

- [37] van. Turnhout, J., *Polymer J.* 2 (1971), 173—191.
- [38] Gross, B., *J. Electrochem. Soc.* 115 (1968), 376.
- [39] Asano, Yoshihiro. et al., *Japan. J. Appl. Phys.*, 11 (1972), 1139.
- [40] MURAYAMA, Naohiko. et al., *J. Polymes. Sci., Polymer Physics Ed.*, 13 (1975), 1033—47.
- [41] Perlman, M. M. et al., *J. Electrochem. Soc.*, 115 (1968), 45.
- [42] Khanna, S. L. *J. Chem. Phys.*, 46 (1967), 4989.
- [43] Sessler, G. M. et al., *J. Appl. Phys.*, 43 (1972), 922.
- [44] 高松俊昭, «高分子», 273 (1974), 832.
- [45] Carlsson, D. et al., *Can. J. Chem.*, 48 (1970), 2397.
- [46] Ikezaki, K. et al., *J. Electrochem. Soc.*, 122 (1975), 1356.
- [47] Sessler, G. M. et al., *J. Electrochem. Soc.*, 115 (1968), 836.
- [48] Sessler, G. M. et al., *J. Acoust. Soc. Am.* 53 (1973), 1589.
- [49] McDowell, C. B. et al., *Proc. 1971 IEEE Fall Electronics conf.*, 77—102.
- [50] Губкин, А. И. и др., *Приб. тех. экс.*, 3 (1968), 124.
- [51] Kreuzer, L. B. et al., *Science*, 177 (1972), 347.
- [52] Lienard, P. A., *Proc. Seventh Int. Congr. Acoust.*, Budapest, (1971), paper 19 Gr.
- [53] Legros, D. et al., *J. Acoust. Soc. Am.*, 53 (1973), 1662.
- [54] Nigam, A. K. et al., *Appl. Phys. Lett.*, 21 (1972), 229.
- [55] Richardson, D. E. et al., *IEE Trans. Audio*, 10 (1962), 95.
- [56] Seiwatz, H. et al., *IEEE Trans. Audio*, 12 (1964), 63.
- [57] Jefimenko, J., *Am. J. Phys.*, 39 (1971), 776.
- [58] Lainé, D. C. et al., *J. Phys.* D4 (1971), 444.
- [59] Fabel, G. W. et al., *Phys. Status. Solidi*, A6 (1971), 535.

中子弹是怎么回事？

黄祖洽

一、假缓和、真备战的产物

七月初以来，美国报刊纷纷报道了有关美国正准备在欧洲部署中子弹，供北约组织的战术导弹或大炮之用的消息。七月十三日，美国参议院通过授权美国总统卡特着手生产中子弹。中子弹的部署，说明以美帝为首的北大西洋公约组织，在苏修咄咄逼人的军事压力前面，想用这种新型的核武器来抵消苏修在常规军事力量和一般核武装力量在欧洲方面所占的优势。这是当前苏美两霸假缓和、真备战，疯狂地迅速扩充和加强战争力量，企图争霸全球的又一具体表现。什么“缓和”，什么“裁军”，什么“限制战略武器”，什么“防止热核战争”，统统都不过是两霸互相欺骗和麻痹世界人民的鬼话！事实上，所谓“欧安会”开后一年来，苏美两霸扩军备战的步伐日益加剧，他们在全球（特别是在欧洲）的军事力量有增无已，所部署的各种武器花样翻新。“欧安会”实际上就是“欧危会”，这一真理已经越来越为人们所认识了。

中子弹是怎么回事？是不是一种前所未有的“神秘武器”呢？它和普通的核弹（包括原子弹和氢弹）有什么关系？又有什么不同呢？从具体技术设计和制造方面说，中子弹目前的确还被美帝看成一种绝密的

军事武器，并且被当成和苏修争霸的一张王牌。但是，从一般原理上看，中子弹也并没有什么“神秘”之处：它不过是一种经过特殊设计，减弱了它爆炸时的冲击波和热辐射的破坏作用，加强了有高度贯穿能力的中子辐射的杀伤作用的核弹。因此，中子弹有时又被称为“强辐射武器”。很久以来，人们就不时谈到中子弹，事实上，据报道，美国的洛斯阿拉莫斯实验所和加利福尼亚州利弗莫尔实验所远在二十年前就已经开始进行有关中子弹的设计研究了。这两个实验所是美国核武器的研究设计机构。

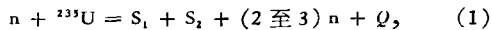
二、从核弹的基本物理过程讲起

大家知道，一般核武器的破坏作用是由于大量核能在极短时间（约 10^{-7} 秒）内释放出来引起的。不同核弹爆炸时放出的能量相当于从千吨级到千万吨级TNT炸药爆炸时释放的能量¹⁾。释放核能的基本物理过程，对于原子弹来说，是中子在（达到了超临界状态的）可

1) 一千吨TNT炸药爆炸时释放的能量大约相当于 10^{12} 卡的热量，或 4.2×10^{13} 尔格的能量，或56克铀-235全部裂变所释放的能量，或5克氘和7.5克氚全部聚变所释放的能量。

裂变物质(如铀-235、钚-239等)中所引起的快速裂变链式反应;而对于氢弹来说,则是氘(^2H)、氚(^3H)等热核材料在原子爆炸所提供的高温作用下以极快速率进行的聚变反应(也叫热核反应)。以下稍微讨论一下释放核能的这两个基本物理过程。

中子在引起可裂变物质(例如说,铀-235)的原子核裂变时,伴随着裂变能量的释放,还放出更多的中子。用反应式写出如下:



式中 S_1 及 S_2 是铀核裂变后产生的两个碎片; $Q \cong 200$ 兆电子伏,是每次裂变反应中释放的能量(1兆电子伏 $= 1.6 \times 10^{-6}$ 尔格)。从(1)式可见,裂变反应中产生的中子比用去的中子更多,每次裂变多出1至2个。因此,产生的中子可以进一步引起更多的可裂变物质裂变。如此继续下去,就可以导致一个“链式”的裂变反应。当然,形成链式反应有一个条件,就是:这次裂变反应产生的中子在引起下次裂变反应之前,不致于因为漏失或被非裂变物质吸收而损失过多。能够形成“发散”(即随时间越来越增加的)链式反应的状态就叫做超临界状态。

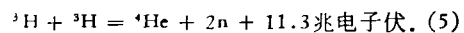
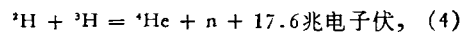
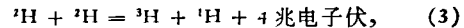
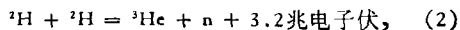
裂变时释放的能量主要表现为裂变碎片的动能,但也有相当部分表现为裂变时放出的 γ -射线(称作“瞬发 γ -射线”)、裂变中子带有的能量以及裂变碎片的内能。后者(碎片的内能)在隔了一定时间后才以 β -放射性和 γ -放射性的形式放出(称作“剩余核辐射”),所以在爆炸瞬间不起作用。各部分能量的具体分配大约如表1所示。表中的“裂变产物”指裂变碎片和由碎片经放射性蜕变后形成的产物(产物本身也还可以是具有放射性的)。

表1 裂变反应中所释放能量的分配
(能量单位:兆电子伏)

| | |
|-------------------------|---------------|
| 裂变碎片动能 | $\cong 165$ |
| 瞬发 γ -射线 | $\cong 7$ |
| 裂变中子 | $\cong 5$ |
| 裂变产物的 β -放射性 | $\cong 7$ |
| 裂变产物的 γ -放射性 | $\cong 6$ |
| 裂变产物 β -衰变时放出的中微子 | $\cong 10$ |
| 总放能 | $Q \cong 200$ |

由表1可见,在裂变瞬间放出(因而对核爆炸有贡献)的只有前三项能量,共约180兆电子伏,占总放能的90%;后三项能量的放出则有一定时间(决定于裂变产物的半衰期)的延迟。裂变碎片的动能在核弹中很快转化成热能,使弹体的温度达到几千万度(摄氏)以上,压力达到几十亿大气压以上,于是往外传出破坏力极大的爆轰冲击波和热辐射,使相当范围内的建筑物摧毁或引起火灾,造成人、畜的伤亡。

氢弹中,借助于原子爆炸所造成的高温,热核材料(氘、氚)的原子核间可以进行下列热核(聚变)反应:



可见,在这些热核反应中,除释放出核能外,也有中子放出(反应(3)虽不直接放出中子,但其生成的 ${}^3\text{H}$ 再和 ${}^2\text{H}$ 进行反应(4)就可以产生中子)。和裂变反应相比较,热核反应具有下列特点:

1. 没有临界大小的限制,因此热核材料的装量增减的可能范围较大,使氢弹的威力可以在很大的范围内变化(小到千吨级,大到千万吨级,这里指的都是TNT炸药当量,下同);

2. 单位质量热核材料释放的核能,对于反应(2),(3),(4),(5)来说分别是0.8,1.0,3.5,2.5兆电子伏/原子质量单位,而对于裂变反应(1)来说则是0.8兆电子伏/原子质量单位的裂变材料;可见,同样质量反应后释放的能量,热核反应[特别是有氘参与的反应(4)和(5)]大于裂变反应;

3. 每净放出1个中子的同时伴随着释放的能量,对于裂变反应(1)大约是100至200兆电子伏,而对于热核反应(2),(3)+(4),(4)及(5)分别是3.2,21.6,17.6及5.7兆电子伏;可见,释放同样大小的能量时,热核反应中放出的中子数要比裂变反应中放出的中子数约多几倍到几十倍;

4. 热核反应中不产生放射性核素,而裂变反应中则如上述产生大量具有 β -和 γ -放射性的裂变产物,形成剩余核辐射,从而产生放射性污染。

应当指出,在热核反应(2),(4)及(5)中,所释放的能量,大部分表现为中子的动能。在一般的氢弹中,这些高能中子常被利用来使铀-238进一步产生裂变,提高弹的威力。由于只能在(大于1.4兆电子伏的)高能中子作用下产生裂变的铀-238在天然铀中占99%以上,所以它的价格比需要从天然铀经过浓缩过程才能取得的铀-235要便宜得多。铀-238在一般氢弹中的大量应用,一方面用比较低廉的代价使氢弹的威力提高;另一方面也带来产生更多剩余核辐射的后果。铀-238采用的结果,使一般氢弹中来自裂变和聚变反应的能量各占一半左右。

核弹中,由裂变和(或)聚变反应产生的中子,一部分将泄漏出来,其余的则将被弹体中的各种原子核所俘获。被可裂变核吸收的中子可以释放出更多中子,同时也释放出 γ -射线。而在非裂变反应中被俘获的中子却只引起 γ -射线的辐射。所有产生的各种 γ -射线,和中子一样,除在弹体中被吸收的以外,一部分将漏失出来。这些在核弹爆炸过程中漏出弹体的中子和 γ -射线通常被称作核爆炸中的“早期核辐射”。早期核辐射中,中子和 γ 的相对比例,随核弹的类型而有所不同。

三、中子弹的一般原理

从上面对原子弹和氢弹中两种基本物理过程——链式裂变反应和高温聚变反应——的简略介绍，可以看出：裂变能中约有85%转化为爆轰冲击波和热辐射的形式，大约5%构成了在爆炸时放出，而在爆炸后不到一分钟就发射到杀伤距离的早期核辐射，最后10%左右则以剩余核辐射形式出现在爆炸烟云和沉降物中。对于一般氢弹来说，由于总能量中大约只有一半是由裂变产生的，所以剩余核辐射的能量约占总释放能量的5%。

早期核辐射具有很强的穿透力和对人体的杀伤作用。当全身受到这种辐射照射，剂量在500人体伦琴当量¹⁾以上时，被照射的人全部会在第一天内感到恶心和发生呕吐，大部分人需要医药治疗，其中有一半左右的人可能会在几个星期之内不治死去。如果剂量达到1000人体伦琴当量以上，被照射的人就会在四小时或更短的时间内生病，在二至三星期之内死亡。

不过，在一般核弹爆炸时，爆震波和热辐射造成伤害的距离要比因早期核辐射造成伤害的距离大得多。表2列出了在各种不同威力的空中爆炸情况下，早期核辐射对完全没有防护的人员足以造成100、500和1000伦姆剂量照射的实际距离。为比较起见，表中也列出了足以造成0.35公斤/厘米²超压的冲击波，以及足以对裸露皮肤造成二级烧伤的热辐射强度的距离。

表2 空爆时造成各种早期核辐射剂量的
(距爆心投影点的)距离

| | 爆 炸 当 量 | | | | |
|-------------------------------|---------|-----|------|------|------|
| | 1千吨 | 1万吨 | 10万吨 | 1百万吨 | 1千万吨 |
| 辐射剂量 | 距离 (公里) | | | | |
| 100伦姆 | 1.1 | 1.6 | 2.1 | 2.9 | 3.9 |
| 500伦姆 | 1.0 | 1.3 | 1.8 | 2.4 | 3.4 |
| 1000伦姆 | 0.8 | 1.1 | 1.6 | 2.3 | 3.2 |
| 其他效应 | | | | | |
| 超压为0.35 公斤/厘米 ² | 0.6 | 1.4 | 3.2 | 7 | 15 |
| 二级烧伤 | 0.8 | 2.4 | 6.4 | 18 | 35 |

从表2可见，当核弹爆炸威力超过1万吨时，冲击波和热辐射的伤害范围就大于早期核辐射的伤害范围；而且爆炸的威力越大，范围大得越多。与此相反，当爆炸威力只有1千吨时，早期核辐射引起致命剂量(500伦姆)的距离(~1公里)就大于冲击波和热辐射足以引起可观伤害的距离(0.6至0.8公里)。由此可见，即使对于一般的核弹，通过使爆炸当量减小的办法，就可以使爆轰冲击波和热辐射减小到为害范围只有早期核辐射杀伤范围的1/3—1/2。这就有些接近中子弹

了。但这还不是中子弹！要想进一步减小爆轰冲击波和热辐射的能量份额，增加中子辐射的破坏范围，可以采取下列几种措施：

1. 尽量增加弹中热核反应放能(特别是反应(2))的比重，使能通过较小能量的释放产生较多的中子。如前所述，在释放同样大小的能量时，热核反应中放出的中子数可以比裂变反应中放出的中子数多几倍(对于反应(3)+(4))到几十倍(对于反应(2))，因此这样作来提高中子数的潜力是相当大的。

2. 最容易进行的热核反应(4)中，所释放的能量17.6兆电子伏中，很快变成热能的只有³He所带的3.5兆电子伏，而其余大部分能量(14.1兆电子伏)则由中子带出。这高能中子如果不在弹体中被吸收或大大减速，所带能量就会继续保持为中子的动能而不转化为热能。这对减低爆炸力和增加中子穿透力是有很大的好处的。

3. 也可以设想，热核反应中产生的高能中子通过某些反应转化为更多的能量较低的中子而不释放或只释放很少热能。例如，通过在铍-9(Be⁹)中引起(n,2n)反应，一个高能中子就可以产生两个能量较低的中子，而只有很少一部分中子动能转化为热能((n,2n)反应本身是吸热反应)

4. 通过适当的结构设计，也可以减小力学能与热能形式爆炸能的释放而不减少中子辐射。

所以，中子弹究竟是怎么一回事？这个问题从一般原理上看来，并不是不可理解的，它只是一种经过特殊设计，减弱了它的爆炸力(估计应减到千吨以下)特别是更多地减弱了它以爆轰冲击波和热辐射形式表现出来的破坏作用，而相对突出了或加强了它所放出的中子辐射的核弹。估计中子弹中，热核反应的成分应当远超过裂变反应的成分。这样，它所产生的剩余核辐射应当远小于5%。

四、中子弹并不“干净”，也可以防御

中子弹虽然有使建筑物和坦克仍然屹立不倒而杀伤其中人员的能力，同时所造成的剩余核辐射也较一

1) 人体伦琴当量(或“生物伦琴当量”，简称“伦姆”)是辐射的生物剂量单位。某种辐射产生的伦姆数等于该辐射被吸收的量(用“拉德”数表出)乘以它的“相对生物效应”。这里“拉德”是辐射吸收剂量的单位，1拉德就表示每克吸收体吸收了100尔格的辐射能量。“相对生物效应”是表明不同辐射的同样吸收剂量可以产生不同生物效应的系数。对于γ-射线，一般将相对生物效应取为1。对于中子，相对生物效应依赖于中子的能量和所考虑的生物效应的种类。文献中报导的中子的相对生物效应对于热中子约为2.5，对于快中子约为10。但是也有许多学者认为，核武器中的中子对人类急性辐射损伤的相对生物效应应取为1.0。

般核弹小很多。但是,我们在这里也要指出,中子弹并不是什么“干净”的核武器,而且和所有的“新式武器”一样,中子弹的作用是有限的,也是可以防御的。

首先,中子弹的作用是有限的。当1千吨当量的通常核爆炸时,正如表2中数据所示,在距爆心一公里处,早期核辐射可以产生致死剂量(500伦姆)。假定中子弹放出的中子10倍于这样一个1千吨的普通核弹,它造成同样(500伦姆)剂量的半径有多大呢?对于核爆中释放出来,在空气中传播的中子,在距爆炸点 R 米处,每平方厘米面积上穿过的中子数可以用下面类型的式子表示:

$$N = \frac{C}{R^2} e^{-\frac{R}{100}} \text{ 个中子/厘米}^2, \quad (6)$$

式中 C 是一个比例常数,它和核弹所放出的中子总数成比例。根据(6)式,可以计算,当 C 增加为10倍时,造成同样剂量(和同样 N 值相应)的距离会从 $R = 1000$ 增大为 1000α ,这里 α 由下列超越方程决定:

$$10 = \alpha^2 e^{\frac{1000}{100}(\alpha-1)}. \quad (7)$$

这方程之解不难用作图法求出为 $\alpha = 1.33$,可见,造成同样致死剂量(500伦姆)的距离,中子弹不过比相应的通常核弹增加了三分之一。这说明中子弹的作用是

有限度的。

其次,中子弹是否如它的吹嘘者鼓吹的那样是十分“干净”的呢?诚然,如上所述,中子弹的剩余核辐射应当是较小的。但是也不能完全避免放射性沾污和沉降。而且,由于它放出的大量中子辐射,还会使土壤中的各种元素,特别是钠和锰因俘获中子而感生放射性。另外,空气中的氮也会因俘获中子,通过 (n, p) 反应而产生放射性的碳-14。土壤中的感生放射性可能在空中爆炸后,最初沉降尚未发生之前就在地面出现了,虽然这种感生放射性的衰减比沉降要快得多,但也使爆炸后某段时间要进入感生区的人员有遭受辐照的危险。而碳-14的半衰期长达5760年,更可以长期留存在自然界中起着放射性污染的作用。所以,中子弹也决不是什么“干净”的核武器。

最后,中子弹是可以防御的,对于一向以其“装甲师”和“坦克群”炫耀的苏修军事头目来说,中子弹确是一种很伤脑筋的武器,因为中子辐射很容易穿透二三十厘米厚的钢铁。但是,对于贯彻毛主席“深挖洞”方针的我国军民来说,中子弹也没有什么了不起。据估计,1米厚的泥土可以把中子辐射减小至其原有强度的3%(即约减小30倍)。所以,中子弹和通常核弹一样,也是可以通过深挖洞来进行防御和减小其损失的。

金 属 氢

徐济安 朱宰万

(中国科学院物理研究所)

一、引 言

自然界中,物质存在的形式是千变万化的。外界条件不同,物质的状态就不一样。例如,我们从不同的导电特性把物质分成绝缘体、半导体和导体。近代科学技术的发展,尤其是近代超高压技术的发展揭示出物质的导电特性不是一成不变的,一个绝缘体在足够大的压强下往往都可以变成半导体、导体。由于导电性是金属的特征,因此,我们常常把这种在压力下变成导体的现象叫做金属化。例如,良好的绝缘体——“塑料王”聚四氟乙烯的金属化压强是210—240千巴(1巴 $=10^6$ 达因/厘米 $^2=0.98692$ 大气压)。磷的金属化压强只是40—50千巴。而公认的半导体锗和硅,金属化压强分别是100千巴和125千巴。这些现象,证实了英国物理学家贝尔纳(J. B. Bernal)早在1925年提出的假设:任何材料在足够大的压强下就可以变成金属^[1]。

固体理论认为,金属的导电性是由于金属能带的满带和导带的交迭造成的。我们知道,每一个孤立原子都有它电子的能级(如图1中的1, 2)。在原子互靠近(即近邻原子间距离 r 减小)形成晶体时,能级就变成了能带,能带被电子占满的称为满带,没有电子的

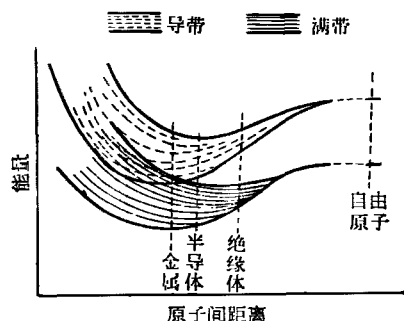


图1 原子间距离 r 与能量 E 的关系
能带是导带,在导带和满带之间由禁带分隔开,这时,