甲状腺系数值	297
附表3.2	f' 卵巢系数值	299
附表3.3	f' 睾丸系数值	300
附表3.4	f' 肺系数值	301
附表3.5	f' 乳腺系数值	303
附表3.6	f' 子宫(胚胎)系数值	304
附表3.7	f' 红骨髓系数值	305
附表3.8	f' 全身系数值	306
附录五	附图	308
附图1	X线机输出额 X_0 与焦皮距的关系	308
附图2	距焦点10厘米处输出额 X_0 与管电压(脉冲)的关系	308
附图3	距焦点10厘米处输出额 X_0 与管电压(恒压)的关系	308
附图4	距焦点1米处输出额 X_0 与管电压(恒压)的关系	308
附图5	距焦点10厘米处输出额 K_0 与管电压(恒压)的关系	309
附图6	距焦点1米处输出额 K_0 与管电压(恒压)的关系	309
附图7	距焦点1米处输出额 K_0 与管电压(恒压)的关系	309
附图8	距焦点75厘米处输出额 K_0 与管电压(恒压)的关系	309
附图9	平均每单位照射量的骨髓剂量与光子能量的关系	310
附图10	平均每单位照射量的睾丸剂量与光子能量的关系	310
附图11	平均每单位照射量的卵巢剂量与光子能量的关系	310
附图12	X线透过铅时的透射量B与屏蔽厚度的关系	310
附图13	X线透过铅时的透射量B与屏蔽厚度的关系	311
附图14	X线透过有机玻璃时的透射量B与屏蔽厚度的关系	311
附图15	X线透过软钢时的透射量B与屏蔽厚度的关系	311
附图16	X线透过软钢时的透射量B'与屏蔽厚度的关系	311
附图17	X线透过有机玻璃时的透射量B'与屏蔽厚度的关系	312
附图18	X线透过铅时的透射量B'与屏蔽厚度的关系	312
附图19	X线透过铅时的透射量B'与屏蔽厚度的关系	312
附图20	X线透过混凝土时的透射量B'与屏蔽厚度的关系	312
附图21	宽束X线(脉动电压)穿过混凝土时的透射比 η 与屏蔽厚度的关系	313
附图22	宽束X线(恒压)穿过铅时的透射比 η 与屏蔽厚度的关系	313
附图23	宽束X线穿过铅时的透射比(穿透率) η 与屏蔽厚度的关系	313
附图24	宽束X线(脉动高压)穿过铅时的透射比 η 与屏蔽厚度的关系	313
附录六	教学大纲	314