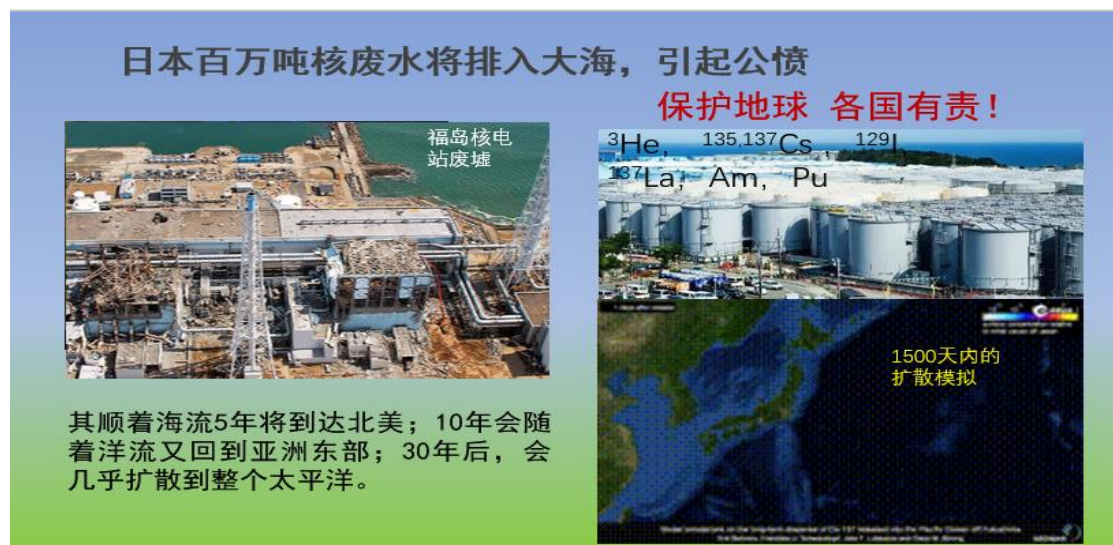


# 科学认识核辐射

2011 年日本福岛核电站由于地震，发生严重的核燃料熔化事故，运营者用海水冷却来防止爆炸，目前已积累 130 万吨含有大量放射性物质的废水。2021 年 4 月，日本政府正式决定，将这些有害核废水排入大海。如果这样，会很快地在太平洋扩散，3-5 年将会充满北太平洋，造成海洋的放射性污染，给环太平洋国家的人民带来严重的危害，这一举动引起了许多国家的愤怒。国际原子能委员会也给予了极大的关注，其高层人士于 2021 年 9 月 7 日访问日本，调查含有氦等多种放射性物质的核污染水具体排入大海的过程及对环境的影响。

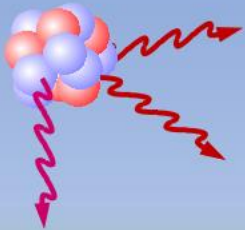


## 什么是核辐射？

现在已知的原子核有 3440 多种，大多数是不稳定的。这些不稳定的原子核终将回到稳定状态。在回稳过程中会发射各种粒子和射线，包括中子， $\gamma$ 射线， $\beta$ 射线， $\alpha$ 射线，中微

子等。这些粒子就是通常说的核辐射。一些重原子核会自发地，或者被其他粒子轰击后，会裂开为具有很高能量的两个碎块，并常常伴有中子、 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线和中微子发射，这种现象称为裂变。核电站就是利用核裂变提供的能量发电的。虽然裂变碎片不会逸出裂变材料本体，但也可称为核辐射。所以，正常运转的核反应堆中包含了大量的核辐射：裂变碎片、中子、 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、中微子，还有铀和其他更重的原子核发射的 $\alpha$ 射线。

**什么是核辐射？**



已知的3440多种原子核，大多数是不稳定的！

**从不稳定状态变到稳定状态的过程中发射出的粒子！**

$\gamma$ -射线； $\beta$ -射线； $\alpha$ -射线；  
中微子  
核子（质子，中子）；  
重离子（核碎片）；

The diagram shows a central nucleus composed of red and blue spheres. Three wavy arrows of different colors (red, purple, and blue) emanate from the nucleus, representing the emission of various types of nuclear radiation.

### 核电站中的核辐射从何而来？

**中子**——铀原子核裂变时放出来的核子（原子核由质子和中子组成），其质量数为 1，不带电；初始速度快(约 20,000 千米/秒)，穿透力强，被慢化后速度也在几千米/秒，被铀-235 原子核吸收后，引起新的裂变。反应堆中的中子通量  $10^{10-14}$ /s，可作为一个中子源。中子是核电站辐射防护的主要对象。

中子的发现：1932 年查得维克利用镭铍放射源轰击石蜡，测得质子，仔细计算能量和动量后，发现能够引起质子出射的入射射线应该是不带电的，质量与质子相当的粒子，并称其为中子。从而有了原子核由质子和中子组成之说。

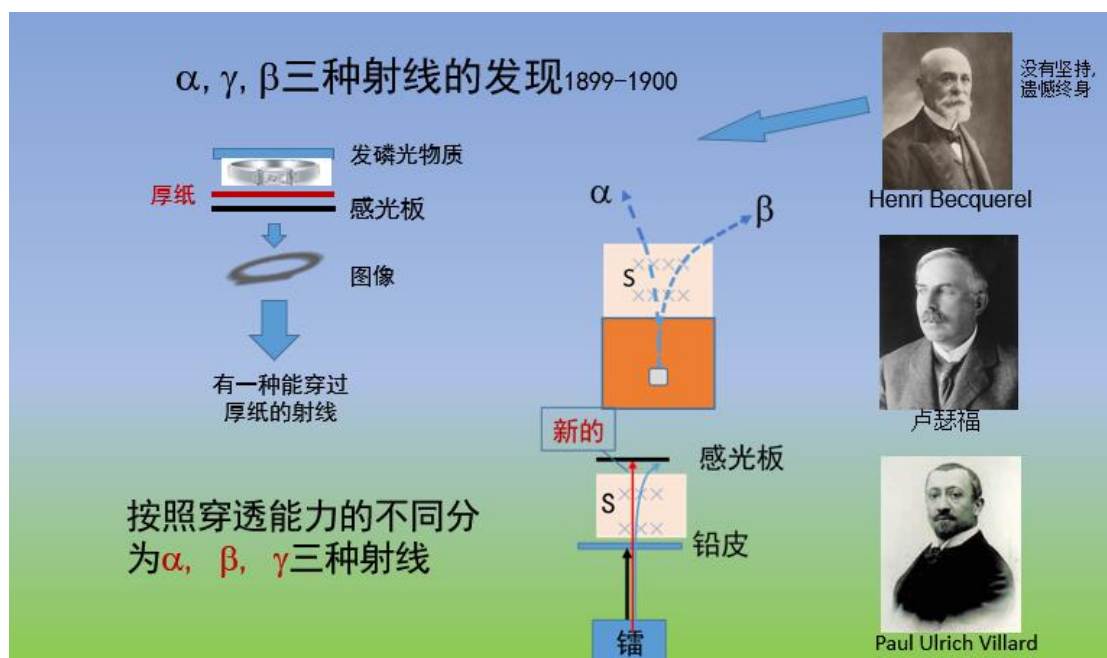
**$\beta$ —射线**——反应堆内裂变碎片衰变时放出的电子。裂变产生的碎片都是丰中子的，其中许多是不稳定的，寿命有长有短，短的几小时到几十年，如  $^{137}\text{Cs}$ ， $^{131}\text{I}$ ， $^{89}\text{Sr}$ ，长的上万年，甚至几百万年，这也是核废水有长期放射性危害存在的主要来源 ( $^{135}\text{Cs}$ ， $^{129}\text{I}$ ， $^{99}\text{Te}$ )。

**$\gamma$ —射线**——被激发原子核退激发时放出的一种射线，例如裂变产物  $^{137}\text{Cs}$  放出 $\beta$ -射线，变到  $^{137}\text{Ba}$  的不稳定高能量态，然后发射 $\gamma$ —射线，变为稳定的。这也是反应堆及其核废水中的一种核辐射。

**$\alpha$ —射线**——许多中子数较少（缺中子）的重原子核衰变时放出 $\alpha$ 粒子（氦原子核），称为 $\alpha$ 射线。例如核材料中含有的大量 U-238，它衰变时主要放出 $\alpha$ 射线，随后会经过一系列的 $\beta$ 和 $\alpha$ 衰变，变为铅的一个同位素  $^{206}\text{Pb}$ 。

利用离子加速器可以将 $\alpha$ 粒子加速到很高的速度，成为人造 $\alpha$ 射线。

**$\alpha, \gamma, \beta$ 三种射线的发现**——贝克勒尔发现铀盐中有一种可以使感光底板感光的东西，但就此止步，没有深入研究，失去了发现放射性的机会。后来卢瑟福利用磁场发现了铀盐发出的，可以一左一右的偏转两种未知射线，就称其为 $\alpha$ 和 $\beta$ 射线。再后来，有一个叫威拉德的物理学家，在磁场的正上方放了一个感光板，结果发现感光板仍可感光，断定还有一种未知射线，称其为 $\gamma$ —射线。



**中微子**——反应堆中核裂变产生的不稳定原子核发生 $\beta$ 衰变时，伴随发射出一种质量极其微小，不带电的粒子，被称为中微子。实际上中微子有三种：电中微子，陶中微子和缪中微子。

在自然界中有大量的中微子，主要来自太阳(聚变反应)，每秒就有约几十亿个中微子穿过我们的眼睛，但不会造成什

么伤害。

**X 射线**——120 多年前，由伦琴发现的一种射线。它是处于高能量态的原子退回稳定态时发出的射线。另外，带电粒子的速度突然改变时也会发出这种射线。

除了天然的核辐射（射线）外，利用加速器将大量带电粒（离）子加速到需要的速度，称为束流，也可以说是人造射线。例如电子束流，质子束流，重离子（比 $\alpha$ 粒子重的离子）束流等，可以直接应用，也可用来产生中子或伽马射线。

### **辐射给人们带来巨大的利益**

**核电**——据统计，2019 年，全世界一年消耗的电量大约在 26 万亿度。其中核电就占了 11%。核电供应占比最大的是法国，达到 70%。另外，捷克，乌克兰等国家的核电占比也很高。中国仅占 4%左右，所以我国核电的发展空间还很大。核电站的主要部分是核反应堆。目前主要使用的是第二代和第三代反应堆，正在研制第四代反应堆，其目标是满足安全、经济、可持续发展、极少的核废物生成、燃料增殖的风险低、防止核扩散等。

**医疗**——这是核辐射广泛应用的重要领域。包括以下两个方面：

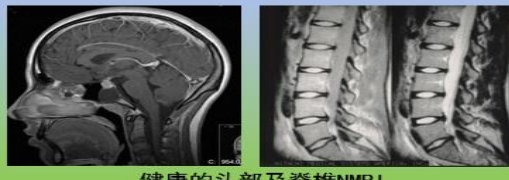
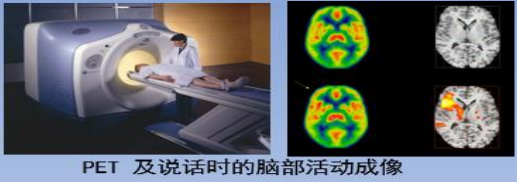
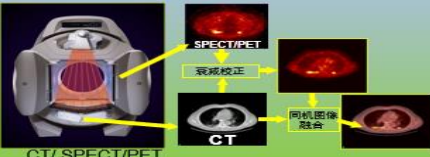
首先是诊断，即成像，利用射线对人体的各部分照相。在住院时，医生会要求病人进行多项检查，包括作 CT，PET，核磁共振，透视等。这都是利用核辐射成像方法对病人体内的病变进行检查的设备。其检查结果为医生对病人病变的确

诊提供重要基础。现在，这些仪器已成为西医诊断不可或缺的设备。

**医疗领域**

**诊断——成像**

- X光机—透视
- CT—X射线
- SPECT— $\gamma$ 光子
- PET—正电子湮灭
- NMRI—核磁共振
- 上述方法联合使用；



CT/SPECT/PET

PET 及说话时的脑部活动成像

健康的头部及脊椎NMRI

再者就是放疗——利用放射线治疗肿瘤。目前，用于治疗肿瘤的射线包括 X-射线， $\gamma$ -射线，带电粒子（质子，重离子），中子等。早期利用 X-射线和 $\gamma$ -射线治疗肿瘤时，会对病人产生较大的副作用，例如脱发，消瘦等现象。近年来，利用 X 刀，伽马刀等改进的设备，其副作用相对有所减轻。后来又开发了利用加速器提供的质子束流治疗肿瘤的方法，进一步提高了治疗效率，减少了副作用。

上世纪 90 年代中期开始，国际上研发出了重离子束流治疗肿瘤的新途径。由于重离子和质子束流的特性（带电，分散小，有确定射程，能量可调，特别是重离子的生物学效应高，不分癌细胞种类和时相），相比原有的放射治疗方法，重离子束（包括质子束）治癌有一系列的优势：相对剂量小、治疗精度高(<1mm)、治疗效果好、副作用小等。日本、德国等国都研发了重离子束治疗肿瘤的专用设备，并在本国推广

应用，取得了很好的效果。我国也有自主知识产权的重离子治癌装置，建立了武威重离子治疗中心，于2020年4月投入运营。

治疗效果比较					
医疗	肿瘤项目	终点	光子	碳离子	
				日本 (NIRS)	德国(GSI)
放疗 放射性 X-射线 γ-射线 带电粒 中子  重离子 相对剂量 精准治疗 疗效高; 副作用小 可治疗任	脊索瘤	局部控制率	30-50%	95% (5年)	70%
	软骨肉瘤	局部控制率	33%	100% (5年)	89%
	鼻咽癌	五年生存率	40-50%	61%	
	恶性胶质瘤	平均存活时间	12个月	16个月	
	黑色素瘤	局部控制率	95%	96%	
	副鼻窦癌	局部控制率	21%	70% (5年)	
	腺囊癌	五年生存率	57%	72% (局部81%)	
	胰腺癌	平均存活时间	6.5个月	21个月	
	肝癌	五年生存率	23%	33%	
	复发型直肠癌	五年生存率	0-16%	45%	
唾液腺癌	局部控制率	24-28%	81% (5年)	77.5%	
软组织肉瘤	五年生存率	31-75%	52-81%		

除上述几方面的应用外，核辐射在海关，机场，车站等地点的**安全检查**中也随处可见。

中子活化分析 – 利用中子轰击待分析样品，在样品中诱发核反应，生成新的放射性核素。因为每种核素都有自己的特征伽马射线，测量被照射样品放出的特征伽马射线，从而断定物质成份和含量。这在物质成份分析，考古，石油勘探测井等方面有着广泛地应用。比如在古瓷器的鉴定中，河南的汝瓷，景德镇的瓷器，含有不同的特定成份，利用中子活化分析可以鉴定出其产地，甚至烧制年代。在三星堆的考古中，挖掘出很多东西，它们到底属于哪个年代？通过对出土文物中碳-14 的含量分析就可以断定。

射线或离子束流也可以用于植物新品种的培育，这就是辐照育种。利用伽马射线，特别是重离子束流对农作物种子或者花卉种子进行照射，使其 DNA 发生变异，变异是多种多样的，从中选取我们所希望的变异，并加以培育，使其稳定下来，成为一个新的品种。近代物理研究所利用重离子束流辐照春小麦种子，培育出高产、优质的陇辐二号春小麦新品种。通过重离子辐照，还培育出了甜高粱、当归、黄芪和青蒿等的新优良品种。

离子束流在核物理（包括核天体物理），粒子物理、化学、材料科学、生物科学等多种学科的科学研究中都有着广泛的应用。在地球上存在的稳定核素只有不到 300 种。单靠对这些核素的研究，不可能深入地了解原子核的性质及其变化规律。为此核物理学家利用离子束流轰击不同的原子核，得到了 3000 多种新的原子核，不仅使元素周期表上的元素从原有的 92 号扩展到了 118 号，同时，也大大扩展了原子核的研究范围，使人们对原子核的性质，及其变化规律有了深入地了解，大大促进了核物理的发展，也为核技术的应用提供了更多的支持。

### **辐射的危害**

事物的两面性：有利——有害

核辐射给我们带来了巨大的利益。但是，事物都有两面性，核辐射也一样，它的剂量达到足够大时，也会有很强的破坏作用。当大量的射线进入物体后，会引起物体内分子或



原子振动和电离，改变分子或者晶格结构。比如，粒子恰好穿过细胞中的 DNA，就会使细胞 DNA 遭到严重破坏，造成 DNA 的单链或（和）双链断裂。当然，DNA 会启动修复程序，但是，不能修复时，细胞就会死亡，修复错了，就会形成新的变异。短时间内辐射剂量过大，就会使物体内的分子结构几乎全部打乱，物体就面目全非。

所以，核辐射能够造成伤害，都是大剂量照射后的结果。福岛核电站的反应堆被破坏后，大量核辐射外泄，不仅大面积地散落在当地的地表面，也留在了用来冷却的废水中。如果人们大量地吸入肺中或吃进胃里，沉积下来，从而长期地照射内脏，就会引起很多疾病，包括癌症。

一般情况下，少量的核辐射不会发生伤害。实际上，我们周围就有核辐射。比如房间窗户上的玻璃中含有钾-40 这种原子核，它会不断地放出伽马射线，只不过量很少，不会对我们造成伤害。

辐射无处不在，大地江河，山水草木，乃至人体本身，都或多或少地存在核辐射。会不会对人体造成伤害，剂量的大小是关键。在安全的剂量和照射时间内，核辐射不会对人体造成伤害。

### **辐射是可以防护的！**

用一张很薄的纸就可以挡住能量比较低的 $\alpha$ 射线，如果能量再高一些，用厚一点的纸就可以了。对于伽马射线，我们可以用水泥来挡。用轻质材料，如石蜡，聚乙烯等可以阻

挡中子。我们做核物理实验时，虽然核辐射很强，但是，对它进行了很好地防护，而且，也明确规定了实验人员在强辐射区域的工作时间，所以，不会受到核辐射伤害。

国家颁布了辐射安全管理条例和规章制度，只要严格按照国家颁布的相关规章制度办事，就不会发生核辐射伤害事故。

### **核放射性是一把双刃剑！**

它可以给人类带来利益，也可以给人类带来灾难！关键在于如何掌握和利用！

正确认识核放射性——掌握必要的有关原子核及核放射性的知识；

正确使用放射性物质——掌握核放射性的防护措施；

不断研究和发展新的更有效的利用方法和途径；

不断研究和发展新的更有效的安全措施；

通过这些措施，可以使核辐射给人类带来的利益最大化！

（注：本文是根据靳根明研究员在甘肃《丝路大讲堂》节目中报告的《科学认识核辐射》整理而成。节目在甘肃省广播电视总台（视听甘肃）播出，首播时间为2021年12月31日。观看链接为：

<https://dazzle.gstv.com.cn/pages/details/details.html?companyId=DF035C168A424E5C&productId=063DD3A8567E4FEC8B11E66128D24764&docid=FB2478510AA24E77B806019647A18B4D&isNew=yes&downloadTips=true>