

Problem E

多少颗核弹能摧毁地球？

1945年8月6日，第二次世界大战接近尾声。为了尽快结束战争，美国在日本广岛投下了下一颗名为“小男孩”的原子弹。这样一颗原子弹在广岛造成20万人死亡，广岛所有的建筑物都倒塌了。这是人类历史上第一次将原子弹付诸实践，也让很多人第一次意识到原子弹的可怕威力。本思路由B站up: 全糖奶茶屋 提供。



Figure 1. 原子弹爆炸仿真图。

核武器是指与核反应有关的巨大杀伤性武器，包括氢弹、原子弹、中子弹等。核武器是人类有史以来开发的最强大的武器之一，它经常让人想起毁灭天地的场景。原子弹的瞬间爆炸温度可达几千万度。原子弹的爆炸当量约为数万吨至数十万吨TNT当量。一颗原子弹的爆炸及其辐射范围可以摧毁一座城市。

由于原子弹的可怕威力，许多国家希望用它来威慑其他国家，保护自己的国家不受外国入侵。第二次世界大战后，所有的世界各国开始疯狂地研究和制造原子弹，甚至制造出了“大伊凡”这样的毁灭性武器。

“大伊凡”是目前世界上已知威力最大的核弹，也就是苏联时期制造的“沙皇炸弹”。它不仅是世界上威力最大的核弹，也是最大的核弹。“沙皇炸弹”有多大？资料显示，其长度为8米，直径为2.1米，重量达27吨，设计TNT当量为5000万吨。苏联最初计划设计相当于1亿吨的当量，但由于破坏力太大，无法找到合适的试验场地，威力被减少了一半。即便如此，沙皇炸弹仍然是世界上最强大的核武器。“小男孩”的爆炸威力大约相当于14000吨TNT，把广岛夷为废墟，而“沙皇炸弹”的威力相当于几十个甚至几百

个“小男孩”。“沙皇炸弹”在苏联新地岛试验爆炸后，甚至远在美国的一些州也探测到5级左右的地震，导致欧亚大陆向南移动了9毫米。

许多人认为这些核武器可以摧毁地球几倍。事实真的如此吗？就人类发展的核武器威力而言，如果说它摧毁了地球，并不是说它能把地球炸成碎片，而是说它破坏了地球上人类和生物的生存环境。

APMCM组委会要求您的团队处理当前报告和未来核武器预测。他们提供了数据集2022_APMCM_E_Data.csv来帮助您进行研究。请收集相应的数据，建立数学模型并回答以下问题。

Requirements

1. 基础数据分析

第一问都是一些基础的数据分析问题，使用题目给出的数据稍加整理归纳即可得出结论。本思路由B站up：全糖奶茶屋提供。

附件

Data Source: Our World in Data <https://ourworldindata.org/nuclear-weapons>

E题给了4张表格数据，

第一张表是世界1938-2022年全球核武器扩散情况表，共有三栏，分别列出了考虑拥有核武器、正在追求核武器和已经拥有核武器的国家数量。

第二张表是10个主要拥核国家从1945到2022年的核武数量情况。

第三张表是8个主要拥核国家从1945到2019年的核试验次数。

第四张表是全球所有198个国家从1938到2022年对核武器的需求意愿情况（0-不考虑，1-考虑拥有核武器，2-正在研发核武器，3-已拥有）

a) 哪些国家曾经拥有过核武器？

这个问题只要分析题目给出的最后一张表，筛选出status曾经为3的国家即可，共10个国家（中、美、英、法、俄、印度、巴基斯坦、以色列、朝鲜、南非）（题目说是曾经拥有过，所以南非也要算进去）

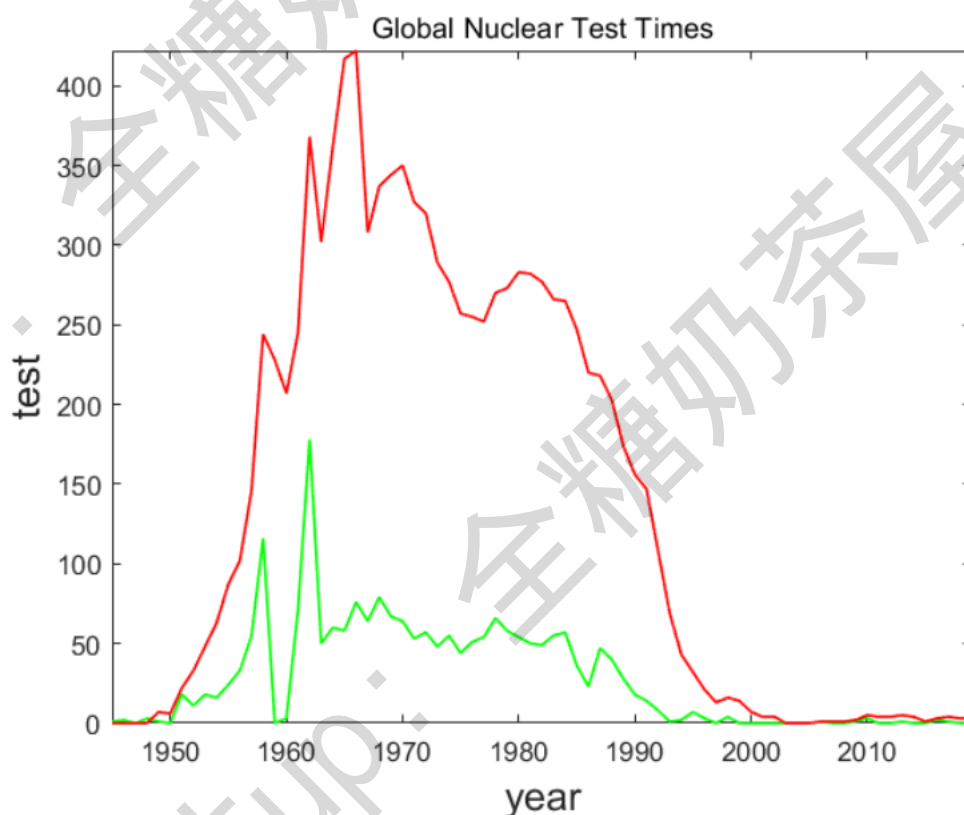
b) 在过去20年里，哪个国家的核武器储备减少或增加最多？

这个问题只要分析第二张表，比较各个拥核国家2002年到2022年核武器数量变化趋势即可。显然只要看美俄两个国家即可，其他的连零头都比不上。

美国核武数量从2002年的10457减少到2022年的3708个，共减少6749个，减少了64.5%，俄罗斯核武器数量从10114个减少到4477个，共减少5637个，减少了55.7%。显然无论从数量还是比率来说都是美国减少的最多。

c) 哪五年核武器试验次数最多？

这个问题只要分析第三张表，将所有国家的核试验按照年份累加，之后再按照5年累加排序，即可筛选出需求的年份时间段。本思路由B站up：全糖奶茶屋提供。



如图所示，绿色曲线为每年全球核试验次数，红色为之前5年累加次数，从图中可以看出在1962-1966这5年的核试验总次数达到422次，为所有年份最高。

d) 在过去10年里，哪个国家在核武器研究方面最活跃？

这个问题同样分析第三张表，将每个国家近10年核试验次数累加排序，即可得出结论。其中只有朝鲜在近10年做过4次核试验，其他国家近10年没有做过任何核试验，答案不言而喻。

e) 哪个国家从“不考虑核武器”到“拥有核武器”的转变最快？

这个问题分析最后一张表格，分别计算每个国家状态从0转为3的时间跨度即可得出结论。结论是拥核的10个国家中美国从1938年的不考虑核武器到1945年拥有核武器转变最快，历经7年。本思路由B站up：全糖奶茶屋 提供。

2. 预测核武器的数量

- a) 根据附上的数据或你收集的数据，建立一个预测核武器数量的数学模型，并预测未来100年拥有核武器的国家；
- b) 预测未来100年核武器数量的变化趋势，2123年核武器总数，以及每个国家的核武器数量。

这里虽然说的是核武器，就不能单独说核武器。单纯用核武器的数据去预测，对于已经拥有核武器的国家也许可以做到，但是对于还没有核武器的国家一定做不到。在现有的关于时间序列的数学模型分析中，当前面的数据均为0时，一般后面预测的结果都应该是0，这样对于数学理论才是可信的。但是这样的预测结果是不符合题目要求的。

那么，也就是说，不能单纯使用时间序列对自己进行预测，我们需要其他的额外数据进行操作。其中包括经济实力，工业基础等。此处，我们需要明确指出，在我们的数学模型建立过程中，必须排除政治因素对模型产生的影响。这里的预测类似于中国城市是否修建地铁。当某个国家的各方面到达一定程度了，那么就可能拥有核武器。在搜集各国家过往的经济实力和工业基础的数据之后，对各个国家未来的各方面数据进行预测，最后通过多元回归或者使用神经网络等方式判断是否会拥有核武器。当然，为了简化数据，我们可以只针对核武器国家，核门槛国家进行数据的搜集，其他拥有核武器可能性比较低的国家可以进行一定程度的假设忽略。（不存在由于全国性的突发事件，导致某个国家在短时间内快速崛起，并使经济实力，工业基础等快速提升较大水平。）

实际上，我们在模型的建立以及改进与推广中，可能需要提到更多事情。在1996年9月10日在联合国大会通过《全面禁止核试验条约》，宗旨为全面禁止核武器试验爆炸及其他任何核爆炸，有效促进全面防止核武器扩散及核裁军进程，从而增进国际和平与安全。在签署条约之后，缔约国承诺不进行、导致、鼓励或以任何方式参与进行任何核武器试验爆炸或任何其他核爆炸，并承诺在其管辖或控制下的任何地方禁止和防止任何此种核爆炸。所以，在1996年之后，只有少数几个国家还进行过核武器的测试，一定程度上，这使得核武器的研发要困难很多。

《条约》在其所列的44个有核能力国家全部交存批准书后第180天起生效。44国是美、俄、英、法、中五个核国家及印度、巴基斯坦、以色列等“核门槛”国家和其他有核能力的国家。

所以，你可以考虑1996年以前的数据对现在的预测时没有效果的，因为研发的难度不在一个等级。在建立训练集或者其他样本集时，将1996年之前的数据排除在外。但是，你也可以考虑，对于一些国家并不遵守该条约，或者不为缔约国，因此，可能会造成新的问题。本思路由B站up：全糖奶茶屋提供。

Country	Abbreviation	Year	Tests
India	IND	1998	2
North Korea	PRK	2006	1
North Korea	PRK	2009	1
North Korea	PRK	2010	3
North Korea	PRK	2013	1
North Korea	PRK	2016	2
North Korea	PRK	2017	1
Pakistan	PAK	1998	2

3. 保护我们的地球

- 建立核武器起爆位置的数学模型，计算至少需要多少枚核弹才能毁灭地球？
- 根据数学模型，核弹目前拥有的最大破坏力是多少？足以毁灭地球吗？
- 为了保护地球和我们赖以生存的环境，世界上的核弹总数应该限制在什么范围内，理论上已经拥有核武器的国家应该限制在什么范围内？

地球是一颗岩石行星，由尘埃在引力作用下聚集而成。让地球失去生机，将地球表面夷为平地，并不算真正的毁灭地球。要想毁灭地球，至少得把地球炸得四分五裂，并且这些碎片在短时间内不会因引力而再度汇聚成团，这样才能算得上毁灭地球。

我们假设，炸毁地球需要克服引力结合能

物质都是靠吸引力结合在一起的。当一个物体由两个及以上部分组成时，它们之间靠吸引力结合在一起，要想使各部分分开，就必须要做功。当物体各部分间结合的比较紧密时，克服吸引力所做的功就越大。而同一物体不同部分结合在一起的能，便是结合能。

原子核中的质子和中子是在强核力的作用下结合在一起的，这儿的结合能被称之为原子核结合能。类似的，整个地球是物质在引力的作用下结合在一起的，被称之为引力结合能。要想炸毁地球，所需要的能量至少要大于引力结合能。

地球还是比较圆的，我们把地球看作一个球体，那么地球的引力结合能可以用下面的公式来进行计算。本思路由B站up：全糖奶茶屋 提供。

$$U = \frac{(3/5)GM^2}{r}$$

G代表重力常数，M是这个球体的质量，r是球体半径。

其中，重力常数（万有引力常数）为 6.67×10^{-11} 牛·米²/（千克²），地球的质量为 5.97×10^{24} 千克，地球的平均半径为6371千米。计算可知，地球的引力结合能为 2.24×10^{32} 焦。

毁灭地球所需要的能量相当于多少枚核弹？

前苏联在1961年进行的氢弹爆炸实验所使用的核武器是人类历史上爆炸当量最大的核武器，其大约相当于5000多万吨TNT（三硝基甲苯，又叫做黄色炸药）炸药爆炸所产生的威力。这枚被称为“沙皇炸弹”的氢弹，其威力是二战期间在日本广岛爆炸的代号为“小男孩”的原子弹的3800多倍，相当于二战期间人类使用炸弹总量的10倍。沙皇氢弹爆炸时产生的蘑菇云高达6万多米，宽约4万米。

一吨TNT炸药爆炸时所释放的能量大约为 4.18×10^9 焦。以广岛原子弹为例，它的爆炸当量相当于1.3万吨TNT炸药，那么爆炸时所释放的能量大约为 5.43×10^{13} 焦。

地球的引力结合能为 2.24×10^{32} 焦，广岛原子弹爆炸所释放的能量为 5.43×10^{13} 焦，那么炸毁地球大约需要 4.13×10^{18} 枚广岛原子弹，也就是需要1000万亿枚沙皇炸弹。并且要在地心处引爆，方能发挥最大的效果，才能保证完全摧毁地球。

为了方便理解，我们把它换算成核弹的总质量。以沙皇氢弹为例，其总质量为27吨，那1000万亿枚沙皇氢弹的总质量为2.7万万亿吨，不到地球总质量的百万分之一。沙皇氢弹的当量-重量比约200万吨TNT每吨，在一定范围内，通过提高当量-重量比，可以使这批核弹的总质量进一步降低。

以人类现阶段的科技水平，毁灭地球完全不可能

目前全世界有大约1.5万枚核弹头，其中大部分是原子弹，原子弹的当量一般只有几吨，氢弹的当量一般在百万吨级别。我们以50万吨TNT爆炸当量来计算，目前全世界的核弹头全部爆炸，产生的能量大约为 3.14×10^{19} 焦，而摧毁地球所需要的最低能量是该能量的7万亿倍。

在大自然的力量面前，人类的核武器显得微不足道，随便一场地震、火山喷发、海啸、台风、陨石撞击的威力都是原子弹的很多倍。地球上每天都会发生大大小小的地震，以2008年的汶川8.0级地震为例，据估计，该次地震所释放的能量相当于上千颗广岛原子弹爆炸所释放的总能量。

6500万年前，来自地外的一颗直径10公里的小行星撞上地球，导致当时地球上的生物大灭绝，撞击坑的平均直径大约180公里，撞击坑位于今天的墨西哥尤卡坦半岛，爆炸所释放的能量高达100万亿吨TNT，相当于目前全球核武器总当量的1.3万倍。

回顾一下，以沙皇炸弹为例，彻底毁灭地球至少需要1000万亿枚这样的炸弹。以人类的科技水平，完全制造不出数量如此庞大的氢弹，地球上的资源估计也不够用。别说毁灭地球，连月球都摧毁不了。

最严重的是使得地球失去行星特征，使得地球失去绝大多数质量，分解为类似小行星带那样的碎片，这种理论上需要有相当于其他行星撞击产生的冲击波，依靠核武器的话需要炸穿地壳。可以建立模型预测炸穿地壳需要的炸药当量，并以此预测需要的核武器数量。还有方法就是通过剧烈爆炸改变地球的运行轨道，使其逐渐偏离原先轨道从而被其他星球的引力扯碎。

这部分可以通过模型预估改变轨道需要的能量，如先计算地球的质量以及绕太阳轨道的动量，建立简单二维天体运动模型，预估若改变轨道需要与多大质量与动量的天体相撞，然后折算对应能量需要的核武器数量。

当然如果摧毁地球不太现实，也可以退而求其次考虑摧毁大陆，比如计算将五大洲大陆全部覆盖核污染需要多少核弹，或者摧毁所有主要城市所需的核弹数量，这可以根据城市位置与人口密度用聚类等模型估算所需核弹数量和位置等

4. Prepare a non-technical article (1 page maximum). 请写一个向联合国提交的一篇非技术的文章(最多一页)，解释你的团队的发现，并为所有国家提出一些建议。