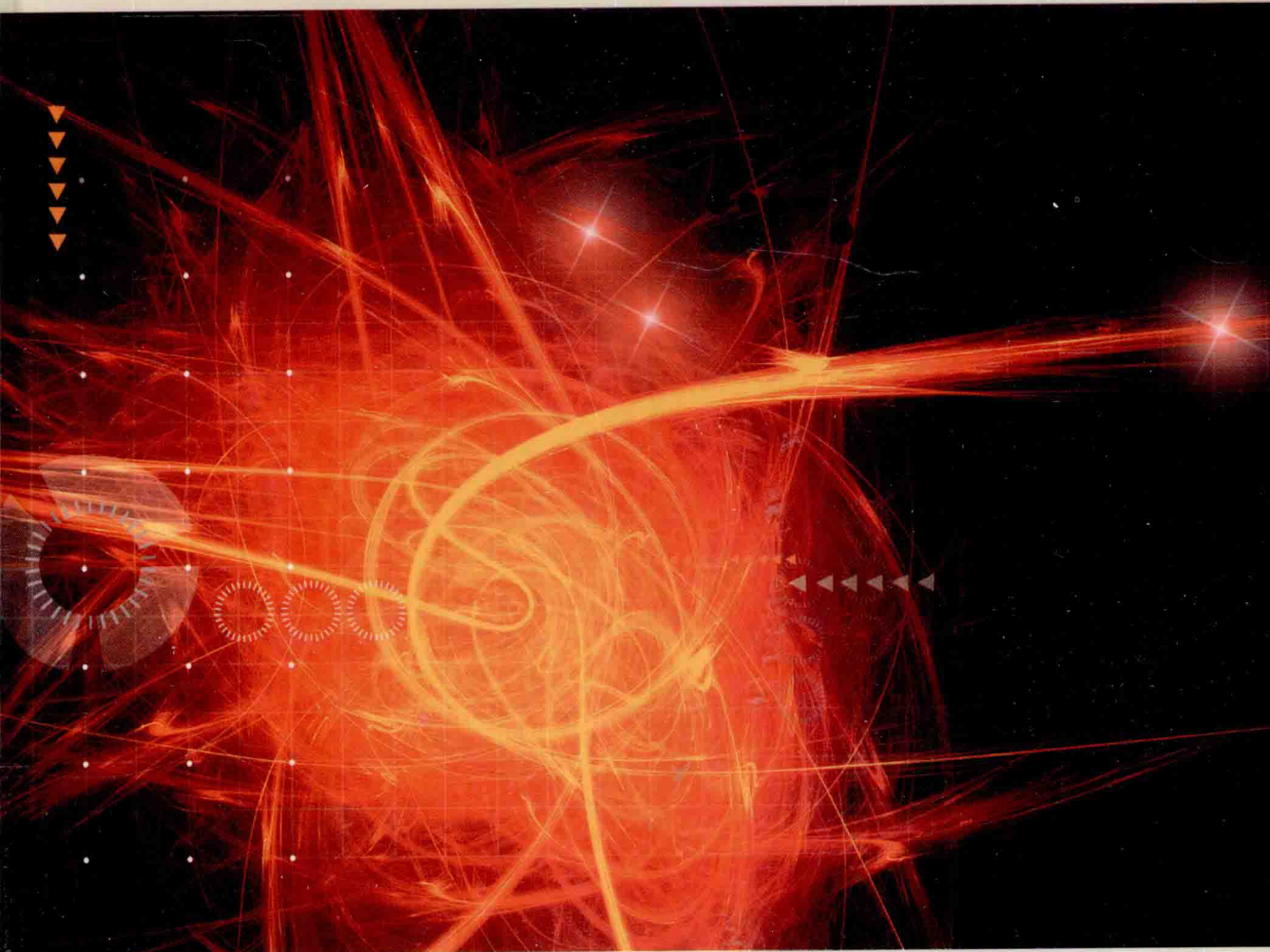


敷贴治疗核医学

●主编 / 张奇亮



FUTIEZHILIAOHEYIXUE

济南出版社

敷贴治疗核医学

张奇亮 主编

济南出版社

图书在版编目(CIP)数据

敷贴治疗核医学 / 张奇亮主编. — 济南: 济南出版社,
2004.10

ISBN 7-80710-065-6

I. 敷... II. 张... III. 放射性同位素敷贴法
IV. R817.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 109906 号

书 名 敷贴治疗核医学

主 编 张奇亮

出版发行 济南出版社

社 址 济南市经七路 251 号 邮编 250001

电 话 总编室(0531)6078724

发行部(0531)6922073

网 址 <http://www.jnpub.com>

<http://www.jnpub.com>

印 刷 山东新华印刷厂潍坊厂

厂 址 潍坊市潍州路 753 号 邮编 261041

版 次 2004 年 11 月第 1 版

印 次 2004 年 11 月第 1 次印刷

规 格 16 开(787 × 1092 毫米)

11.25 印张 210 千字

印 数 1-2500

I S B N 7-80710-065-6

定 价 48.00 元

如有印装质量问题, 请与出版社联系调换。

编者名单

主 编 张奇亮

副主编 冯志徐 刘世娟 李凤岐 陈国华

编 者 (按姓氏笔画排列)

王天民 潍坊市人民医院医务科

王凤玲 潍坊市人民医院核医学科

王洪刚 潍坊市人民医院核医学科

代学之 潍坊市人民医院核医学科

冯志徐 潍坊市人民医院核医学科

刘世娟 潍坊市人民医院核医学科

刘翠娥 潍坊市人民医院核医学科

刘 欣 潍坊市人民医院妇科

李凤岐 潍坊市人民医院核医学科

陈国华 潍坊市人民医院中医科

张奇亮 潍坊市人民医院核医学科

张建平 诸城市人民医院核医学科

张振鹏 潍坊市中医院骨科

张振英 潍坊市人民医院康复科

赵志华 潍坊市人民医院核医学科

郭坤芳 潍坊市人民医院预防保健科

樊培英 潍坊市人民医院核医学科

核医学的发展
是医学现代化
的一个重要标志

王世真

发展普及核医学
为人民健康服务

卢婉莹

、
充分发挥核医优势
积极开展核素治疗
严格执行操作规程
切实保障治疗效果

陳盛祖

序

对于某些疾病,放射治疗具有其独特的优点。放射治疗可分为内照射治疗与外照射治疗。外照射治疗又分远距治疗和近距治疗两类。近距治疗(brachytherapy)相对于远距治疗而言,可在近距离内对患者病变部位实施治疗,包括敷贴治疗、腔内管内治疗和组织间植入治疗。由张奇亮主编的《敷贴治疗核医学》是介绍这类治疗的一部专著,总结了作者30多年来的临床实践。他们通过在工作中积累的经验,和万余例多种皮肤病核素近距离治疗的心得,配合90多帧彩色照片,在举办四次学习班经验的基础上,写出了此书。本书以循证医学为指导,以病人的利益为出发点,不断改进治疗方法,提高治愈率,拓展核医学的临床应用范围,使核医学更好地为人民健康服务,为经济建设服务。这是本书的一个特点。

在引用一些新的方法时,要全面了解该法的适应症、禁忌症和优缺点,有的放矢。核素治疗原则上以中华医学会编写的有关核医学规程与指南为准,可参考其他相关著作,循序渐进,不断总结经验,做好临床应用与观察。因为放射治疗和任何其他治疗方法一样,是一面双刃剑,应用得当,可以为病人解除痛苦,取得良好效果;反之,如应用不当,会造成放射损害,对病人不利。这是我们临床诊疗工作的重要准则。

诊断核医学,包括体内(in vivo)显像与体外(in vitro)检测法;治疗核医学,包括内照射与外照射治疗,远距离与近距离治疗。它们都是临床核医学的重要组成部分,决不可偏废。它们也是临床科室的重要组成部分,具有广阔的发展前景,是医学科学现代化的重要标志之一。

马寄晓

上海市第六人民医院

刘秀杰

北京阜外心血管病医院

前 言

敷贴治疗核医学是放射性核素治疗学中的一枝奇葩。

随着国内外核医学的迅速发展,核素敷贴治疗的范围、病种也不断扩大,越来越多的临床科室医生认识到这门技术的独特疗效,不少单位购进或自制了敷贴器开展此项工作,为成千上万的患者解除了疾苦。应用放射性核素制成敷贴器治疗多种皮肤疾病即敷贴治疗有很好的疗效,已发展成为核医学的特色治疗技术之一。到目前为止,敷贴治疗皮肤血管瘤、慢性湿疹、瘢痕疙瘩、扁平苔癣、黏膜白斑、鸡眼、寻常疣、尖锐湿疣等疾病已是治疗核医学中经济实用、疗效确切、比较成熟的技术;将 ^{32}P 胶体等核素介入到瘤体内治疗海绵状、混合性血管瘤,其治愈率明显提高,而且具有副作用少、病人痛苦小、费用低等优点,也逐步得到推广。上述疾病虽然为临床常见一般皮肤病,但由于各种原因贻误治疗给这类患者造成痛苦甚至致残致命者也不少见。所以,比较系统地介绍核医学敷贴治疗就显得尤其必要。为推进该项技术的发展,我们借鉴、学习前人的经验,总结敷贴治疗的临床体会和教训,编写成《敷贴治疗核医学》一书。

1895年伦琴在研究阴极射线时,发现了X射线。1896年贝克勒尔发现了放射性。接着1898年,居里夫妇又发现了钚的放射性,并从沥青铀矿中找到了新元素钋和镭,并注意到镭放出的射线具有奇异的功能。1907年斯坦贝克用镭治愈了皮肤癌,从而揭开了“放射治疗”的序幕。然而由于当时条件所限,又未能导入剂量物理单位,致使以后的20多年内放射治疗进展不大。

进入20世纪二三十年代,由于200kV的X射线管的问世,照射剂量物理单位——伦琴和拉德的确立,加之在此后相继成功制造了回旋加速器、直线加速器、钴治疗机等,对肿瘤的治疗效果开始有了明显提高。

近几十年来,高能射线(如中子、质子、重离子等)对肿瘤治疗的研究得以快速发展,放射生物学、分子放射生物学等基础理论的研究也取得了很大进展,从而使放射治疗进入了一个崭新的阶段。

将发射 β -粒子的放射性核素均匀地吸附在滤纸或银箔上,或采用喷沫冶金技术制成薄片,密封在塑料袋或其他材料如金、银片内,按临床治疗需要制作成具有一定形状和大小的敷贴器,对机体表面病变进行局部敷贴放射治疗,这种治疗方法称敷贴治疗。

该技术应用于临床,至今已有50多年的历史。1950年Low-Beer首先以吸墨纸浸于 ^{32}P 磷酸钠的溶液内,做成敷贴器治疗皮肤的基底细胞癌、上皮角化增生及皮肤毛细血管瘤等,随后有人用放射性 ^{90}Sr 制成敷贴器治疗眼科疾病,都取得了很好的效果,放射性核素敷贴治疗被临床确认。由于这种方法疗效好,无创伤,只对病变组织发生作用,不对正常组织造成损害,容易被患者接受,无任何痛苦,治疗后副作用极少见,尤其易被婴幼儿接受,操作简单,治疗方便,因而被临床广泛应用。

放射性核素治疗皮肤病的原理为:某些病变组织对电离辐射的敏感性比正常组织强,

当病变组织接受一定剂量电离辐射后,就会受到破坏或抑制;一些病变组织接受电离辐射后,其微血管发生萎缩、闭塞等退行性改变;炎症经照射后,由于局部血管渗透性改变,白细胞增加和吞噬作用加强而得以治愈;增生性病变则由于细胞分裂速度减低、停止、凋亡而受到控制,从而达到治疗的目的。由于 β^- 粒子电离密度大,射程短,制成敷贴器适宜于紧贴在任何形状身体表面的病变处,而不引起深部和邻近组织的损伤,故多采用发射纯 β^- 粒子的放射性核素作为敷贴治疗源的首选核素。

单纯敷贴治疗对于一些皮损较深的皮肤病,如皮肤海绵状血管瘤,难以达到治疗的目的。这是因为 β^- 粒子的射程短,1mm的组织或水即可吸收62%的 β^- 射线,仅有极少数的 β^- 粒子(约1.9%)能达到4~11mm深的组织。 β^- 粒子的这一物理特性,一方面因为其射程短,不会对更深部的正常组织及造血组织构成损伤,而用于治疗一些表浅的皮肤病是一种非常理想的特殊药物;另一方面,对于皮损较深、超过其组织射程的病变则达不到应有的治疗效果。

我们从1968年开展放射性核素敷贴治疗,从未间断,工作中积累了13 000余例、20多种皮肤病同位素敷贴治疗的临床病例资料,总结分析这些资料,主要的、新的认识有以下几点:

1. 以前认为血管瘤可以不治自愈,我们认为这个观点有一定片面性,皮肤血管瘤还是早治为好,因为贻误治疗引起终生功能障碍、终生致残甚至危及生命等严重后果的血管瘤患者并不少见。治疗的时间一般在出生后1个月之后即可进行,而且越早效果越好。

2. 传统疗法对海绵状血管瘤、混合性血管瘤虽然有一定疗效,也有治愈的病例,但是总的来看治愈率是较低的。在相关的对比研究中,传统疗法对上述疾病的治愈率在36%左右。我们借鉴胶体 ^{32}P 组织及腔内介入治疗其他疾病的方法加以改进,试用 ^{32}P 胶体介入治疗皮肤海绵状血管瘤,取得了良好的效果,使临床上长期感到棘手的海绵状血管瘤、混合性血管瘤的治愈率大大提高,有效率达到95%,治愈率提高到90%。

3. 慢性顽固性湿疹、瘢痕疙瘩、鸡眼、寻常疣等一些临床上常见的皮肤病,常给患者造成生活上、精神上的痛苦,甚至明显降低患者生活质量。应用敷贴治疗,使这些疾病的治愈率提高,复发率降低。尤其是慢性湿疹、瘢痕疙瘩的同位素治疗有意想不到的良好效果。

4. 海绵状血管瘤确有动、静脉供血之别。有的血管瘤表面温度高,用手触之有动脉血管搏动。有的血管瘤表面温度低,血管搏动不明显。应用SPECT血池显像及超声影像证实,不同类型的海绵状血管瘤供血情况也有差别,而且临床类型呈多样化,这都影响到治疗的效果。也就是说,海绵状血管瘤应该根据不同情况进行分型、分类治疗,这样效果更好。介入治疗时药物注射部位及在瘤体内分布的均匀性至关重要。

5. 根据病人治疗需要,应用有载体 ^{32}P 制作公用或专用敷贴器治疗皮肤病有许多方便之处。我们在敷贴器制作、应用等方面进行了探索,总结了一些什么样的病,在什么情况下,投药量多大,治疗效果更好的方法。

6. 对于无论是商品敷贴器还是自制的敷贴器的放射均匀性、有无泄露等质量检查是十分重要的,会直接影响到治疗效果。及时定期地对敷贴器进行质量保证、质量控制检查,

对于保证治疗效果意义重大。对此，我们在工作中也进行了有益的探索。

7. 剂量问题。实践证明，在许多情况下患者实际所耐受的剂量要比现行的指导剂量大。要引起机体的有效生物效应，应该适当加大剂量，才能达到治疗的目的。至于加大多少，要根据病人的年龄、病程、是否经过其他治疗、发病部位等具体情况制定出一个可以随时调整的个体化治疗方案。

一个随时可以调整的个体化治疗方案至少应包括下列内容：

(1) 采用一次大剂量法或分次小剂量法，是由患者的病程长短、症状轻重、发病部位等具体情况决定的。婴幼儿、儿童采用分次小剂量法，便于观察治疗反应；成年人及病程长者，可考虑一次大剂量法。在某些情况下，两种方法亦可交替使用。

(2) 一般情况下，以5岁以下血管瘤患者为例，分次小剂量法时一次敷贴治疗的吸收剂量以5Gy、总吸收剂量20Gy为最低起点。瘢痕疙瘩应该加大，慢性湿疹则应减少。但个别病例不管一次大剂量法还是分次小剂量法，给予5Gy敷贴一次即产生中度以上的放射性反应，这种情况下敷贴治疗一次（5Gy）即为一个疗程，吸收剂量可随时调整。

(3) 采用分次小剂量法治疗时，一般3~5次为一疗程较为合适。至于具体一疗程分为几次（2次、3次、4次、5次或更多的次数），要根据病人对射线的敏感性等条件决定。此外，在不影响治疗效果的前提下还要考虑到尽量缩短疗程的时间，以方便病人。

(4) 下一次治疗前认真观察上一次治疗后的反应情况，再决定下一次治疗给予的剂量，即比上次加大、减少、与上次一样或终止治疗，要依据反应的情况及时作出调整。两次治疗之间间隔的时间以48h为宜，但也可调整，并非一成不变。上下两个疗程每次的治疗吸收剂量及一个疗程总的吸收剂量也不都一样，例如某病程较长的瘢痕患者，第一疗程中第一次治疗的吸收剂量可给予15~20Gy，总吸收剂量50Gy才能达到破坏掉表面病变的剂量，以后的治疗则根据反应情况决定剂量的大小。

本书从临床实用角度出发，尽量简明扼要地介绍实际工作中应用的理论和方法，只对重点的部分作较详细的介绍。对于一些有代表性的病例，治疗前进行实体拍照，治疗中及治疗后随访时在可能的情况下又进行拍照。我们选择了其中能说明问题的50多个典型病例，90余幅照片，并附以文字说明其治疗原则、要点等，目的在于为临床参考时提供一些较为直观翔实的资料。

为推广这一治疗技术，我们于1993年、1995年、2001年及2004年曾经举办过四期全国范围内的学习班，至今许多同行仍来索取有关资料。为了满足大家的要求，我们复习前人经验，查阅有关资料，总结临床体会、教训编成此书，以供同道参考。

长期以来，国内的专家、同道对我们在这方面的工作给予了巨大的关怀、支持和鼓励，许多核医学老前辈、专家、教授，不辞辛苦、亲临讲学、指导，提出了许多宝贵的指导性的意见和建议。此书出版之际，特将具有深远意义的王世真院士、屈婉莹教授、陈盛祖教授对核医学事业鞭策、希望、鼓励性的题辞刊于本书之前，更充分体现了他们对我国核医学发展寄予的厚望。刘秀杰、马寄晓教授特为作序，且长期对该项工作给予巨大的关怀，十年中三次亲临讲学，指导本书的编写。泮中允教授对初稿提出了许多具体修改意见，并以严谨的科学态度，对许多技术问题提出了独到的见解。在特种敷贴器的研制及该书的编

写过程中北京原子高科核技术应用股份有限公司、王世美、赵贵军等同志都给予了很大的帮助，全科历届工作人员从1968年至今始终把这项工作从未间断的坚持下来，不断总结、研究、提高，并保存了大量的完整资料，为此书的编写打下了较好的基础，在此一并致谢！

张奇亮

2004年4月18日于山东潍坊

目 录

第一章 核物理常识	1
第一节 核物理基础	1
第二节 常用的电离辐射量	9
第三节 放射防护	11
第四节 敷贴常用放射性核素	15
第五节 敷贴器	18
第二章 皮肤的解剖与生理	27
第一节 皮肤的解剖和组织学	27
第二节 皮肤的生理	31
第三章 皮肤血管瘤的敷贴治疗	35
第一节 皮肤血管瘤的类型和治疗概况	35
第二节 单纯性毛细血管瘤	37
第三节 海绵状血管瘤	41
第四节 混合性血管瘤	43
第五节 鲜红斑痣	44
第四章 瘢痕疙瘩与肥厚性瘢痕的敷贴治疗	47
第五章 湿疹、皮炎、银屑病和扁平苔藓的敷贴治疗	51
第一节 慢性湿疹	51
第二节 神经性皮炎	55
第三节 银屑病	59
第四节 扁平苔藓	61
第六章 五官科疾病的敷贴治疗	63
第一节 翼状胬肉	63
第二节 角膜新生血管	65
第三节 结膜毛细血管瘤	66
第四节 春季结膜炎	67
第五节 单纯疱疹病毒性角膜炎	69
第六节 耳聋	71
第七节 航空性中耳炎	73
第八节 酒渣鼻	74
第九节 慢性扁桃体炎	76

第七章 其他皮肤科疾病的敷贴治疗	77
第一节 机械因素引起的皮肤病	77
第二节 手足皲裂症	79
第三节 基底细胞乳头状瘤	80
第四节 黏膜白斑病	81
第五节 慢性外阴营养不良	83
第六节 尖锐湿疣	85
第八章 海绵状血管瘤和甲状腺囊腺瘤的 ³² P胶体介入治疗	89
第一节 核医学介入治疗	89
第二节 海绵状血管瘤的 ³² P胶体介入治疗	90
第三节 甲状腺囊腺瘤的 ³² P胶体介入治疗	95
第九章 影响核素敷贴治疗的因素及并发症防治	99
第一节 影响疗效的因素	99
第二节 副作用及并发症的预防与处理	101
第三节 敷贴治疗中的问题	104
第十章 治疗规程与质量控制	105
第一节 放射性核素敷贴器治疗规程	105
第二节 放射性胶体治疗规程	108
第三节 敷贴器的质量检验	110
第十一章 图 片	111
第一节 贻误治疗致残的血管瘤病例	113
第二节 不恰当治疗致严重后果的病例	117
第三节 单纯性血管瘤敷贴治疗病例	121
第四节 海绵状血管瘤 ³² P胶体介入治疗病例	135
第五节 混合性血管瘤敷贴介入治疗病例	142
第六节 瘢痕疙瘩敷贴治疗病例	148
第七节 慢性湿疹等敷贴治疗病例	154
第八节 敷贴器放射均匀性检查	158

第一章 核物理常识

第一节 核物理基础

核医学工作者对于核物理中经常应用的一些基础知识应该十分熟悉,尤其是在放射性核素治疗工作中对于某种放射性核素理化指标的了解及大量的物理量计算都涉及核物理常识。

了解并熟悉核物理基础知识,在治疗工作中可以较确切地向病人说明治疗的原理、过程、防护措施等,取得病人的密切配合,解除患者疑虑,对于正确地制订治疗方案,根据病情敷贴治疗及观察治疗反应情况,准确地调整照射剂量,敷贴器表面活性剂量校正等都十分重要。

下面主要就皮肤病放射性核素治疗中常用到的核物理基础知识作一介绍。

一、原子与原子核

(一)原子 原子是构成物质的基础,是用任何化学方法都不能再分割的微小粒子。原子是由原子核及围绕原子核并按一定轨道运行的核外电子组成的。原子核带正电荷,核外电子带负电荷,当核外电子与核电荷相等时,原子呈中性。原子核外有几个电子壳层,每个壳层有一定数目的轨道,每个轨道只能有一个电子,核外电子以固定轨道围绕着原子核运行。最靠近核的壳层称K层,向外依次称L、M、N、O……层,每层能容纳的电子数为 $2n^2$ 个, n 表示层数。例如K层上有 $2 \times 1^2 = 2$ 个电子,L层上则有 $2 \times 2^2 = 8$ 个电子等。壳层上的轨道电子分别具有一定能量,距核越远,电子的位能、势能越高。例如K层离核最近,与原子核的相互吸引力最强,其电子具有的位能(势能)最低;越往外层,电子受到原子核的吸引力越小,其位能则越大。

1. 电离:如果电子获得足够能量时,则该电子可能脱离原子核的束缚而离开原子成为自由电子,原子核本身则变为带正电荷的离子,这种现象称为电离。原子失去电子后成为离子。

2. 激发:若电子获得能量较小,不足以摆脱原子核的束缚,只能跃迁到高能态,这个过程叫激发。此时原子就处于激发态。处于激发态的原子是不稳定的,高能级轨道的电子很快向低能级轨道跃迁,以填补所缺的电子,通过能态或结构的改变而恢复到基态,这个过程称退激。电子的多余能量以光子(特征X射线或俄歇电子)或热能形式释放出来。

3. 基态:原子在正常或稳定状态时,电子总是优先占据势能较低的壳层,内层填满后再依次向外填充,原子的这种状态称为基态。

(二) 原子核 原子核主要由两种质量几乎相等的基本粒子——质子和中子组成, 质子和中子称为核子。质子、中子、电子都有一定的质量, 质子和中子的质量数相近, 而电子质量仅为质子的 $1/1840$, 所以原子核的质量几乎等于原子的质量。在核物理中, 常用“质子质量单位(u)”做微观粒子质量单位, 它等于 ^{12}C 原子质量的 $1/12$, 即 $1\text{u} = 1.660\,565\,5 \times 10^{-27}\text{kg}$, 因此, $1m_n(\text{中子质量}) = 1.00\,866\,5\text{u}$, $1m_p(\text{质子质量}) = 1.00\,727\,6\text{u}$ 。质子带正电荷, 与核外电子所带电荷数量相等, 中子不带电荷, 故整个原子呈电中性。它们之间的关系是: 质子数(p)+中子数(n)=原子核质量数(A)。一个元素的原子序数 Z 就是该元素原子核中质子数 p (即核电荷数), 所以 $Z=p$, $A-Z=n$, $A=Z+n$ 。用 X 代表元素符号, 国际上通常用 A_ZX 表示各种元素。通常 Z 可以省略不写, 因为它可以由元素符号来确定, 如: ^1H 、 ^{131}I 、 ^{32}P 等。有些核素左上角质量数之后加 m , 表示该核素处于激发态, 如 ^{99m}Tc 等。

(三) 原子量 各种元素的相对质量亦称相对原子量。根据原子序数和原子量, 我们可以知道原子的构成, 例如原子量为31的15号核素P, 其核内有15个质子, 16个中子($31-15$), 核外有15个电子。

绝大多数的元素是由两种或两种以上的同位素所组成的。氧有三种同位素: $^{16}_8\text{O}$ 、 $^{17}_8\text{O}$ 、 $^{18}_8\text{O}$, 它们在普通纯氧中的含量分别是99.759%、0.037%和0.204%。

碳有两种稳定同位素: $^{12}_6\text{C}$ 、 $^{13}_6\text{C}$, 它们的相对丰度(相对存在量)分别为98.892%和1.108%。

二、元素、核素、同位素和同质异能素

(一) 元素 严格来讲, 凡质子数相同的原子称为一种元素。它们的原子序数相同, 因此具有相同的化学性质, 是组成不同物质的基本单位; 但它们原子核中的中子数不同, 因而物理特性可以有某些差异。

(二) 核素 具有确定的原子序数及质量数, 并处在一定能级的原子, 称为一种核素。核素的种类是以核所含质子数、中子数及核的能量状态等特征来区分的。即一种核素是不仅质子数相同, 而且中子数也相同, 并处于同一能量状态(半衰期大于 10^{-10}s)的原子。而处于亚稳态的一类同质异能核素寿命较长(通常指 $>10^{-10}\text{s}$)的激发态称为亚稳态, 处于亚稳态的原子核称为同质异能核素, 也算做一种单独的新核素。例: ^1_1H 、 ^2_1H 、 ^3_1H 、 $^{226}_{88}\text{Ra}$ 、 $^{99m}_{43}\text{Tc}$ 分别为5种不同的核素。核素是用来表示原子核类型的一个概念, 每种元素可以包括若干种核素, 目前已知的核素有2600多种, 分别属于100多种元素。

(三) 同位素 凡属于同一种元素的核素, 在元素周期表中处于相同位置, 其质子数相同而中子数不同, 称为该元素的同位素或彼此互为同位素。每一种核素都对应于核内质子数和中子数分别相同的一类原子, 即对应于相应元素的特定的一种同位素, 因此也常用核素符号表示同位素。例: ^{125}I 、 ^{127}I 、 ^{131}I 互为I的同位素。

所以, 核素是表示某种原子具有一定特征的名称, 同位素则是表示核素之间相互关系的名称。

(四) 同质异能素 原子核内质子数和中子数均相等, 而能量状态不同的核素, 彼此互为同质异能素。例: $^{99m}_{43}\text{Tc}$ 和 $^{99}_{43}\text{Tc}$ 互为同质异能素。

三、稳定性核素和放射性核素

原子核内核子之间存在一种强大的引力,称为核力。它是一种短程力,核子数越多,核力越弱。由于质子带正电,所以质子之间又存在一种斥力,它是一种长程力,一般不受核子数的影响。原子核能否稳定,取决于以上两种内在力量是否平衡。

(一) 稳定性核素 稳定性核素是指原子核极为稳定的核素。当核内中子数和质子数保持一定比例时,两种力量平衡,若没有外来因素(如高能离子的轰击)时,不会发生核内成分或能级的变化;或虽可发生变化,但几率非常小,半衰期超过 10 亿年。在已知的 2600 多种核素中,大约只有 1/10 是稳定的。

(二) 放射性核素 核内质子数不变,中子数增加或减少都会使斥力大于引力,此时原子核仍处于不稳定状态,需通过核内结构或能级调整才能趋于稳定,这种核素称为不稳定核素。这种核内结构或能级的调整称为核衰变。核衰变的同时将释放出一种或几种以上的射线,这种性质叫做放射性,因此,不稳定核素又称为放射性核素。即凡原子核处于不稳定状态,会自发地转变为另一种核素,并放出射线者,称为放射性核素,也叫不稳定核素。如果一种元素的所有同位素都是放射性的,则这种元素叫做放射性元素。原子序数在 83 以上的元素均为放射性元素。含有放射性元素或同位素的物质称为放射性物质,这种物质有时被称为核辐射源或放射源。

放射性核素根据来源不同分为天然放射性核素和人工放射性核素两类。

四、核衰变

放射性核素的原子核不稳定,会自发地发生结构及能量状态的改变,同时放出射线转变成另一种核素的过程称为放射性核素的衰变或蜕变(简称核衰变)。衰变前的核称为母体核,衰变后生成的新核称为子体核,衰变时放出的能量称为衰变能(以 Q 表示),它基本上被放出的射线所携带。任何衰变都伴有能量释放。衰变能的单位常用兆电子伏特(MeV)或千电子伏特(keV)。核衰变过程中遵从动量守恒、质量和能量守恒、质量数守恒和电荷数(或电量)守恒的规律。核衰变的速度、方式及释出的射线种类和能量取决于原子核内的特征,不受周围环境如强度、湿度以及压力等因素的影响。

(一) 核衰变方式 常见的衰变方式有 α 衰变、 β^- 衰变、 β^+ 衰变、EC 衰变、 γ 跃迁及同质异能跃迁、韧致辐射等。

1. α 衰变: 不稳定核自发地从核内放射出 α 离子,而变成另一种核的过程,称为 α 衰变。 α 粒子就是高速运动的氦原子核。每次衰变释放出一个 α 粒子(高速运动的 ${}^4_2\text{He}$ 核),母核失去 2 个质子和 2 个中子,子核原子序数减少 2,质量数减少 4,这一过程也释放出衰变能(Q_α)。可用下列衰变方式表示:



例: ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \alpha + Q_\alpha$, 式中 X 代表母体, Y 代表子体。

α 衰变主要发生于原子序数大于 82 的重核素,质量数 $A \leq 140$ 的原子核不可能发生 α 衰变。 α 衰变后的子核通常处于不稳定的激发态,当它回到基态或低能态时,可以以 γ 光