The Statue of Liberty stands prominently in the center of the image, holding a torch aloft in her right hand and a tablet in her left. She is set against a clear blue sky with scattered white clouds. The base of the statue is a multi-tiered stone structure, and the surrounding area is filled with lush green trees.

美国的历史不长，但是从历史的渊源看，它也不是一个年轻的国家，它与欧洲民族文化是有联系的国家。美国从未经历过具有王朝和教派的暴力、严格的阶级结构以及全权的教会这样的年轻时代。它从一出生就一下子到了成年，所谓成年就是具有许多现代化的标志。十七世纪和十八世纪的欧洲思想和生活方式早在美国繁荣和延续下来了，随着时间的流逝，这些方式变得美国化了。从殖民地的历史根源中产生了一种不同的思想风格，是尊重人民而不是崇拜国王、贵族和绅士。

Nathan Geingold



北京大學
PEKING UNIVERSITY

中国科学技术大学讲座. 2021年11月16日

战后美国大科学崛起的基础

周程





北京大學
PEKING UNIVERSITY



- 北京大学哲学系教授、博士生导师
- 北京大学医学人文学院院长
- 中国科协-北京大学科学文化研究院副院长
- 国务院学位委员会科学技术史学科评议组成员

• 研究领域：科学社会史、科学技术与社会、创新管理与科技政策

- 研究室电话：010-62750536
- Email：zhoucheng@pku.edu.cn





主要内容

引言：战后美国诺奖数遥遥领先

一、19世纪的大学变革与科技发展

二、二战前科技实力跃居全球第一

三、二战期间大科学的兴起

结语：战后美国大科学全面崛起

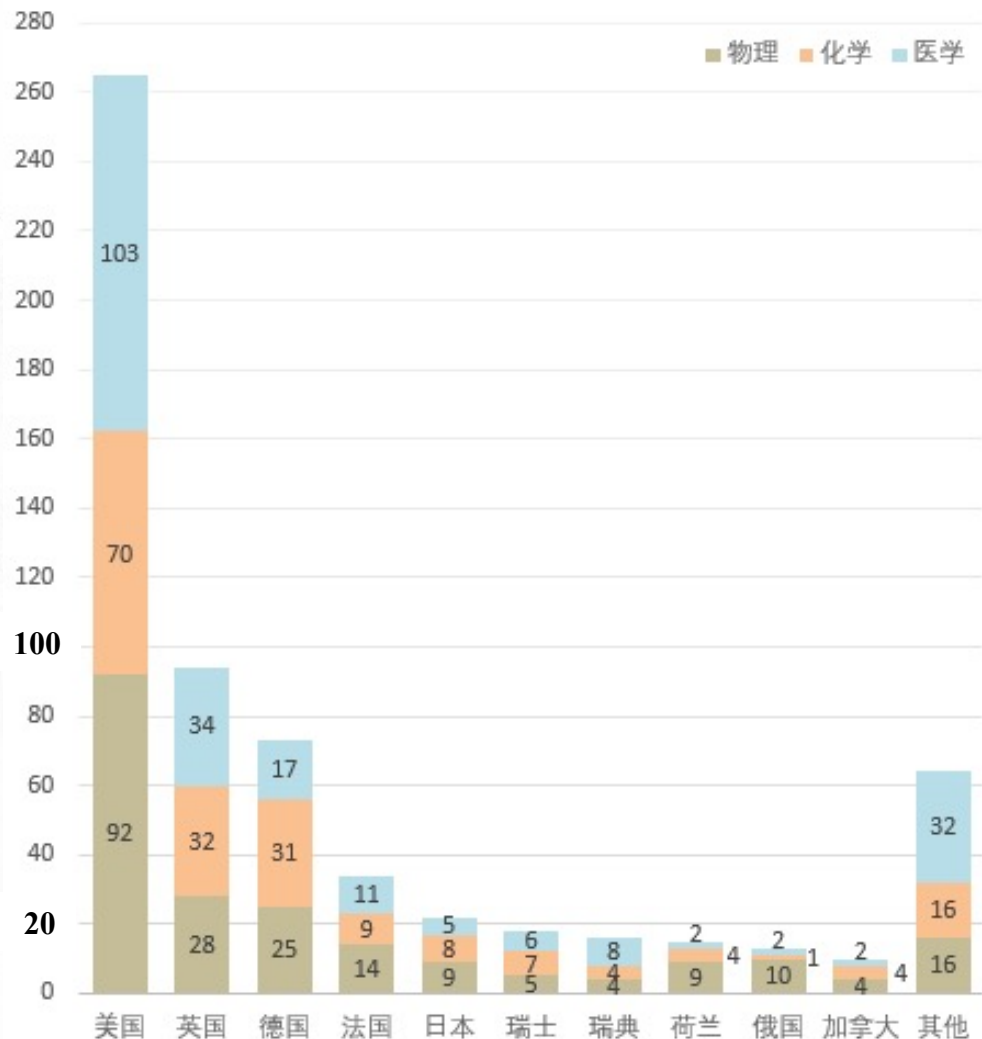


引言：战后美国诺奖数遥遥领先





主要国家诺贝尔科学奖获奖情况



- 至2021年，共有628人、631人次荣获诺贝尔科学奖，其中物理学奖219人次，化学奖188人次，生理学或医学奖224人次。
- 获奖数超过100的只有一个国家，那就是美国。美国共有269人次获奖，占比超过4成。
- 获奖数不足100但超过20的国家有：英国（94）、德国（73）、法国（34）、日本（22）。

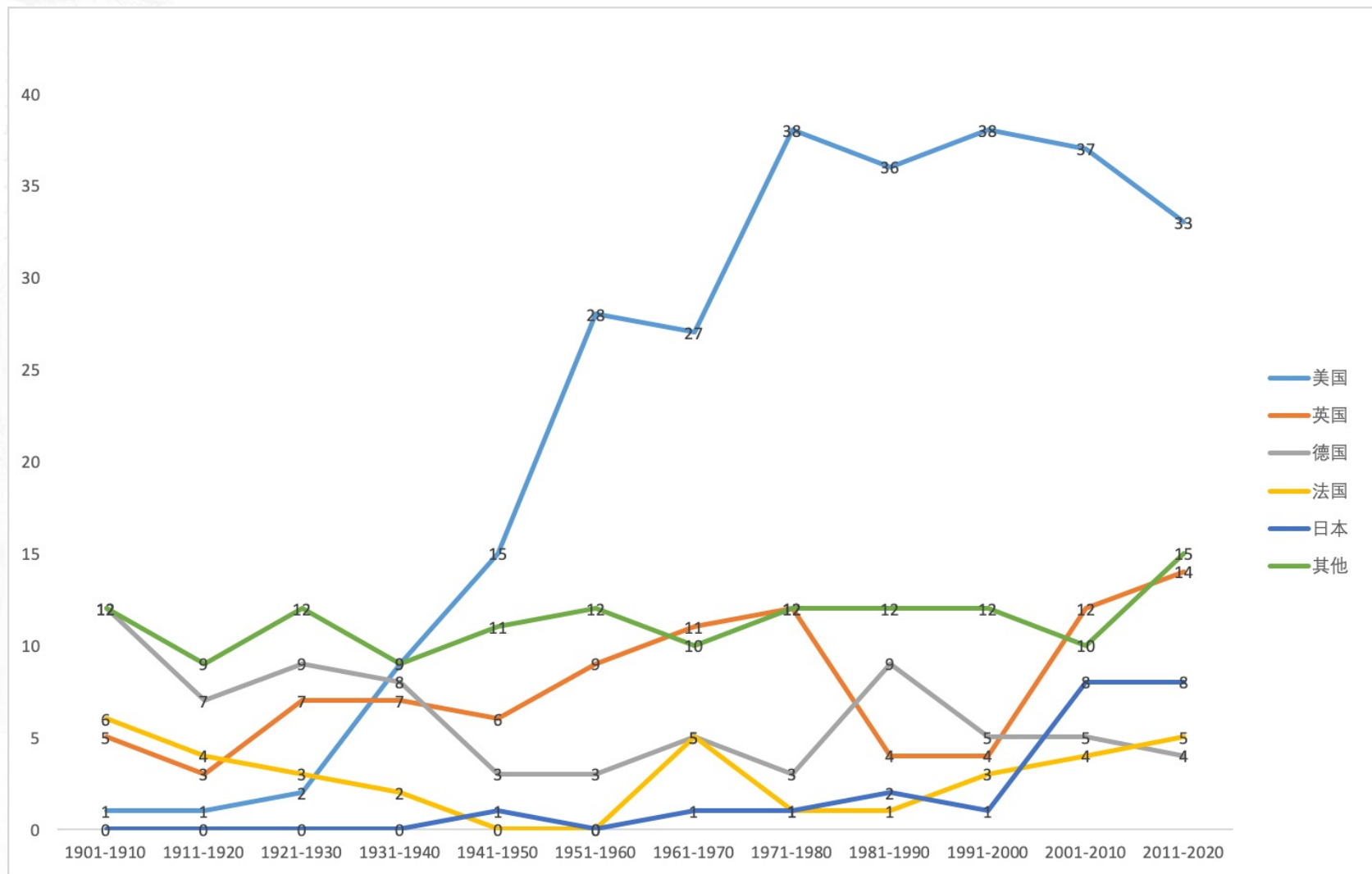


前10国家获奖数年代分布情况

	美国	英国	德国	法国	日本	瑞士	瑞典	荷兰	俄国	加拿大	其他	合计
1901-1910	1	5	12	6	0	1	1	4	2	0	4	36
1911-1920	1	3	7	4	0	2	2	1	0	0	4	24
1921-1930	2	7	9	3	0	0	2	2	0	2	6	33
1931-1940	9	7	8	2	0	2	0	1	0	0	6	35
1941-1950	15	6	3	0	1	3	1	0	0	0	7	36
1951-1960	28	9	3	0	0	0	1	1	4	0	6	52
1961-1970	27	11	5	5	1	0	3	0	3	0	4	59
1971-1980	38	12	3	1	1	2	0	0	1	1	8	67
1981-1990	36	4	9	1	2	2	4	1	0	3	2	64
1991-2000	38	4	5	3	1	2	1	3	1	2	3	63
2001-2010	37	12	5	4	8	1	0	1	2	0	6	76
2011-2020	33	14	4	5	8	3	1	1	0	2	8	79
合计	265	94	73	34	22	18	16	15	13	10	64	624



主要国家获奖数随年代变动情况





美国诺贝尔科学奖授奖概况

- 在1931-1940年间，美国的诺贝尔科学奖获奖人数快速攀升至9人，同期德国的获奖人数只有8人，英国的获奖人数只有7人。尽管美国只比德国多1人，但这却是历史性的超越。
- 二战爆发之后，美国的诺贝尔科学奖获奖人数一直遥遥领先于其他国家。
- 深入考察后会发现，美国著名大学中的诺贝尔科学奖获奖人数表现尤为突出。有统计表明，美国拥有诺贝尔科学奖获得者（包括毕业生及职员）超过20人的大学就有19所。
- 毋庸置疑，美国有那么多人获颁诺贝尔科学奖，和德国一样受到了高教改革和产业发展的深刻影响。



一、19世纪的大学变革与科技发展





横渡大西洋道阻且长

- 1776年7月4日，费城自由钟敲响，美利坚合众国独立。
- 17、18世纪，往返欧洲与美洲之间都只能乘坐帆船。
- 帆船航行深受洋流和风向的影响，船型和季节不同，越洋的时间长短也不同。
- 当时，乘坐帆船横渡大西洋，完成从旧世界到新世界的航行，通常需要5-8周时间，五月花号甚至花了66天的时间。
- 虽然途中非常艰辛，但还是有一批冒险家克服重重困难来到了北美。
- 不过，在北美安定下来之后，很少有人愿意让儿孙像自己当年一样漂洋过海。





早期创建的私立学院

- 由于将子女从北美送回欧洲接受教育非常不便，所以一些有识之士在北美大地上陆续建起了一批私立学院。
- 在殖民地时期建立的学院主要有：
- 哈佛学院（1636年）、威廉·玛丽学院（1693年）、耶鲁学院（1701年）、新泽西学院（普林斯顿大学前身、1746年）、国王学院（哥伦比亚大学前身、1754年）、费城学院（宾夕法尼亚大学前身、1755年）、罗德岛学院（布朗大学前身、1764年）、皇后学院（罗格斯大学前身、1766）、达特茅斯学院（1769年）。



哈佛学院



私立学院盛行英式教育

- 殖民地时期建立的这些学院都是模仿英国的牛津大学和剑桥大学建立起来的，因此和这两所教会大学一样，**十分重视素养教育**，旨在培养具有绅士风度的人才。
- 即便当时牛顿已经在英国走红，皇家学会名声日隆，但在这些学院中，**科学教育仍然没有获得应有的位置**，至于工程技术教育更是登不上大雅之堂。

牛津大学



耶鲁大学





私立学院科学教育起步晚

- 实际上，哈佛1847年才开设劳伦斯理学院，耶鲁1854年才开设谢菲尔德理学院。
- 这些科学学院之所以能够成立，很大程度上是因为它们独辟蹊径，绕开了大学主流教学计划的羁绊。
- 耶鲁大学最早在美国开设博士课程，但它直至南北战争爆发后的1861年才开始颁发第一个博士学位。因此，**耶鲁大学被公认为美国首个颁发博士学位的大学。**
- 在私立学院基础上发展起来的美国**众多私立大学对美国的科学贡献，直至19世纪中期都乏善可陈，**可谓明显落后于德国的大学。



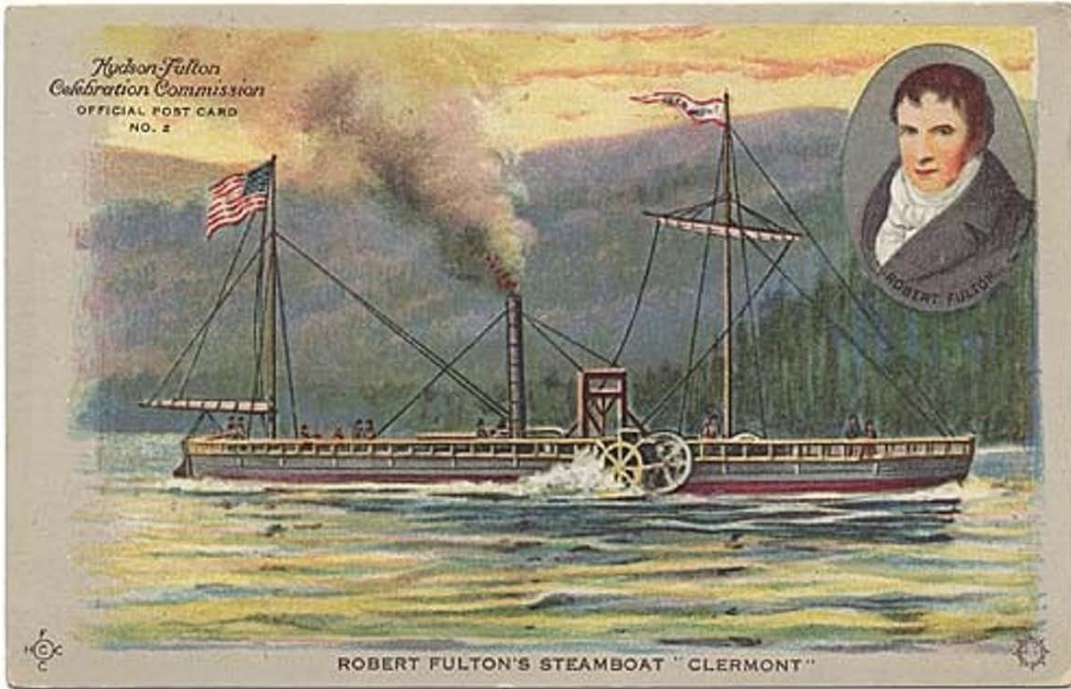
施普兹海姆 (J. G. Spurzheim)
在波士介绍顿颅相学



接受颅相评估的少年
(Frank Dadd 1886年绘制)



蒸汽机明轮船的诞生



富尔顿设计的蒸汽机明轮船“克莱蒙特”号

- 尽管美国独立正好赶上第一次工业革命浪潮，但美国人口在1820年前一直增长缓慢。
 - 例如1790年总人口为390万，1800年增至530万，1810年增至720万，1820年进一步增至960万。在这40年里，每10年增长的人口很少达到200万。
- 主要原因是，交通不便，很少有移民来美国。
- 虽然蒸汽机明轮船已于19世纪初问世，但它不太适合横渡浪高风急的大西洋。
 - 英国人西明顿曾于1802年用甲板上的蒸汽机驱动**船尾**的明轮使一艘木船在运河中航行了一段距离。
 - 受其启发，美国人富尔顿设计了一种将明轮安装在木船**两弦**的蒸汽机明轮船，按照这一设计建造的“克莱蒙特”号1807年从纽约出发沿着哈德逊河成功逆行至240公里外的奥尔巴尼港。这被公认为是世界上**第一艘蒸汽机明轮船**。



大西方号明轮船投入运营

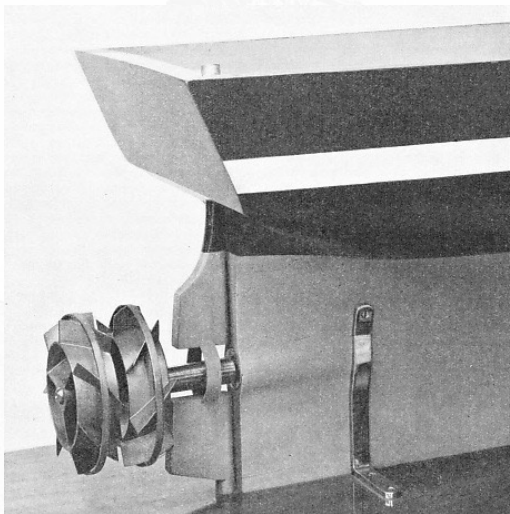


1837年下水的“大西方”号蒸汽机轮船

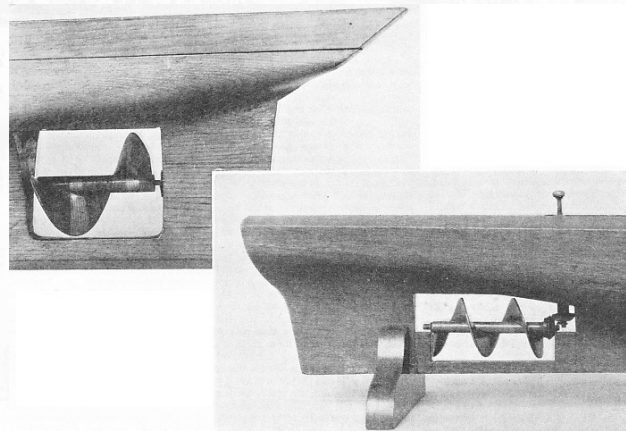
- 克莱蒙特号诞生还不到5年，欧美就建造了约50艘蒸汽机明轮船，并将这些明轮船优先用于在固定航线上运送人员和货物。
- 19世纪早期，使用全帆船横渡大西洋，“上坡”西行一般需要5-6周，“下坡”东行一般需要4-5周；使用装有风帆的明轮船横渡大西洋时，通常也比全帆船快1周左右，因为只有不长的一段航路适合用明轮推进。
- 1837年7月，第一艘专为横渡大西洋而建造的蒸汽机明轮船下水。它是由技术天才布鲁内尔为大西方铁道公司设计的一艘班船。排水量达1300吨，当时雄居全球第一。
- 即便是大西方号，由英国的布里斯托前往纽约曼哈顿，也需要花费2周以上的时间。



螺旋桨推进技术的改进



埃里克森螺旋桨

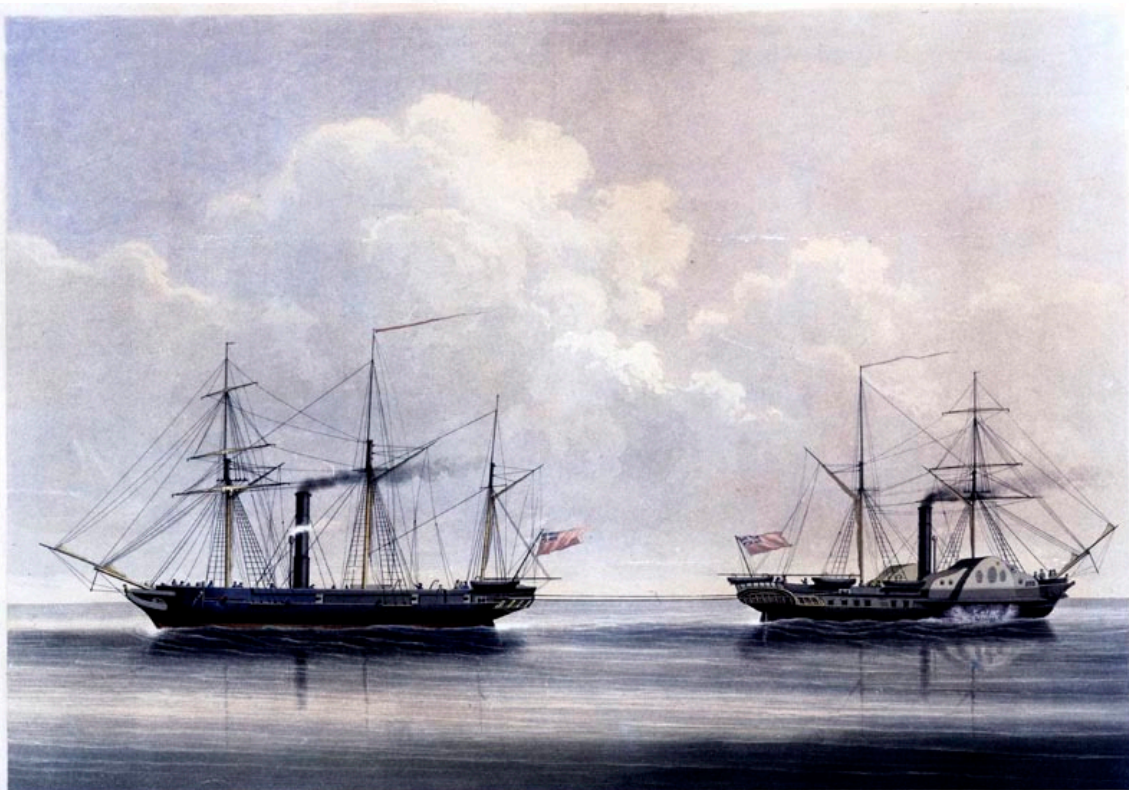


史密斯螺旋桨

- 为克服蒸汽机明轮船推进效率低、操控性能差等缺陷，很多人尝试着对其推进技术进行了改进。其中，英国的史密斯与瑞典的埃里克森各自独立研制的螺旋桨受到了广泛关注。
- 史密斯和埃里克森都是于1936年在英国取得螺旋桨专利的，而且都建造了小型螺旋桨船，并于1937年在英国进行了试验，此后又都建造了上百吨的大型螺旋桨船，并于1939年在英国进行了试航。两个人发明的螺旋桨，都于1840年引入商船，又都于1843年引入战舰。
- 埃里克森的螺旋桨由装在同一根轴上的两个滚筒组成，每个滚筒上面都装有多枚螺旋叶片，不过倾斜方向相反，而且旋转方向相反。
- 史密斯1936年研制的螺旋桨很像阿基米德螺旋，在试航时木制的两螺距螺旋桨折断掉半截后，船反而跑得更快，故他后来把两螺距改成了一螺距，最后又进一步改成了叶片。



螺旋桨与明轮的角逐



H.M. STEAM SLOOP "RATTLER" AND "ALECTO" TOWING STERN TO STERN.

For the purpose of testing the relative powers of the Screw Propeller and the Paddle Wheel.

"RATTLER" HAS THREE 100 HORSE POWER STEAM ENGINES AND "ALECTO" HAS TWO 100 HORSE POWER STEAM ENGINES.

"RATTLER" HAS THREE 100 HORSE POWER STEAM ENGINES AND "ALECTO" HAS TWO 100 HORSE POWER STEAM ENGINES.

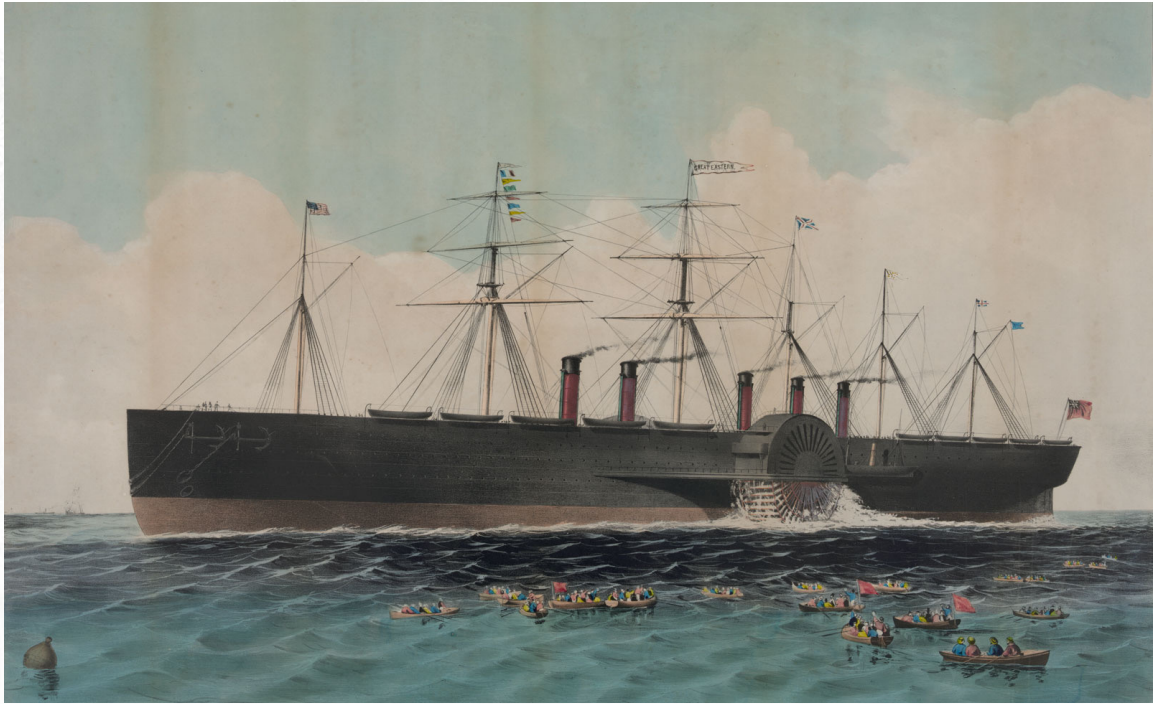
"RATTLER" HAS THREE 100 HORSE POWER STEAM ENGINES AND "ALECTO" HAS TWO 100 HORSE POWER STEAM ENGINES.

This Trial was made in the North Sea during a perfect calm on the 17th April 1845, on which occasion the "Rattler" beat the "Alecto" at a distance of 1000 fathoms, and both vessels, working their full power in opposite directions.

- 在螺旋桨实用化之初，很多人怀疑螺旋桨的推进效率会超过明轮。
- **1845年**，对技术创新非常敏感的英国皇家海军让螺旋桨船“响尾蛇”号（HMS Rattler）和明轮船“阿莱克托”号（HMS Alecto）来了一次实力大比拼。
- 这两艘船的吨位和蒸汽机动力都非常接近。
- 双方用缆绳连结起来**在海上“拔河”的结果是**，螺旋桨船将明轮船以2.5节的航速拖着逆行。
- **双方赛跑的结果也是螺旋桨船胜出。**



螺旋桨船取代明轮船



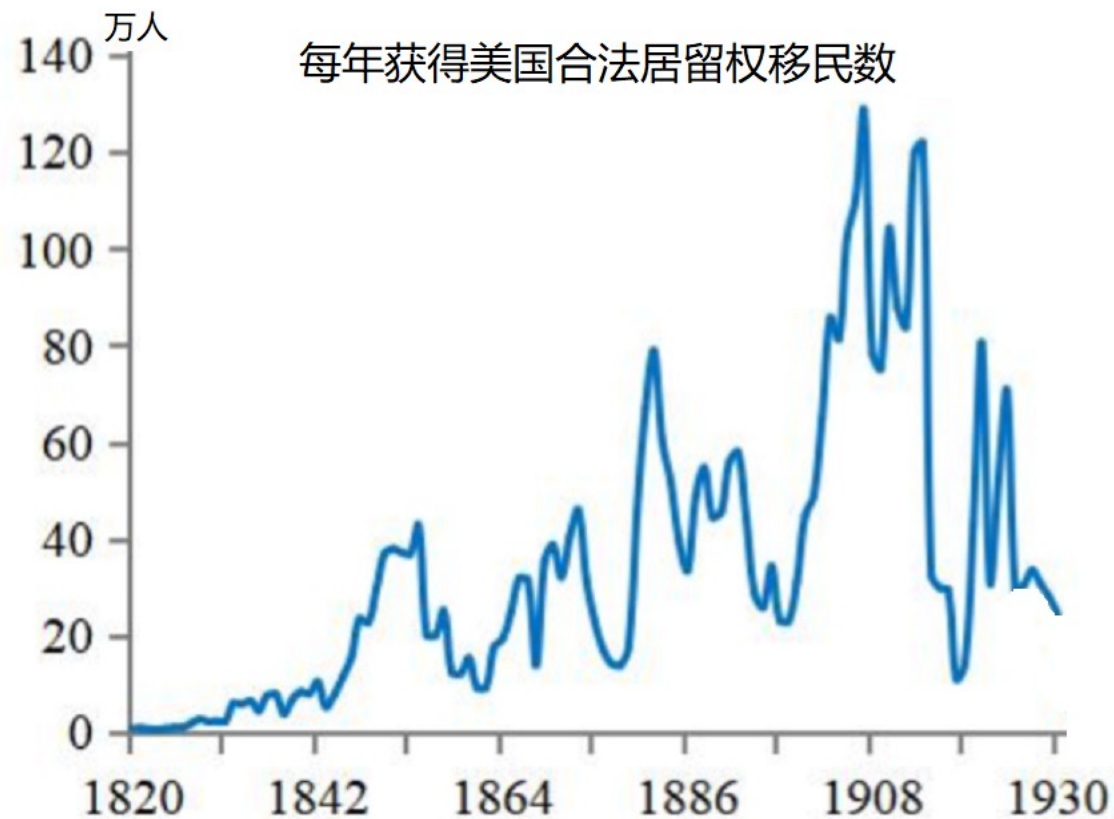
巨无霸大东方号1860年6月17日首航纽约

- 尽管英、美等国1840年代在建造螺旋桨船只上取得了一些成功，但是使用螺旋桨推进船舶还有很多难题，譬如转轴密封、轴承磨损和船舶震动等问题需要解决。
- 因此，进入1850年代以后，使用螺旋桨推进的新造船舶才开始明显增多。不过，一些船舶在使用螺旋桨的同时，并没有马上放弃明轮，甚至是风帆。例如**1854年开始正式动工建造**的载客量可达4000人、载货量可达6000吨的大东方号。
- **进入1860年代后，螺旋桨开始全面取代明轮，而且船上不再安装帆具，船壳也改成了铁壳甚至是钢壳。**



19世纪中期移居美国人口的增长

- 由于乘坐蒸汽机驱动的螺旋桨船横渡大西洋，航行时间进一步缩短，而且安全性和舒服度明显改善，因此前往美国已经不再是畏途。
- 进入1850年代后，土地广袤和资源丰富的美国吸引来了一批又一批的移民，尤其是欧洲移民。
- 美国1820年的总人口只有960万，但在**1820-1860年的40年里，移民总数就达到了500万**，平均每年12.5万。其中1850-1854年间出现了一个高峰，每年都超过了30万。可见，移民数量相当惊人。
- 在**1861-1880年的20年里，尽管早期遇到了内战，但移民总数仍然增长了500万**，平均每年25万！



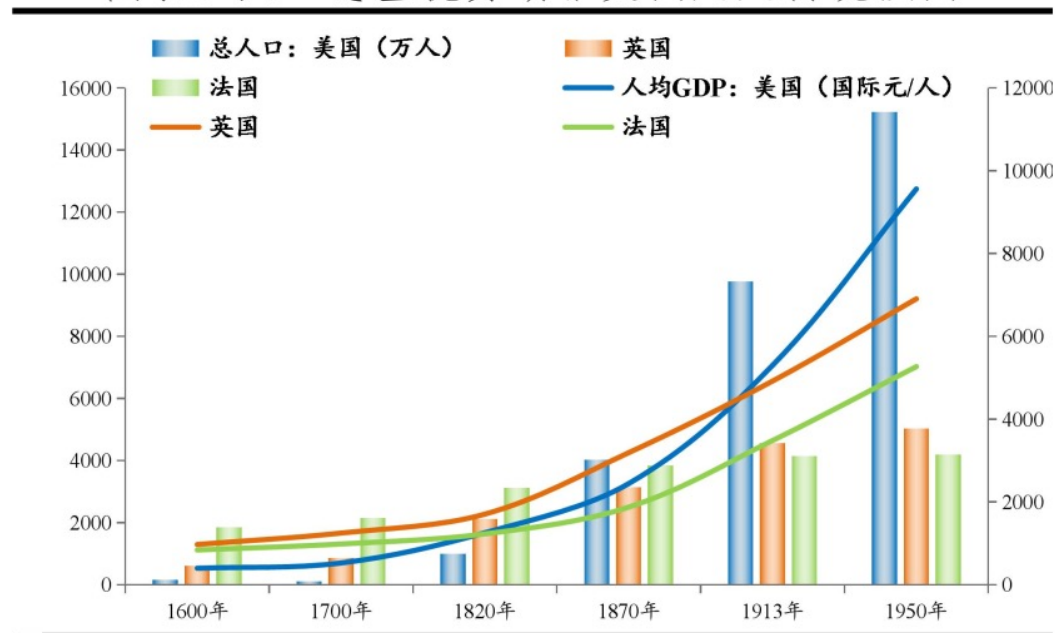
资料来源：美国国土安全部



19世纪中期美国工业化的发展

- 移民的大量涌入和人口的快速增长为美国工业化的发展提供了强大的人力资源支撑。
- 蒸汽机驱动的船舶，尤其是螺旋桨船的日益大型化也为美国从欧洲进口大型工业设备和向欧洲出口工农业产品带来了极大的便利。
- 1800年美国的城市人口占比仅为6%，1830年也只有10%，但1860年已接近20%。
- 劳动密集型和资本密集型的工厂在城市的发展，一方面削弱了家庭生产的经济地位，另一方面促进了产业分工，催生出一个对技术进步意义非同一般的部门装备制造业。
- 装备制造业的诞生与发展，减轻了相关企业自行设计装备与工艺的负担，促进了发展制造业所需技术的积累与创新。

图表：人口总量优势助推美国赶超传统强国



资料来源：世界经济千年史



美国制造体系的诞生

- 众多企业开展生产所需的机器设备由自行设计制造转向依靠相对独立的装备制造商来完成，有效地促进了设备生产的标准化与规范化，进而催生出“美国制造体系”。
- 在伦敦1851年举行的水晶宫世界博览会上，美国的柯尔特左轮手枪、胜家缝纫机和麦克科米克收割机等产品大出风头。它们所表现出的机械零件的标准化、可互换性以及高效率大批量生产的特征给欧洲老牌工业国留下了深刻的印象。



胜家缝纫机的大批量生产



美国制造体系的普及

- 标准化生产与大批量生产在一定程度上摆脱了对手工业者技能的依赖，降低了零件制造和安装过程的劳动耗费，大幅度地提高了劳动生产效率。
- 19世纪中叶以后，在装备制造业和武器制造业的带动下，“美国制造体系”很快就扩展到几乎所有的美国工业活动当中，例如钟表、打字机、餐具和乐器等一般民用产品的生产制造，从而极大地促进了美国工业化的发展，使美国经济进入“镀金时代”。



华生(Waltham)1870年代制铁路怀表



人才和技术供给严重不足

- 人口的快速增长要求社会及时扩充高等教育规模；工业化和西进运动的快速发展要求高等教育机构及时调整教学方案，大幅增加与机器制造乃至农业生产有关的教学内容。
- 南北战争的爆发，进一步凸显了美国人才和技术供给难以满足社会需求的矛盾。
- 为了支撑代价高昂的战争，联邦政府除了刺激生产、鼓励出口外，还于1862年和1864年两度提高关税税率。
- 限制进口，扩大出口需要恢复工农业生产，大力发展生产力。这意味着，要么加大劳动量的投入，要么提高劳动生产率，当然最好是双管齐下。
- 由于战争期间人口损失严重，移民增长放缓，因此加大劳动量的投入受到了制约，这样只能在提高劳动生产率上下工夫。

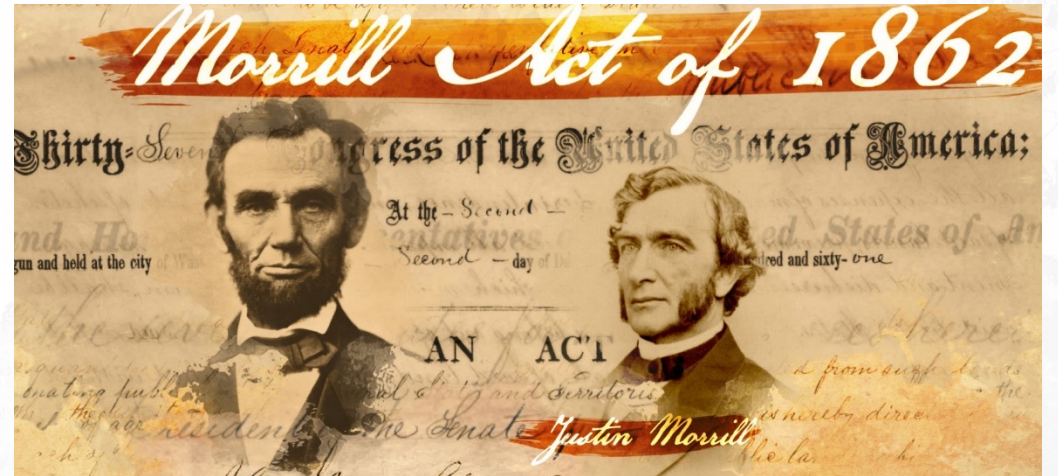


1861年的豌豆岭战役场景



莫里尔法案的出台

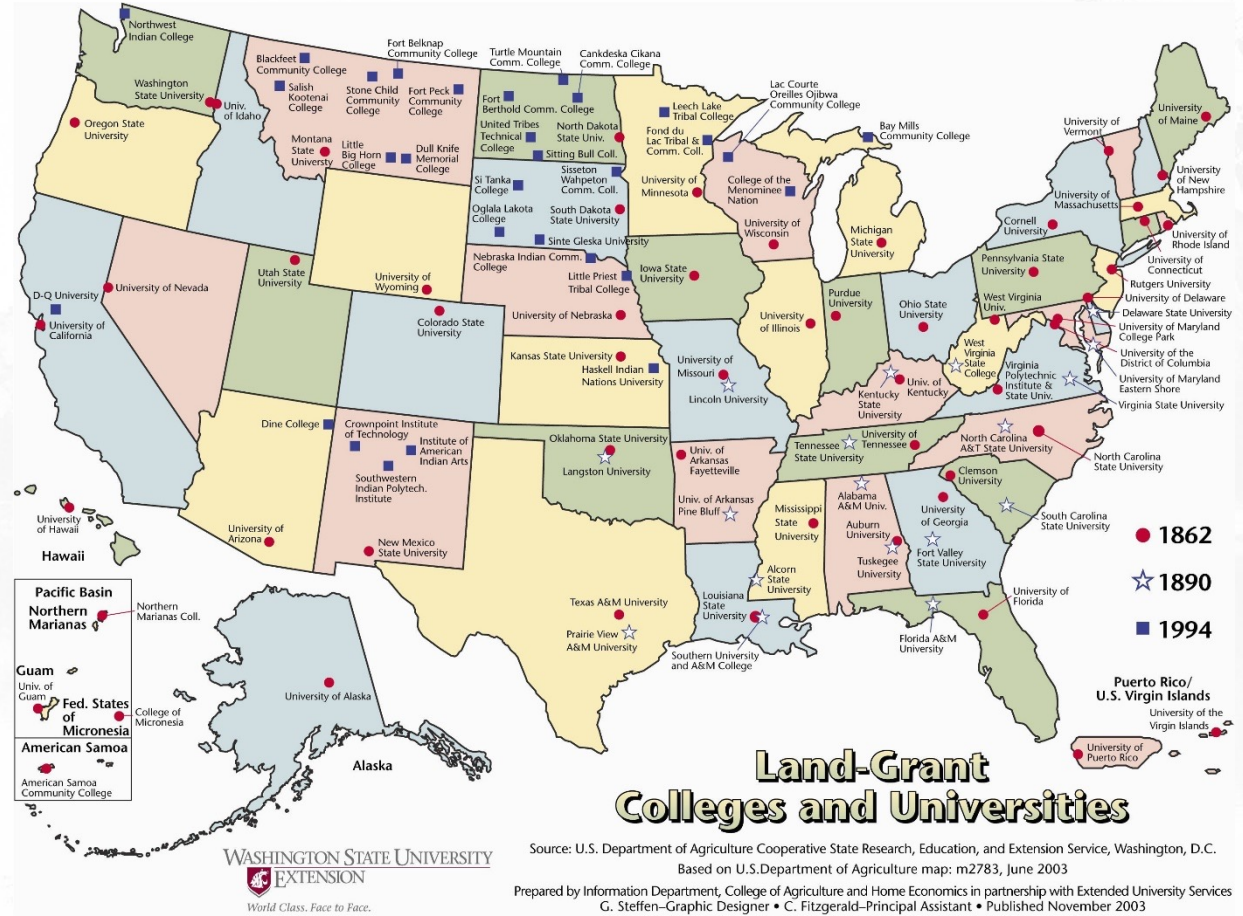
- 提高劳动生产率的途径主要有两条，一是发展教育，提高劳动者的技能和素质；二是鼓励技术创新，发展机械化大生产。这就要求美国社会大力扶持应用类高等教育的发展。
- 著名的《**莫里尔法案**》(Morrill Act)就是在这个大背景下于1862年获准通过并被积极执行的。
- 《莫里尔法案》规定：由国会给忠诚州的每一位参议员和众议员拨赠联邦公共土地3万英亩，各州可将这些土地或其交易所得用于支持开办农工学院。这些学院必须教授有关农业、机械制造工艺方面的知识，为工农业的发展培养所需专门人才。





农工学院的兴建

- 《莫里尔法案》实施后，有28个州单独设置了农工学院，又称“赠地学院”，其余的州则将土地拨给已有的州立学院成立州立大学或在现有州立大学内增设“赠地学院”。
- 《莫里尔法案》在美国高等教育史上地位特别。它催生了一批实用取向明显的美国高校，譬如伊利诺伊大学、威斯康星大学、加利福尼亚大学，以及麻省理工学院（1865）、康奈尔大学（1868）、普渡大学（1869）等。
- 美国总共建了69所“赠地学院”，很多著名的州立大学都是在此基础上发展起来的。





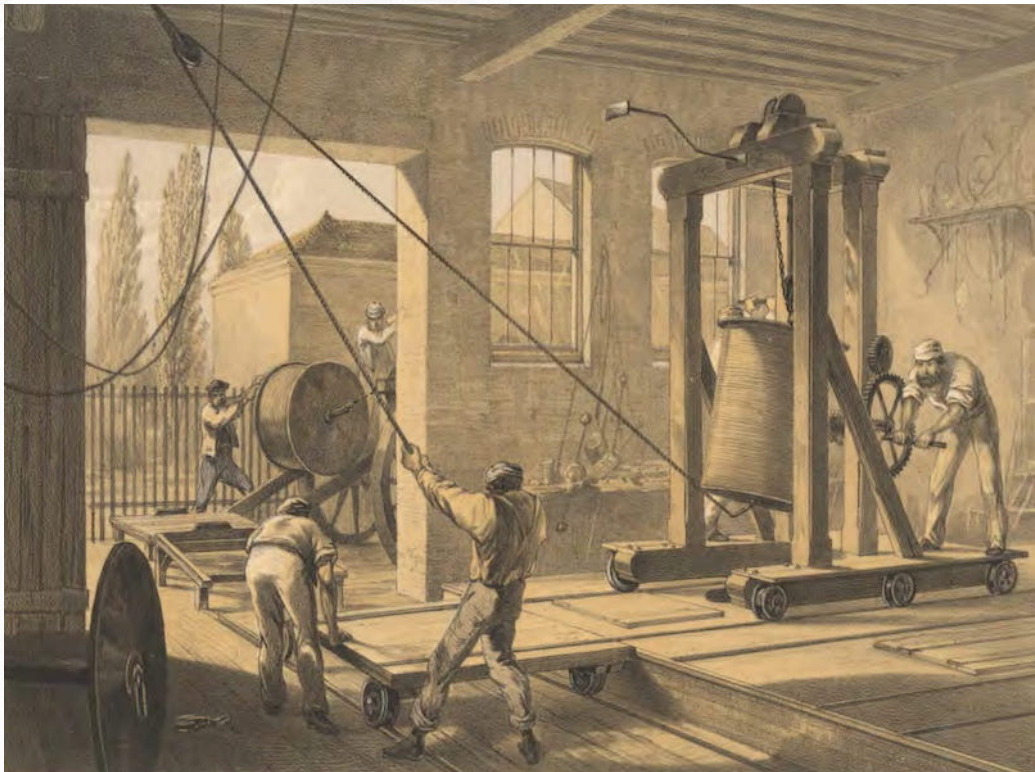
“赠地学院”实用主义色彩浓厚

- 以18世纪末期间世的综合理工学院等法国流高校为摹本建立起来的“赠地学院”实用主义色彩非常浓，明显不同于注重素养教育的英国流教会大学，也不同于以探求真理为使命的德国流综合大学。
- “赠地学院”的诞生与发展，确立了农业与工业等应用类学科的教学与研究在美国高等学校中的地位，打破了美国联邦政府不过问教育的传统，促进了美国高等教育的民主化与大众化。





英吉利海峡电报电缆的铺设

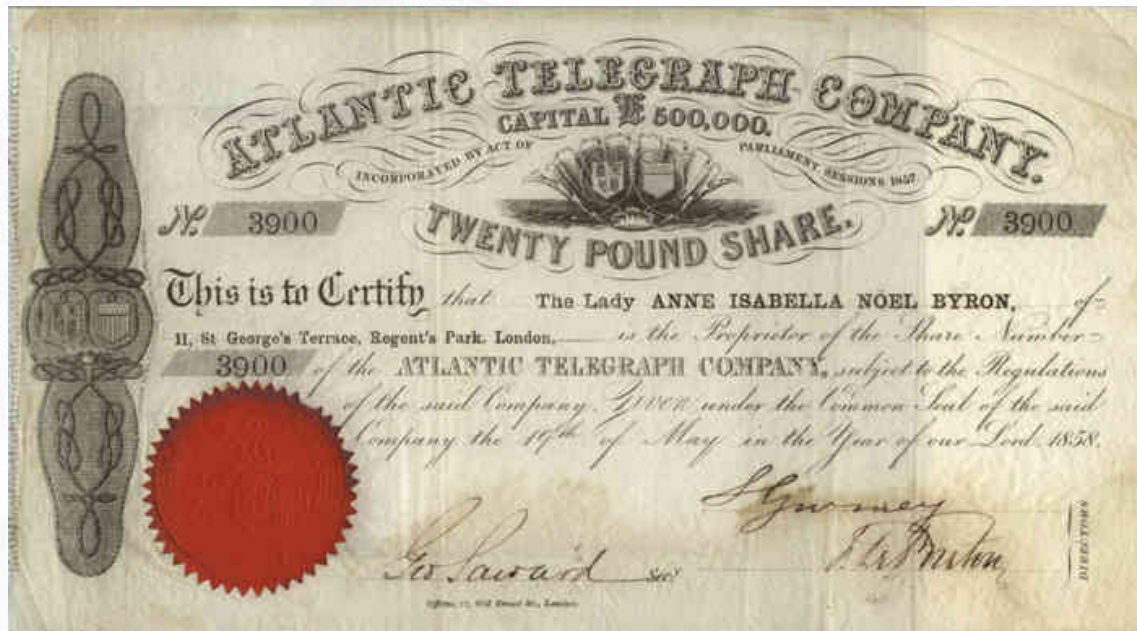


Gutta Percha 公司在制作古塔胶电缆卷

- 1851年，英国画商布雷特（John Watkins Brett）兄弟推动成立的英法电报公司成功地在多佛和加来之间铺设了一条海底电报电缆。这一事实证明铺设海底电缆在技术上是可行的。
- 当时，制作电缆所使用的**绝缘材料是古塔胶**。这是从多见于东南亚的古塔波树中提取的一种天然橡胶。
- 既然能够跨越英吉利海峡铺设电缆，是否也能跨越大西洋铺设电缆？
- 北大西洋的最窄处爱尔兰的康尼马拉悬崖与纽芬兰的圣约翰斯海港之间的距离仅有1600英里，只比英吉利海峡的最窄处多佛与加来之间的21英里宽76倍。
- 这未免令美国的冒险家们想入非非。



大西洋电报公司的成立

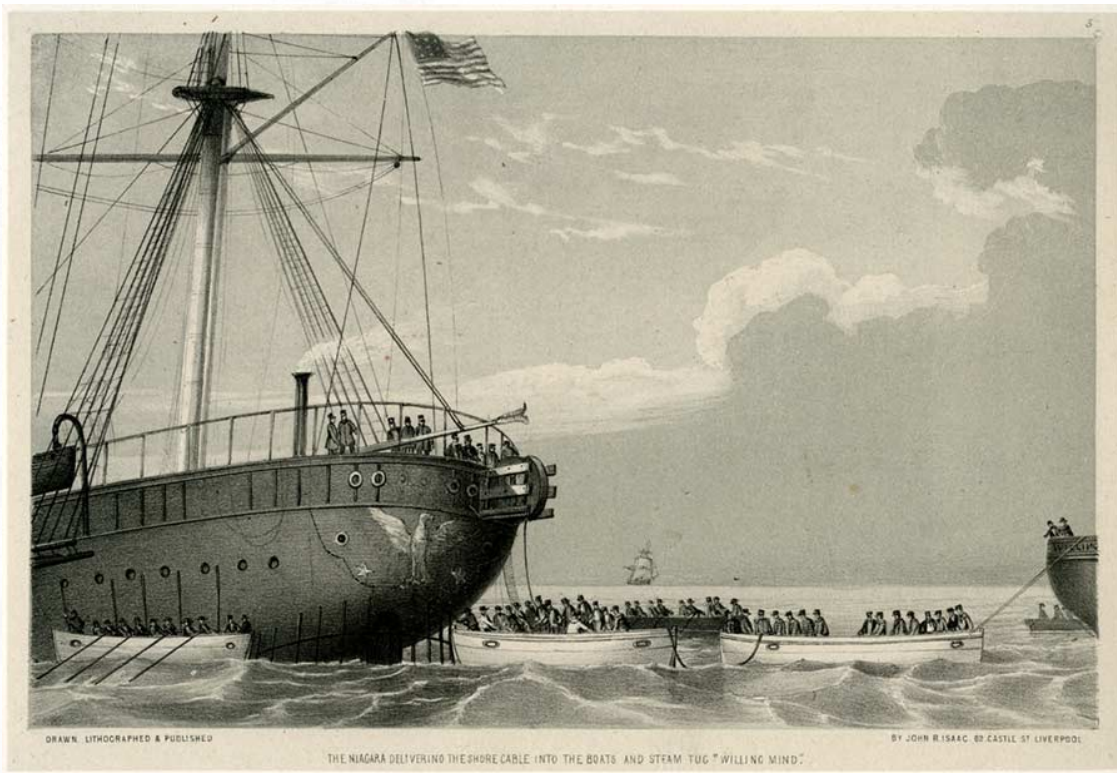


拜伦夫人所持大西洋电报公司的股票

- 1760年，乔治二世国王去世的新闻在波涛汹涌的海上颠簸了6周才传到北美十三州的臣民耳中。1850年代，使用蒸汽机驱动的快船跨洋传递信息仍然至少得花2周时间。这是居住在新世界的美国民众难以忍受的。
- 美国造纸大王、北美大陆多家电报公司的投资人菲尔德(Cyrus W. Field)和美国画家、莫尔斯码发明人莫尔斯(Samuel Morse)很快就意识到了跨越大西洋铺设电报电缆的时机已趋成熟。
- 于是，他们和英国的海底电缆之父布雷特、海底电报专家布莱特(Charles Tilston Bright)、热力学之父汤姆逊(William Thomson)等人合作于1856年在伦敦成立了大西洋电报公司。由库珀(Peter Cooper)担任总裁，由莫尔斯担任董事长。



越洋电报电缆首次铺设失败

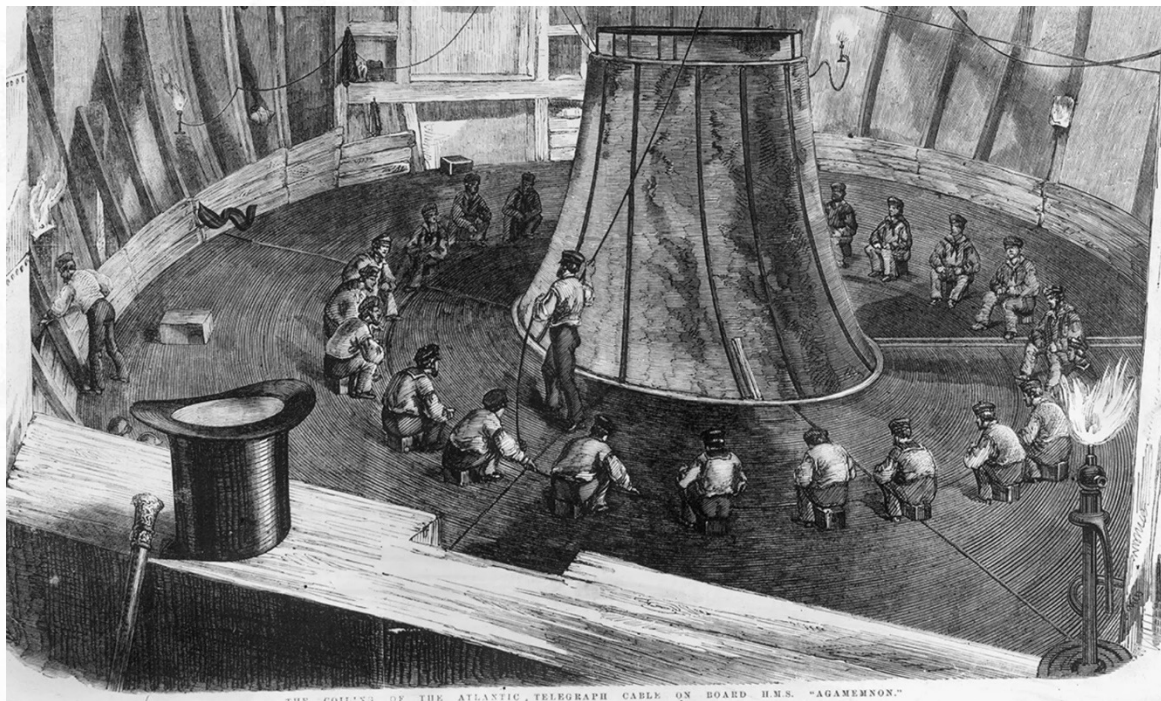


美国的尼亚加拉号战舰在放电缆
John R. Isaac于1857年绘制

- 1857年8月，大西洋电报公司开始在爱尔兰和纽芬兰之间铺设跨洋电报电缆。
- 当时，没有一条船能够承载长度可跨越3200公里以上的大洋、重达2500吨的电缆，故只能由英美两国各派一艘1850年代建造的使用螺旋桨和风帆推进的大型军舰来铺缆。
- 1857年的方案是先由美国的尼亚加拉号从爱尔兰的瓦伦蒂亚港开始往纽芬兰方向铺设，但尼亚加拉号才离岸行驶600公里就遇到了大浪，所铺设的电缆不幸发生断裂，全部沉入海底。
- 第一次铺设就这样以失败告终。



越洋电报电缆二度铺设失败



英国的阿伽门农号战舰在装载电缆

- 1858年6月，菲尔德团队重整旗鼓，再度出发。这次，他们采用了两船在大洋中间完成电缆拼接，然后各自向相反方向铺设的方案。
- 两船在驶往汇合点过程中，不巧遇到了风暴。虽然都成功脱险，但英国的阿伽门农号偏航了300多公里，好在双方最终还是在约定的地点相遇了。
- 双方在大洋中间接完电缆，并铺设一段距离后，发现已无法通过电缆进行联系，于是又都返回汇合地点。
- 可是，重新拼接完电缆，并铺设一段距离后又发生了断缆，于是只好放弃。因为携带的燃煤已经所剩不多。



第一条越洋电报电缆终于铺成



蒂芙尼的跨大西洋电缆纪念品

- 在菲尔德、汤姆逊等人的说服下，董事会同意再尝试一次。
- 1958年7月28日，两船再度在大洋中间汇合。这次铺设一路风平浪静，没有发生任何意外，8月4日尼亚加拉号将电缆铺到纽芬兰，次日阿伽门农号铺到爱尔兰。8月5日，横跨大西洋的电报电缆终于铺成！
- 1858年8月16日，英国女王通过刚铺成的电报电缆向美国总统发来贺电，正文仅有99个单词，但花费了约16小时才传输完成。
- 纽约全城为之轰动。但半个月后，电缆就无法再清晰传递任何信号，直到1866年被重新修复。
- 悲催的是，珠宝大亨蒂芙尼为此准备的纪念品很多都变成了废品。



第二条越洋电报电缆的铺设尝试



大东方号在大西洋中铺设电缆

- 因为美国南北战争的爆发，连接新旧两个世界的尝试直到1865年才重新开始。
- 当时，大西洋电报公司已对各种电缆设计方案进行了比较试验，并研制出了一种性能更好的电缆。
- 新电缆的中央芯线是旧电缆的3倍粗，在其周围包了一层厚重的铠甲，以致电缆的直径超过了2.5厘米。
- 新电缆全长3700公里，总重量几乎是1858年所用电缆的2倍。
- 由于当时只有大东方号的载重超过了5000吨，所以该公司于1964年买下了这艘巨轮，并对其进行了改装。
- 然而，经过多年精心准备的这次铺设再度失败，电缆同样在中途发生了断裂。



第二条越洋电报电缆圆满成功



- 失败并非灭顶之灾。菲尔德团队发现新电缆之所以断裂只是因为其外围铁套太脆，弯曲时容易断裂，并扎伤内芯，于是他们决定将外套改为镀锌铁皮铝甲。
- 1866年7月13日，大东方号又一次启航离开爱尔兰海岸。这次远征竟异乎寻常地顺利。7月27日，大东方号平稳地到达纽芬兰海岸。
- 这次，大西洋电报公司采用了汤姆逊1858年发明的镜式检流计，信号通过跨洋电缆传输时，即使衰减1000倍也都能准确读出。
- 跨大西洋电报电缆的开通使美国与欧洲之间的准即时通讯成为可能，**世界由此变得更小**。
- 大东方号在返航途中幸运地发现了上次快铺到岸的断缆，并将其接通。这样，大西洋电缆就变成了双线，传输速度比1858年提高了50倍！



第二次工业革命的先声

- 1866年，德国工程师西门子发明了自激式直流发电机，从而为建造大容量电机，获得强大电力，奠定了技术基础。
- 1869年，德国化学家海因里希·卡罗又向人们展示了化学的威力。他发现了人工合成茜素的方法，从而使一个传统行业走向没落。
- 1870年前后，德国物理学家恩斯特·阿贝发明了一种新型光学器件——显微镜聚光镜，从而使德国的细菌学乃至医学研究走在了世界的前列。
- 1876年，德国工程师尼古拉斯·奥托研制出了一台以煤气和汽油作为燃料的四冲程内燃机，从而为汽车工业、石油开采业和石油化工业的发展创造了条件。



西门子公司1879年展示了全球首辆有轨电车



德国的科技发展对美国产生的冲击

- 德国19世纪六、七十年代在科学技术领域取得的一系列新成就，通过1866年开始投入使用的跨大西洋电报电缆传播到美国之后，引起了美国社会的高度关注。
- 于是，对英式素养教育和法式应用教育不满的众多美国人纷纷乘坐螺旋桨班船跑到柏林、莱比锡、哥廷根等德国研究型大学留学。
- 1870年代，美国的留德学生数超过2500人，比1860年代突然高出十几倍。其中，赴柏林大学留学的美国人从60年代的31人增长到将近2000人。同一时期赴莱比锡大学留学的美国人 also 高达407人，是60年代的10倍多。
- 在这种背景下，像德国一样创建一批致力于纯科学研究的研究型大学便成了时代的呼唤。

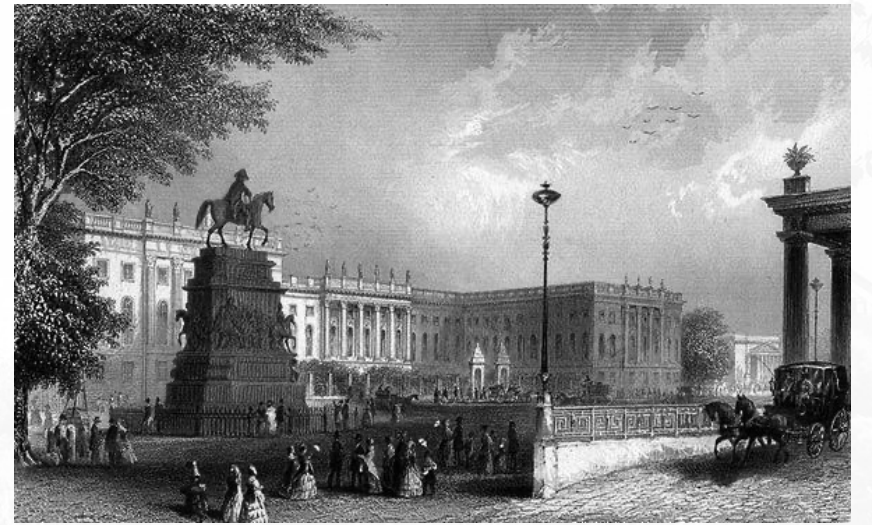
主要德国大学接受美国留学人员的数量

学校	时 间						
	1815-1840	1841-1850	1851-1860	1861-1870	1871-1880	1881-1890	1891-1900
哥廷根大学	32	14	97	112	160	200	229
柏林大学	16	27	22	31	1960	1345	900
海德堡大学	1	5	12	22	缺失	253	不详
哈勒大学	6	12	27	9	33	48	113
莱比锡大学	3	1	7	40	407	436	518



时代已不容简单模仿柏林大学

- 在美国社会的呼吁下，一些有识之士开始尝试着将德国的研究型大学制度移植到美国。
- 以柏林大学为首的德国研究型大学创立之时，科学知识尚未发生大爆炸，学生们进入大学之前就可以把应知应会的科学知识基本学完。这样，比起科学知识传播，大学更应重视的是科学知识生产。
- 但是，在众多德国现代大学的推动下，自19世纪中期开始，科学日益专业化，以致青年学子从事科学知识生产之前，需要学习的科学知识越来越多。至19世纪晚期，寄希望在中学阶段就把重要的科学知识学完已不可能。



1850年代的柏林大学



现柏林洪堡大学



率先设立研究生院

- 当时，美国的一些有识之士在移植德国研究型大学制度时，已经意识到了继续像柏林大学创办之初那样要求学生一入学就着手开展知识生产已不太现实。
- 因此，他们没有简单模仿德国研究型大学的做法，而是有所继承也有所创新，通过在大学里设置研究生院的方式走出了一条培养高素质创新型人才的新路。
- 具体做法就是，**将大学学习生活划分成本科生与研究生两个阶段**。本科生阶段重在学习知识，研究生阶段重在生产知识。
- 这样一来，本科生阶段就和中学生阶段没有本质上的差别了，主要任务就是接受通识教育，学习已有知识，提高自身素养，为进入研究生阶段从事知识生产做准备。

2021美国最佳研究生院：医学研究

排名 ▲	学校中文名 ▲	学校英文名 ▲
1	哈佛大学	Harvard University
2	约翰霍普金斯大学	Johns Hopkins University
3	宾夕法尼亚大学	University of Pennsylvania
4	斯坦福大学	Stanford University
4	纽约大学	New York University
6	加州大学旧金山分校	University of California--San Francisco
6	加州大学洛杉矶分校	University of California-Los Angeles
6	哥伦比亚大学	Columbia University in the City of New York
6	圣路易斯华盛顿大学	Washington University in St Louis
6	梅奥诊所医学院	Mayo Clinic School of Medicine
11	康奈尔大学	Cornell University
12	杜克大学	Duke University
13	华盛顿大学	University of Washington-Seattle Campus
14	匹兹堡大学	University of Pittsburgh-Pittsburgh Campus
15	密歇根大学安娜堡分校	University of Michigan-Ann Arbor
15	耶鲁大学	Yale University



霍普金斯大学的诞生

- 最早在美国诞生的研究型大学是1876年创立的约翰·霍普金斯大学。
- 担任首任校长的吉尔曼从耶鲁大学毕业后，赴欧洲访问期间曾在柏林大学留学过一段时间（1854-1855），1875年赴霍普金斯大学担任校长之前，曾在耶鲁大学谢费尔德理学院担任过地理学教授，并在加州大学伯克利分校担任过三年校长。
- 霍普金斯大学被称为“**设在美国的德国大学**”无疑与吉尔曼深受德国现代大学办学理念的影响有着很大的关联。

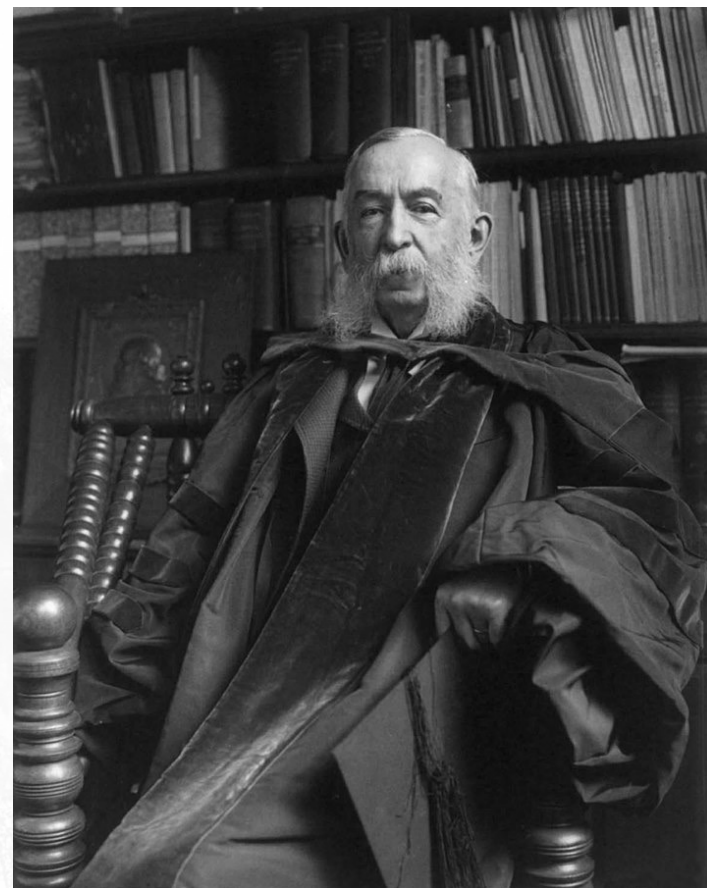


约翰·霍普金斯大学



教育质量赶上德国

- 吉尔曼认为科学研究不仅是大学的一项基本任务，而且是大学的灵魂。因此，他高度重视研究型人才的培养，并严控本科生的升学率和研究生获得博士学位的比例。
- 不然，霍普金斯大学很难吸引住那些有意赴德国留学的年轻人，而且即使留住了，他们毕业后也很难和归国留学生竞争。
- 实行精英教育的结果是，每一位学生都受到了严格的学术训练，故他们毕业后完全可以和那些从德国回来的留学生同台竞技。
- 据称，霍普金斯大学20岁时，全美60所主要大学中的每所大学都至少有3名教授毕业于该校，其中哥伦比亚有13名、哈佛有10名，威斯康星则多达19名。在那个年代，一所大学总共也只有几十名在籍教授。



吉尔曼 (Daniel Coit Gilman, 1831—1908)



涌现一批新建或改造的研究型大学

- 在约翰·霍普金斯大学的示范下，一批新型现代大学相继建立，如1887年由百万富翁克拉克（Jonas Gilman Clark）创办的克拉克大学、1890年由石油大王约翰·洛克菲勒（John Davison Rockefeller）创办的**芝加哥大学**等。
- 哈佛、耶鲁、哥伦比亚、普林斯顿等一些老牌学院也**通过增设研究生院和专业学院，强化大学的科学研究功能，而顺利转变为研究型大学。**
- 最近，“内卷”一词在国内非常流行。实际上100年前，教育“内卷”在美国就已经发生了。当时，如果只是读完大学本科，不进入研究生院深造，很难在学术界有太多的发展机会。



芝加哥大学

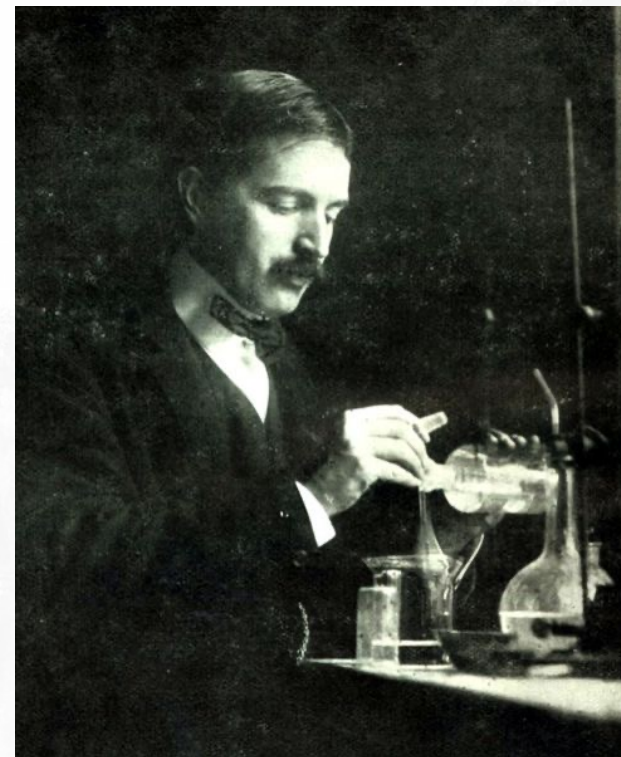


新型大学吸收了大批回国留学生

- 19世纪七、八十年代，美国青年赴德国留学达到最高潮。这些留学生从德国返回美国后，正好赶上研究型大学的发展大潮。因此，他们很容易在新建立的研究型大学中找到自己的位置。
- 有研究表明，截止于19世纪末，美国研究型大学的建立者以及著名教授几乎都曾在德国大学学习过。
- 这些留德学生回国执教既解决了大学师资不足的难题，又把德国最先进的学术思想带进了美国大学。
- 在他们的推动下，美国研究型大学在有机化学、物理化学、电磁学、天体物理学、细菌学、实验生理学等前沿研究领域迅速跃居世界前列。



美国第一个诺贝尔物理学奖
迈克尔逊 (1852-1931)



美国第一个诺贝尔化学奖
理查兹 (1868-1928)



二、二战前科技实力跃居全球第一

THE SATURDAY EVENING POST

Easy to wash. Little or no ironing, long wear—they're "extras" in nylon uniforms.

Forget moths. perspiration, shrinking—when you knit warm argyles with nylon yarn.

Quick-drying. Holds its shape, lovely nylon all-in-one is light, extra-long-wearing.

NYLON
gives you something extra

Tough. lightweight, strong wet or dry—nylon tugboat hawsers resist abrasion and rot.

It's nylon—it's tough! Car owners get longer, safer travel from tires made with nylon steel fabric—because nylon resists flex fatigue, road impact and heat.

It's nylon—it's strong! Light, easy-to-handle nylon fishing lines are strong when wet, dry fast. And nylon's not weakened by rot, mildew or marine organisms!

DUPONT
REG. U.S. PAT. OFF.
BETTER THINGS FOR BETTER LIVING
... THROUGH CHEMISTRY



垄断企业成批出现



垄断组织控制美国参议院，
约瑟夫·克普勒1890年前后绘制

- 随着研究型大学的快速发展，美国研究生的入学人数开始急剧增加。
- 即使美国新建大学的数量和规模还在持续膨胀，但新建大学能够接纳的博士毕业生的数量仍然非常有限。问题是，刚刚走出校门的博士毕业生多数只擅长从事科学研究，就业范围非常窄。如果大批美国博士毕业生在大学之外找不到合适的职位，势必会影响到美国研究型大学的发展。
- 所幸，第二次工业革命加速了美国企业的兼并重组，美国在19世纪晚期诞生了一批超大型垄断企业，譬如美孚石油、卡耐基钢铁、电话电报、通用电气、杜邦化学等。



反垄断法鼓励企业支持研发



通用电气1895年研制的世界最大电气火车头和变压器

- 有研究表明，至19世纪末，美国垄断企业的产值已占据美国国民生产总值的三分之二。可见，美国当时的经济集中度已经非常之高。
- 垄断企业的大量形成，一方面带来了生产效率的迅速提高，另一方面又引发了严重的社会危机。因此，美国政府于1890年通过了《谢尔曼反托拉斯法》。不过，直到西奥多·罗斯福1901年继任总统，该法案才被真正的贯彻和实施。
- 反垄断法的制定与实施，迫使垄断企业开始将巨额利润的一部分用于支持成立企业内研发机构，或者用于支持成立公益性科研组织。



设立工业实验室的企业急剧增加



1925年美国电报电话公司
设立贝尔电话实验室

- 为了应对反垄断法，同时也为了切实提高自身的竞争力，开辟新事业领域，大型垄断企业在19世纪末期和20世纪早期，纷纷在企业内部设立工业实验室。
- 统计表明，在美国，1890年，只有4家企业设立了工业实验室；1900年，大约有50家企业设立了工业实验室；1910年，设立了工业实验室的企业大约有180家；1920年，这个数字超过了500；1930年，更是突破了1000。
- 不过，企业设立的工业实验室的规模有大有小。通用电气公司1900年设立的工业实验室员工数接近2000人，美国电话电报公司1925年设立的贝尔电话实验室员工数多达3600人。



工业实验室接收了大批毕业生

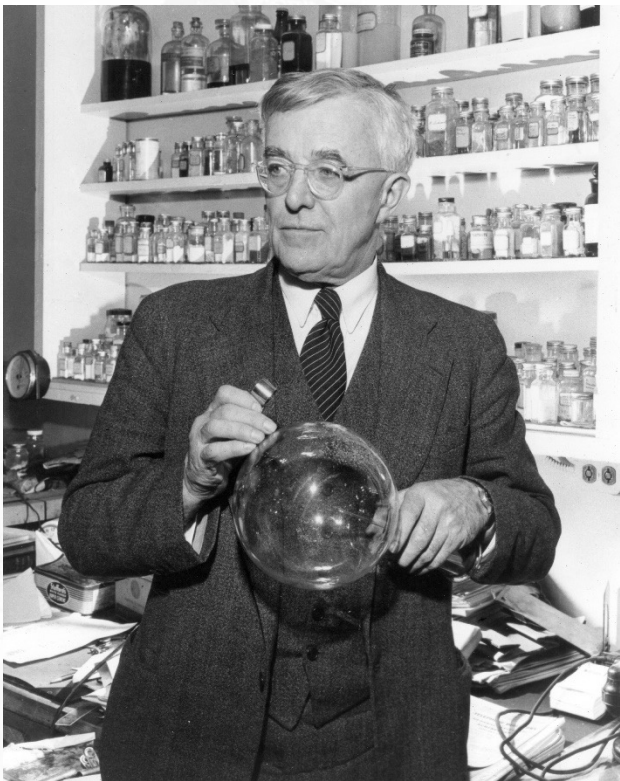


杜邦公司1938年投产尼龙
投入230余名科研人员奋战多年

- 美国早期设立的工业实验室主要集中在电气和化学行业。这都是一些国际竞争异常激烈的行业，也是科学研究与产品开发联系得非常密切的行业。
- 虽然多数工业实验室需要把主要资源投放到与现有产品和制造工艺改良有关的应用研究上面，但是**一些超大型企业的工业实验室在开展应用研究的同时，也在尝试着开展一些与现有产品和制造工艺关联不大的应用基础研究，甚至是纯科学探索。**因此，它们需要不断吸纳一些研究型大学的毕业生来充实研究开发队伍。
- 统计表明，1900年全美约有4.5万名工程师，1930年增加至18万名。由此可见，美国企业当时对大学毕业生的吸纳规模是何其之大。



工业实验室取得多项重大突破：通用



朗缪尔 (1881-1957) 1913年
发明充气钨丝灯泡

- 工业实验室的大量设立，不仅为美国扩大研究型大学的办学规模，提高研究型大学的办学质量创造了条件，也为企业提升自主创新能力，拓展新事业领域提供了契机。
- 通用电气和杜邦化学可以说是这方面的典型代表。
- 通用电气实验室的的库利奇 (W. D. Coolidge) 1908年研制出在室温下具有延性的钨丝，它比碳丝、铁丝和钽丝更适合用于制作灯泡。**库利奇的贡献奠定了钨丝加工业的基础，也奠定了粉末冶金的基础。**
- 通用电气的朗缪尔 (I. Langmuir) 1913年通过给钨丝灯泡充灌氮气（现用氩气）的方法大幅提高了库利奇的真空钨丝灯泡的使用寿命。而且他还发现某些物质在水上会形成一个分子厚的薄膜，**朗缪尔因研究这种单分子膜取得突破于1932年获得诺贝尔化学奖。随后他还发明了人工降雨技术。**



工业实验室取得多项重大突破：杜邦



卡罗瑟斯(1896-1937)团队
1930年合成出氯丁橡胶、
1935年合成出尼龙

- 与朗缪尔曾在哥廷根师从能斯特(W. H. Nernst)不同，杜邦化学的卡罗瑟斯(W. H. Carothers)是在美国土生土长的博士，他1924年在伊利诺伊大学留校执教两年后，于1926年转任哈佛大学讲师。
- 卡罗瑟斯1928年加盟杜邦的基础研究项目后主要从事高分子化合物的合成研究。因为自德国的斯陶丁格(H. Staudingeeer)提出高分子的概念后，很多科学家都想验证高分子学说的存在，但都失败了。卡罗瑟斯及其助手于1930年合成出了氯丁橡胶。不仅实现了商业化应用，而且还支持了斯陶丁格的学说。
- 卡罗瑟斯1930年发现有一种合成高分子化合物具有纤维性质，能像棉花糖那样抽出丝来。深入研究后，他的团队于1935年合成出了具有商用前景的尼龙。
- 杜邦随后投入230人对首个合成纤维尼龙进行技术攻关，并于1938年完成中试，1939年开始批量生产。



工业实验室取得多项重大突破：贝尔



戴维森(1881-1958)1927年
验证了电子的波动性

- 1925年，美国AT&T和西部电子公司将各自的研发部门合并重组，成立了“贝尔电话实验室公司”，后来更名为贝尔实验室。
- 贝尔的研发人员从来不用担心经费不足问题，而且都拥有足够大的自由研究空间。这两者的结合使得贝尔实验室的研究创意层出不穷。例如：
- 1927年，戴维森(C. J. Davisson)和格莫尔(L. H. Germer)通过将低速移动的电子射向镍晶体标靶，取得电子的衍射图样，验证了电子的波动性。这项研究使戴维森得以与汤姆森(G. P. Thomson)一道分享了1937年的诺贝尔物理学奖。
- 1933年，央斯基(K. Jansky)通过研究长距离短波通信中的静电噪声，发现银河中心在持续发射无线电波，从而奠定了射电天文学的基础。
- 1939年，斯蒂比兹(G. Stibitz)使用机电继电器作为开关元件研制出全美第一台电子数字计算机。



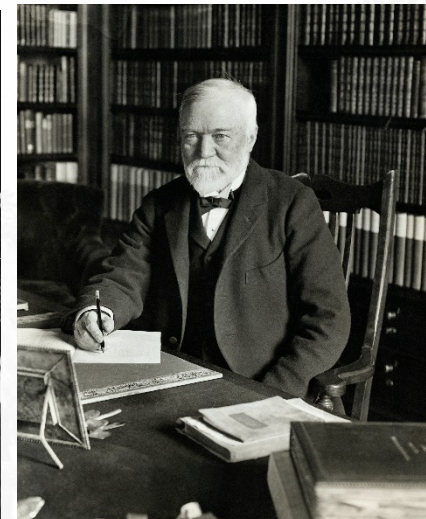
企业主成立基金会资助成立科研院所

- 当时，一些超大型企业除了在企业内部设立工业实验室外，还直接资助或通过其捐资成立的基金组织资助成立了一批公益性研究机构。其中，具有代表性的研究机构有：
- 1901年创办的**洛克菲勒医学研究所**。该所在微生物学和病理学等研究领域取得了很多重要的研究突破，并于战后发展成为洛克菲勒大学。
- 1902年创办的**华盛顿卡耐基研究所**。该所在天文学、地球物理、生物遗传等研究领域取得了一批具有国际影响的成果。
- 1913年成立的**梅隆工业研究所**。该所在推动科学应用于工业方面发挥了重要作用。该所1967年与卡耐基理工学院合并，成立了卡耐基·梅隆大学。



洛克菲勒

(J. D. Rockefeller, 1839-1937)



卡耐基

(A. Carnegie, 1835-1919)



洛克菲勒医学研究所的创设

- 1901年，洛克菲勒决定在纽约成立一家医学研究所，希望该所也能像巴黎的巴斯德、柏林的科赫和伦敦的李斯特等研究所一样，在疾病的预防与治疗方面取得重大研究突破。
- 最初，洛克菲勒只允诺资助医学研究所20万美元，但第二年，即1902年就追加了100万美元。
- 成立伊始，医学研究所的董事长由霍普金斯大学医学院首任院长、时任美国科学院院长韦尔奇（W. H. Welch）担任；所长由韦尔奇的弟子、宾夕法尼亚大学病理学教授弗莱克斯纳（S. Flexner）担任。
- 1906年，研究所搬进自己的大楼。1910年，研究所附属医院建成开业，院长由韦尔奇的学生、免疫学家科尔（R. Cole）担任。1914年，研究所又在普林斯顿成立动物病理学部，由哈佛大学的动物病理学家史密斯（T. Smith）担任主任。

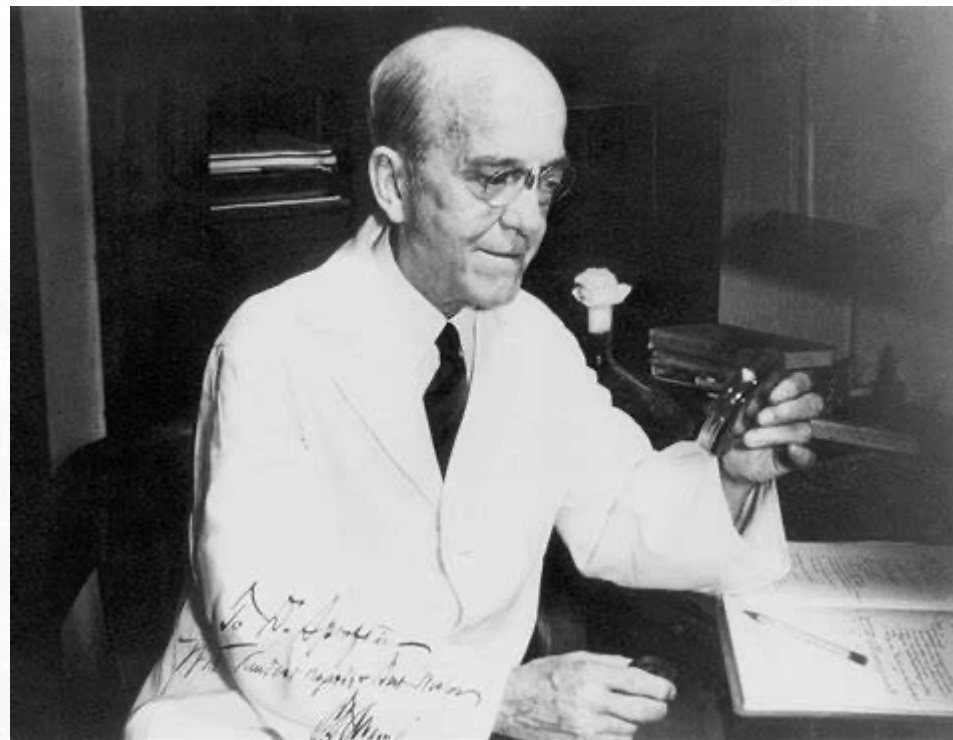


总部位于纽约的洛克菲勒医学研究所



肺炎球菌研究

- 肺炎曾被列为“人类死亡之首”，直到1936年，都占据着美国头号杀手的位置
- 1912年，附属医院院长科尔研究了肺炎球菌提取物的毒性，并确认其免疫血清能够治疗肺炎。
- 1913年，埃弗里(O. T. Avery)加入科尔的团队，并发现了多种肺炎球菌及其亚属。
- 1918年大流感爆发后，埃弗里从事了数年的流感嗜血杆菌研究。重返肺炎研究领域之后，他发现肺炎球菌外面包裹的一层多糖荚膜也能导致免疫应答。这意味着不是只有蛋白质或含蛋白质的物质才能刺激免疫系统做出应答。
- 沉潜七年后，他和合作者于1944年发表了1篇关于肺炎球菌的遗传转化论文，指出**导致细菌转化的真正物质是DNA，而不是蛋白质**，从而颠覆了当时盛行的蛋白质才是遗传物质的传统观点。



奥斯瓦尔德·埃弗里
(O. T. Avery, 1877-1955)



流感病毒研究

- 流感嗜血杆菌在很长一段时间里被误认为是流感病原体。当1918年的致命疾病被断定为流感时，人们纷纷把眼光投向流感嗜血杆菌。
- 1929年，动物病理学部的肖普（R. Shope）与其上司刘易斯（P. Lewis）从患有猪流感的病猪身上分离出一种类似人流感嗜血杆菌的细菌，但这种细菌不会导致猪流感的发生。
- 1931年，肖普又从病猪组织中分离出一种病毒，并用实验证明这种病毒会诱发猪流感。
- 联想到大流感爆发期间，美国中西部的猪也患上一种新疾病，他检查了1918年流感爆发期间的幸存者和1920年流感结束后的出生者的免疫学特征，结果表明，前者具有抵抗猪流感病毒的抗体，后者没有。
- 受此启发，曾在该附属医院工作过的英国学者安德鲁斯（C. Andrews）于1933年分离出第一种人类流感病毒，并发现这种病毒可以通过飞沫传播。

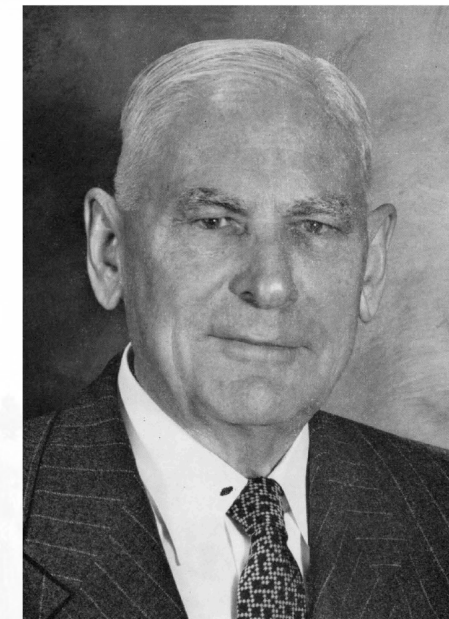


理查德·肖普
(Richard Shope, 1901-1966)

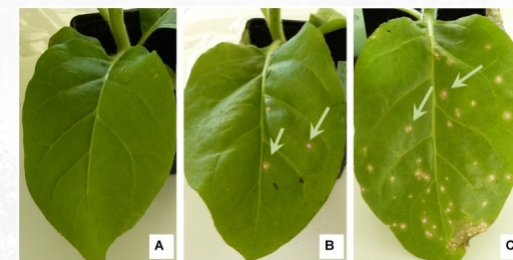


植物病理学部门的增设

- 1932年，洛克菲勒医学研究所决定将位于普林斯顿的动物病理学部扩充为**动物与植物病理学部**。
- 鉴于昆克尔(L. O. Kunkel)在博伊斯汤普森植物研究所组织开展植物病理学研究卓有成效，**弗莱克斯纳**决定聘请他担任新设立的植物病理学部门主任。
 - 昆克尔1918年曾在美国农业部植物产业局研究过土豆病毒病，1920年赴夏威夷主要研究甘蔗病毒病，1923年接受新成立的汤普森植物研究所的聘请来到纽约，负责组建植物病毒学实验室。
 - 他招聘来的霍姆斯(F. O. Holmes)于1929年开发出使用心叶烟草定量检测烟草花叶病毒浓度的方法，为该病毒的提纯带来极大的便利。
- 昆克尔到普林斯顿就任新职后，除了将**霍姆斯**等老部下带到新单位之外，还将刚满28岁的**斯坦利**(W. M. Stanley)纳入自己的麾下。



昆克尔(Louis Otto Kunkel, 1884-1960)
美国科学院院士



烟草花叶病毒诱发的
心草烟叶局部病斑



烟草花叶病毒结晶的制备

- 斯坦利在研究过程中发现，胰蛋白酶能抑制烟草花叶病毒的传染性，但仍能恢复；胃蛋白酶则能使该病毒水解，失去活性。因此推定烟草花叶病毒是一种蛋白质。
- 此前，康奈尔大学生物化学助理教授萨姆纳 (J. B. Sumner) 已于1926年成功从刀豆中提取分离出晶体脲酶；洛克菲勒医学研究所研究员诺斯罗普 (J. H. Northrop) 也于1930年从一种商业胃蛋白酶制剂中分离出了晶体胃蛋白酶。而且酶是一种蛋白质当时已成**为学界共识**。这意味着制备烟草花叶病毒结晶可以借鉴晶体蛋白酶制备技术。
- 在昆克尔的大力支持下以及在霍姆斯、诺斯罗普的协助下，**斯坦利通过大面积种植烟草并使其感染烟草花叶病，获得大量烟草花叶病毒颗粒**；使用盐析法和层析法进行提纯后，获得不少高浓度的烟草花叶病毒结晶，并对其化学成分进行了测定，指出它是一种自催化蛋白质。
- 因成功制得烟草花叶病毒结晶，**斯坦利1946年与萨姆纳、诺斯罗普一道被授予诺贝尔化学奖。**



斯坦利 (W. M. Stanley , 1904-1971)



斯坦利1935年制备的TMV结晶



早期的黄热病研究

- 1904年，野口英世刚从欧洲返回宾夕法尼亚大学就被其恩师弗莱克斯纳揽入洛克菲勒医学研究所。
- 起初，野口主要从事与梅毒螺旋体有关的研究，并于1913年证实梅毒螺旋体是导致麻痹性痴呆的原因。
- 1918年野口被派往南美厄瓜多尔开展黄热病研究。他9天后就宣称发现黄热病病原体。回到纽约后，他发文指出黄热病病原体是一种类黄疸性钩端螺旋体。
- 1919-1923年间，野口又先后前往墨西哥、秘鲁和巴西研究黄热病，并开发出一种黄热病疫苗。
- 弗莱克斯纳深受爱徒的鼓舞，在给美国科学促进会致辞时明言，黄热病可能会成为第一种被人类消灭的传染病。可是他错信了爱徒。
- 1924年非洲爆发黄热病。英国和法国的研究机构指出，野口的疫苗并没有效果。此后，对野口的钩端螺旋体结论提出质疑的学者与日俱增。

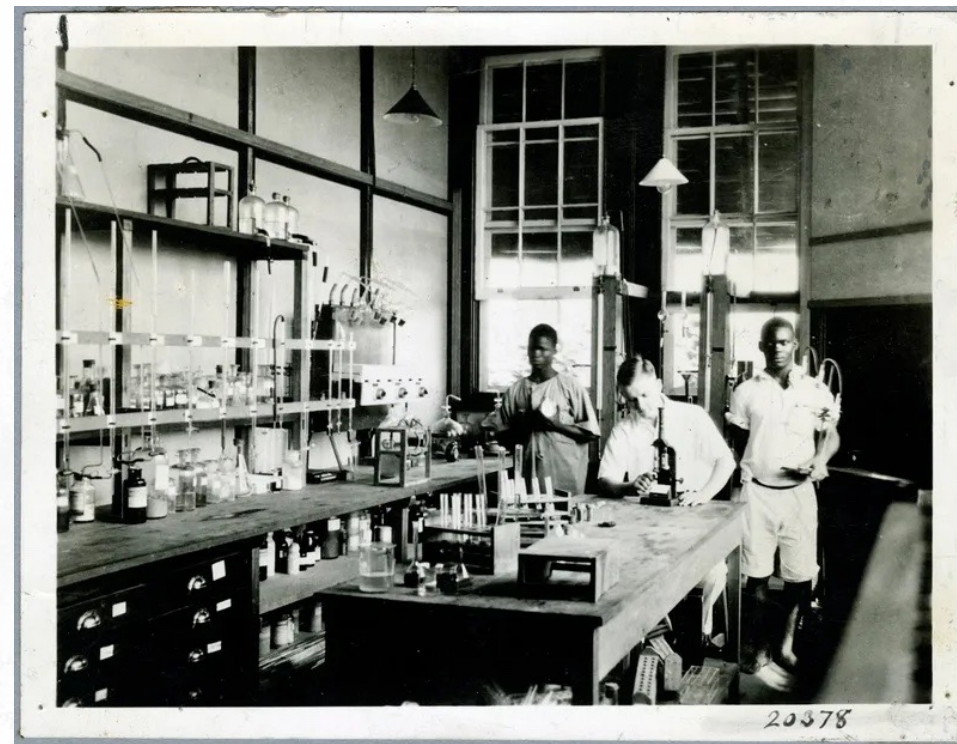


1000日元纸币上的野口英世头像



确认黄热病是由病毒引起

- 1927年夏，参与洛克菲勒黄热病项目研究的爱尔兰医生斯托克斯（A. Stokes）等人在西非将28岁黄热病患者阿斯比（Asibi）身上的血液注射给恒河猴后发现，猴子染上了黄热病，且该猴血液的无菌过滤液仍然具有感染性。它表明黄热病应该是由病毒而非细菌引起。**斯托克斯同年9月因感染黄热病不治身亡。**
- 1927年底，野口亲赴西非研究黄热病，并在次年3月写给弗莱克斯纳的信中承认，钩端螺旋体并非黄热病病原体。**1928年5月，野口因感染黄热病逝于非洲黄金海岸。几天后，其研究助理杨（W. A. Young）也死于该病。**
- 为了彻底搞清黄热病病原体，该所随后派流感专家刘易斯（P. A. Lewis）赴巴西开展研究。不料**他于1929年6月感染黄热病客死他乡。**



洛克菲勒研究人员在尼日利亚研究黄热病



培养出黄热病减毒株17D

- 确认恒河猴是黄热病易感宿主，并通过在恒河猴体内连续直接传代和通过埃及伊蚊间接传代等方式获得黄热病病毒株之后，开发疫苗便有了希望。
- 1930年，哈佛医学院的泰勒尔（M. Theiler）加入洛克菲勒医学研究所索耶（W. Sawyer）团队。
- 在哈佛期间，泰勒尔已经开发出一种新的动物模型—小鼠。它比恒河猴更为廉价，且繁殖能力更强。这为黄热病疫苗的开发提供了极大的便利。
- 泰勒尔协助索耶开发出的第一种黄热病疫苗是由在小鼠脑中传代获得的黄热病病毒和感染黄热病后康复的病人血清组成的混合物。这种减毒疫苗虽然有效，但产量严重受制于康复病人的血清。
- 1936年，泰勒尔等人使用小鼠胚胎成功地实现了阿斯比病毒株的体外培养。随后，他们又使用完整切碎的和去除神经组织的鸡胚胎培养出减毒株17D。

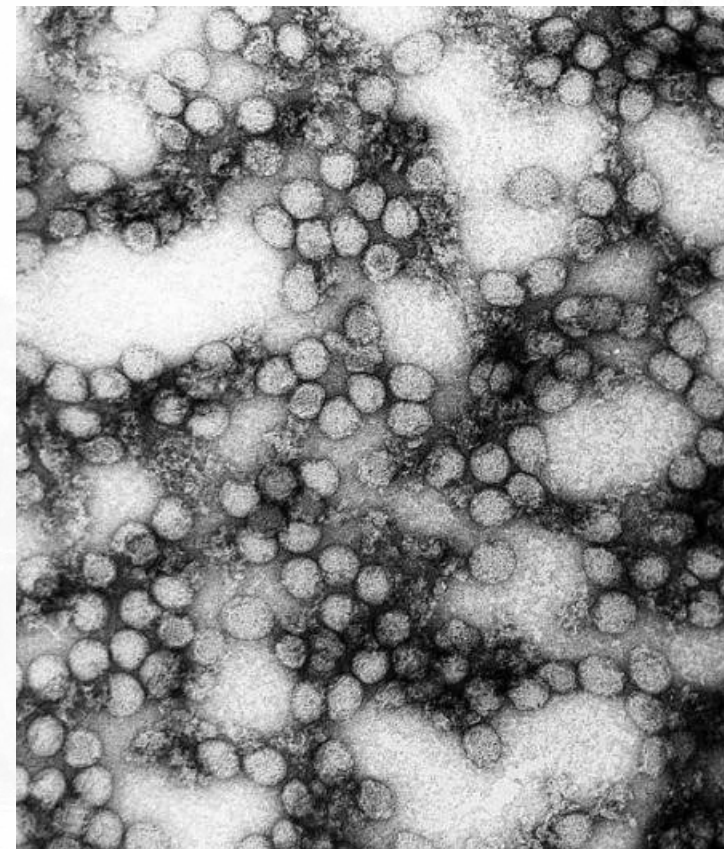


1951年诺贝尔生理学或医学奖得主
泰勒尔（Max Theiler，1899-1972）



史上最成功的黄热病疫苗

- 1937年初，洛克菲勒黄热病项目组基于17D开发出黄热病减毒活疫苗。遵循早期的传染病研究传统，最初接种17D疫苗的两个人类受试者是泰勒尔和史密斯（H. H. Smith）。在纽约完成初步测试后，17D疫苗的临床试验便在史密斯的主导下在巴西全面展开。
- 对使用鸡蛋生产17D疫苗的方法进行若干改进后，项目组进一步扩大了临床试验范围。至1938年底，将近100万巴西人接种了这种疫苗。实验结果证明17D疫苗具有非常高的安全性和有效性。
- 仅二战爆发之初，美军和英军就接种了超过700万份的17D疫苗。
- **1951年，泰勒尔因成功开发黄热病毒疫苗而获得诺贝尔生理学或医学奖。**17D减毒活疫苗虽不是第一个投入使用的黄热病疫苗，但它却是迄今为止最成功的黄热病疫苗。



穿透式电子显微镜下的黄热病病毒



卡耐基研究所的创设



1910年海耳 (G. E. Hale , 1868-1938) 台长陪同捐赠人卡耐基前往威尔逊山天文台参观

- 1901年，卡耐基以5亿美元的价格将卡耐基钢铁公司卖给摩根之后，宣布退休。
- 1902年卡耐基拿出1000万美元资助成立了旨在以最广泛和最自由的方式增加基础科学知识的独立研究机构华盛顿卡耐基研究所(CIW)。
- 卡耐基研究所的首任所长是吉尔曼，他曾创办霍普金斯大学，并担任首任校长。
- 哥伦比亚大学教授伍德沃德 (R. Woodward, 1849-1924) 1904年接任所长，他曾担任美国科学促进会副会长和数学学会会长，纽约科学院院长等职，对天体物理学抱有浓厚兴趣。
- 伍德沃德放弃了大面积资助高校优秀学者的既定路线，改采长期重点资助愿意接受该所聘用的少数杰出学者的策略。著名的地球物理实验室和**威尔逊山天文台的创设**就得益于这项政策。



威尔逊山天文台

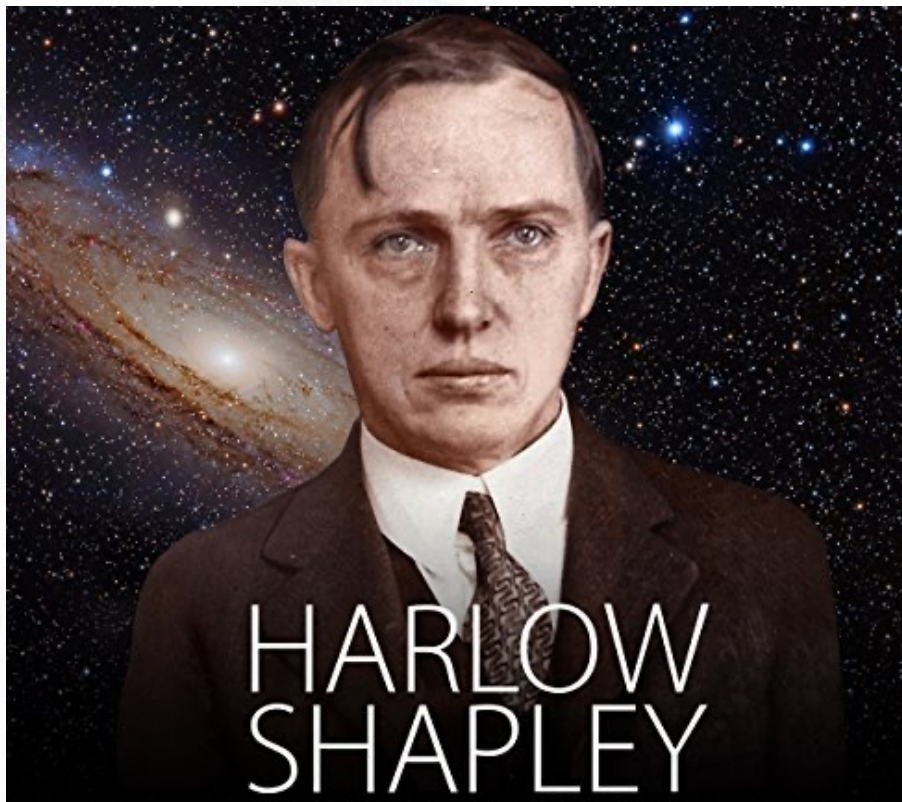


位于南加州的威尔逊山天文台外景

- 为了寻早更加清澈的天空，芝加哥大学教授、叶凯士天文台首任台长海耳（G. E. Hale）游说卡耐基研究所于1904年在加州帕萨迪纳附近的山上建立了威尔逊山天文台。
- 自1904年开始，海耳担任威尔逊山天文台台长长达20年之久。在此期间，他于1908年主持建成了一座口径达60英寸的反射望远镜，1917年又主持建成了一座口径达100英寸的反射望远镜。前者将世界最大望远镜记录保持了9年，后者则将世界最大望远镜记录保持了31年。
- 望远镜的口径尺寸非常重要。口径越大，分辨率就越高，因而也就能看得越远。
- 革命性的望远镜口径给威尔逊山天文台带来的当然是革命性的科学发现。



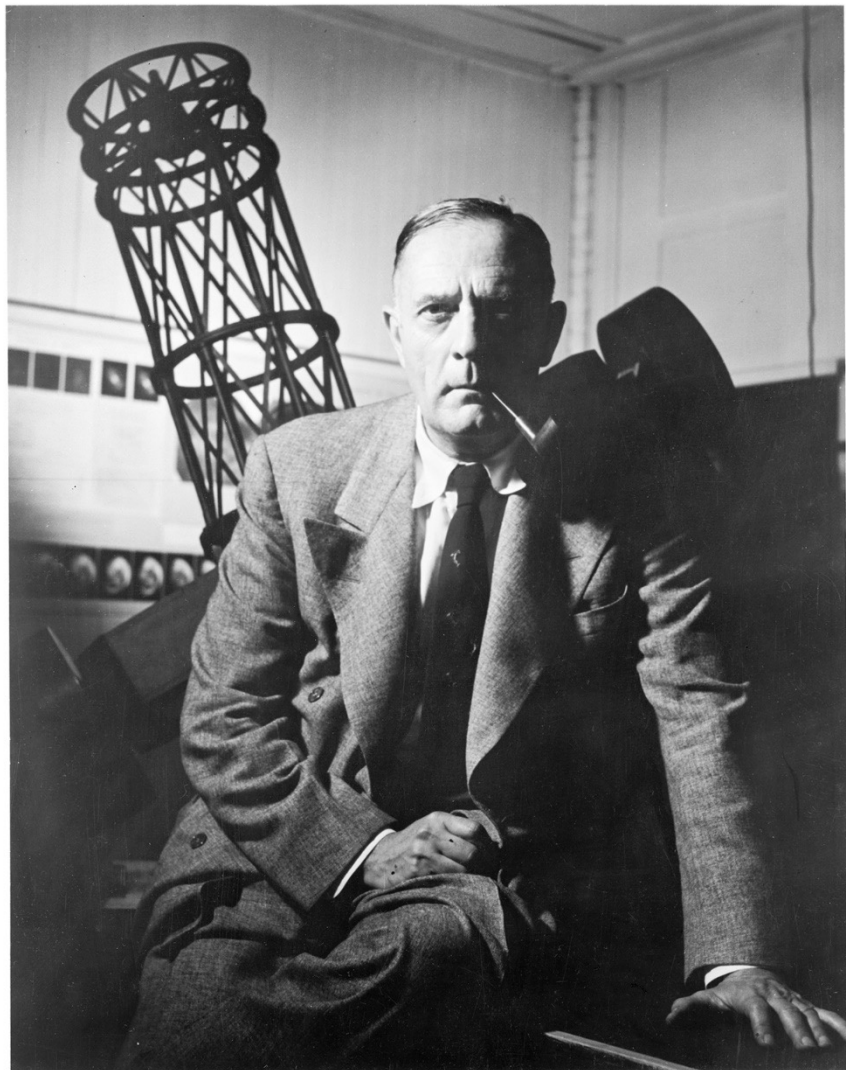
沙普利的研究贡献



- 得益于钢铁大王卡耐基的支持，美国在20世纪初就从欧洲夺得光学天文学和天体物理学的王冠。其中，沙普利 (H. Shapley, 1885-1972) 和哈勃 (E. Hubble, 1889-1953) 的贡献尤为突出。
- 1914年入职威尔逊山天文台的沙普利利用60英寸的海耳望远镜对球状星团和造父变星进行了观测研究。
- 当时已有学者指出，太阳附近的造父变星的发光亮度与变化周期呈线性关系。沙普利据此认为，可通过比较造父亮星的应有亮度与实测亮度之间的差异，推算出它与地球之间的距离。
- 使用这一方法，沙普利推定银河系的直径大约为30万光年，太阳距离银河中心最少有5万光年，亦即银河系比我们以前想象的要大得多，而且太阳并不像人们所假设的那样处于银河系的中心。



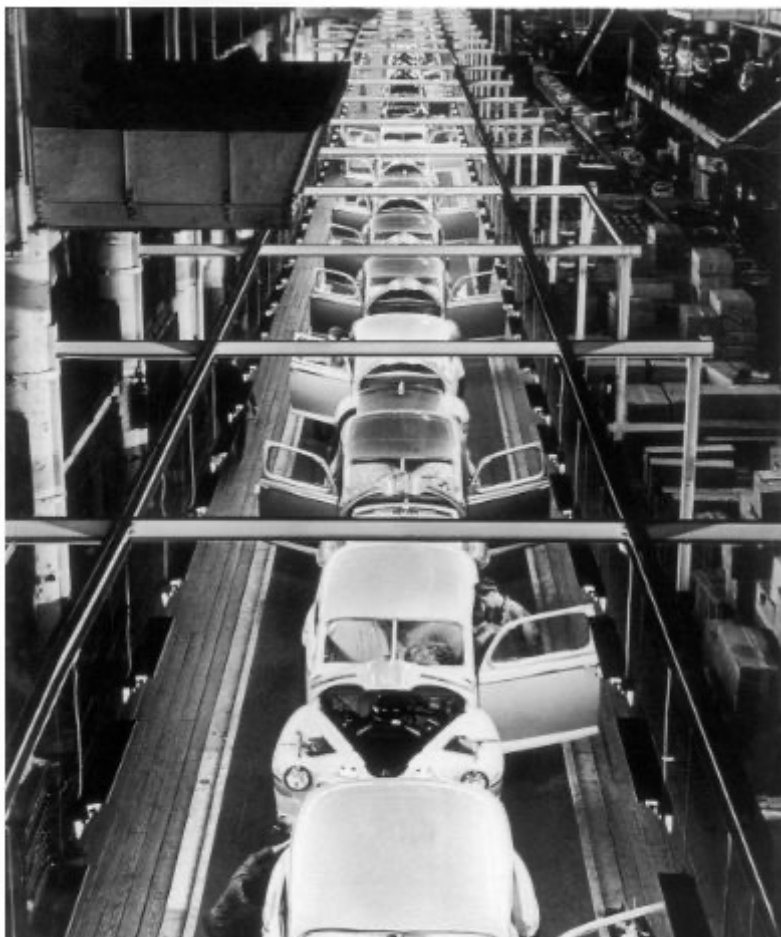
哈勃的研究贡献



- 1919年，第一次世界大战刚刚结束，芝加哥大学物理系主任迈克尔逊(A. A. Michelson) 就为威尔逊山天文台的100英寸胡克望远镜装了一台干涉仪，籍此可以精确地测量恒星的大小。同年，曾在芝加哥大学获得博士学位的哈勃决定加盟海耳所在的威尔逊山天文台。
- 利用100英寸望远镜，哈勃于1923年辨认出仙女座“星云”边缘的恒星，并测出其中的造父变星及其所属“星云”的距离。他发现仙女座“星云”看起来很近，实际上离我们有100万年之远。他因此断定许多所谓的“星云”实乃银河系外的星系。由此，他创立了星系天文学。
- 随后，哈勃在赫马森(M. Humason)的协助下开始测量星系的红移，并于1929年得出结论：星系的退行速度与距离成正比。这为宇宙膨胀理论的建立提供了强有力的支撑。



企业支持科研的成效显著



- 总之，在20世纪早期的美国，大学与企业之间的联系进一步加强，博士毕业生加盟企业，大学教师兼任企业研发顾问，**企业资助大学教师开展科研，斥资在企业内部创办工业实验室，在企业外部成立公益性科研机构等等，已成为一种常态。**
- 随着基于科学的产业的发展壮大，产业对科学研究的渗透越来越广、越来越深。不过，从结果来看，这种发展恰恰是促进了，而不是阻碍了美国纯科学研究的发展。**没有企业的支持，美国不可能在二战前取得那么多重大研究突破。**



大批欧洲流亡科学家赴美

- 一战爆发后，由于欧洲政局动荡以及希特勒推行文化清洗政策，大批高级知识分子开始到美国避难，使美国轻易获得了一批来自欧洲的科技人才。
- 美国高校体制的多样性以及高等教育事业的迅猛发展，也使得美国能够留住这些欧洲流亡科学家。
- 欧洲流亡科学家的流入使美国的整体科技实力得到了大幅提升，加快了科学活动中心从欧洲到美国的转移。



1930年移居美国的
冯·卡门 (1881-1963)



1930年移居美国的
冯·诺依曼 (1903-1957)

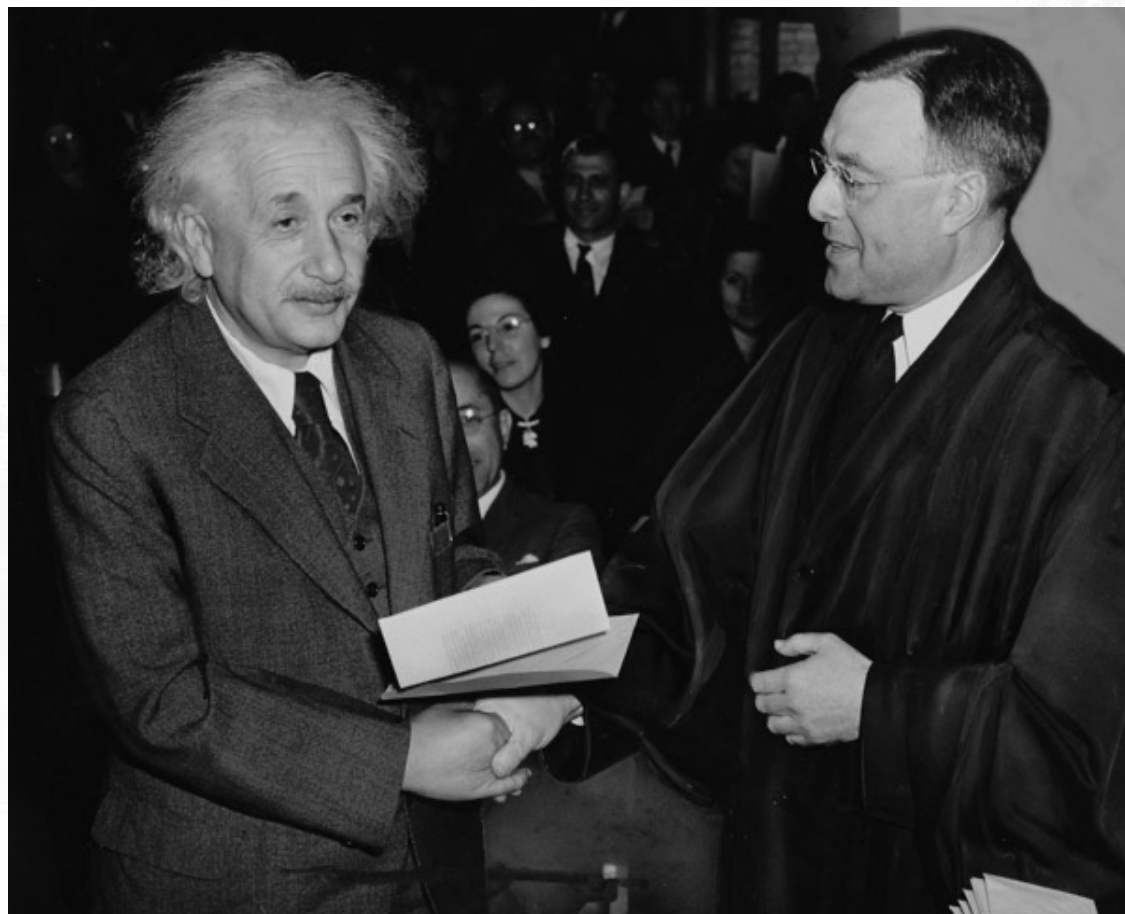


1930年移居美国的
维格纳 (1902-1995)



流亡美国的科学家数量惊人

- 在犹太知识难民集中到达美国的1933-1941年间，仅来自德、奥的犹太知识难民就达7622人。
- 其中1090人是科学家，绝大部分(约700人以上)是教授。
- 此外，还有2352名医生，645名工程师，以及811名法律工作者，682名记者，465名音乐家，296名造型艺术家，1281名来自其他文化领域的职业者。
- 从德、奥两国社会中被驱逐的约1万2千名文化精英中，至少有63.3%被美国所接受，而在约1400名流亡科学家中，也至少有77%被美国所接受。

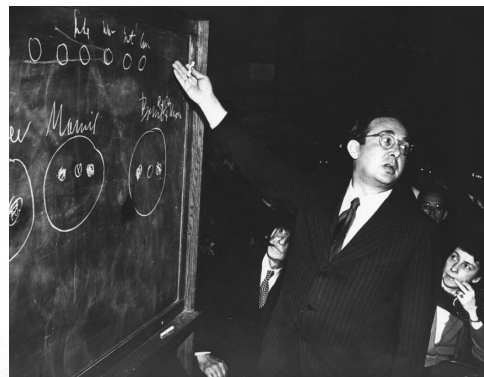


爱因斯坦1940年获得美国公民证书

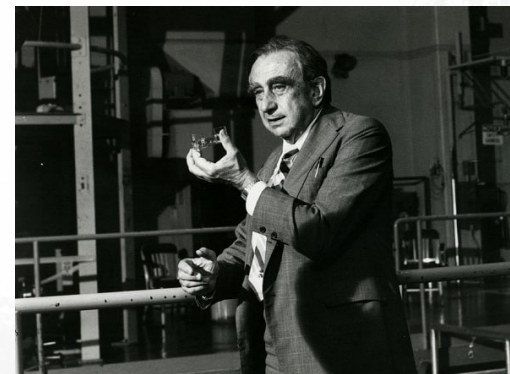


流亡美国的科学家贡献卓著

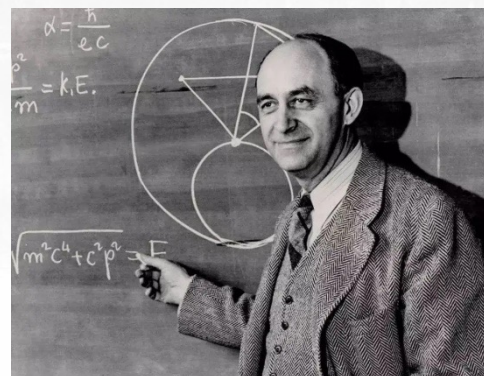
- 1933年以前，美国曾有5名诺贝尔科学奖得主，在世者只剩3名；德国曾有31名得主，在世者仍有19名。
- 然而，仅是这场从1933年开始的德国科学家的流亡潮，就为美国送来了以爱因斯坦为代表的6名得主以及后来的11名新得主。
- 欧洲流亡人才充实了美国大学和研究机构的研究力量，提升了美国大学和研究机构的研究水平。



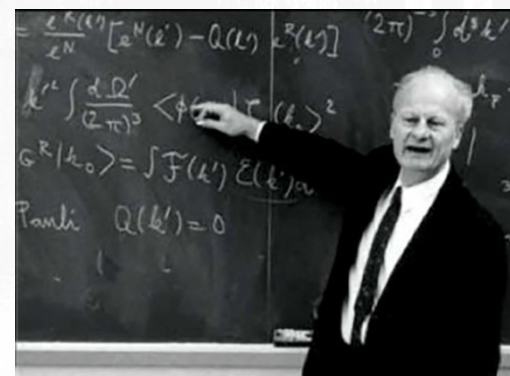
西拉德1938年移居美国



泰勒1935年移居美国



费米1938移居美国



贝特1935年移居美国



美国的教育与科技跃居世界前列

- 以核物理学科为例，1940年前后，美国已拥有爱因斯坦 (A. Einstein)、冯·诺依曼 (J. von Neumann)、维格纳 (E. P. Wigner)、费米 (E. Fermi)、西拉德 (L. Szilard)、泰勒 (E. Teller)、贝特 (H. Bethe)、斯特恩 (O. Stern)、赫斯 (V. F. Hess)、泡利 (W. E. Pauli) 等一大批顶尖移民科学家，而且还拥有奥本海默 (J. R. Oppenheimer)、康普顿 (A. H. Compton)、劳伦斯 (E. O. Lawrence)、拉比 (I. I. Rabi)、布里奇曼 (P. W. Bridgman)、费曼 (R. P. Feynman) 等众多顶尖本土科学家。
- 因此，美国的一些大学在二战爆发前就得以跻身国际一流大学行列，超越了大多数欧洲著名大学。
- 当然，**欧洲流亡科学家的流入不仅为美国大学赢得世界一流地位作出了重大贡献，也为美国的科技创新迅速跃居世界前列作出了重大贡献。**



美国1930年代打造出世界之巅帝国大厦



战间期的科技创新动能主要来自企业

- 要而言之，在二战前，美国已经形成了以私立或州立大学、工业实验室为主体的科技创新体系，联邦政府对研发活动的经费支持并不突出，而且主要局限在国防和农业领域。
- 有研究表明，1930-1940年间，美国全社会研发经费的部门投入占比为：政府12%-19%，工业界63%-70%，大学9%-13%。很明显，整个战间期，推动美国科技创新的动能都主要来自企业。
- 但根据凯夫利斯(D. J. Kevles)的统计，二战中，美国政府投入的研发经费由1940年的4.8亿美元急速攀升至1945年的50亿美元，占全社会研发经费之比也由18%上升到83%。
- 这意味着二战中，美国政府已取代企业成了研发活动的主要资助者。



美国战间期的科技创新动能主要来自企业



三、二战期间大科学的兴起





美国在二战初期一直置身事外

- 二战爆发之初，美国并没有打算参战。一是因为国内孤立主义盛行；二是因为军事准备不足。
- 对美国来讲，如果要参战，就得控制大西洋和太平洋的制海权和制空权，否则无法将军人和物资安全运送到欧洲战场和亚洲战场。
- 当时，德国的飞机和U型潜艇不时在大西洋出没，日本的航空母舰经常在太平洋游戈。因此，只有在军事技术开发上取得突破，找到远程探测德国飞机、潜艇和日本航空母舰的办法，美国才有可能宣布跨洋参战。
- 结果，美国在二战初期一直以中立国的身份置身事外，不仅没有出面阻止法西斯分子的侵略行径，而且还向德、日两国出售了大量军用物资。



美国民众在国务院大楼外
争睹德国入侵波兰的报纸头条



国防研究委员会的成立

- 随着战争规模不断扩大，美国一些有识之士意识到有必要未雨绸缪，做好参战准备。
- 1940年6月22日，法国投降，希特勒入侵英国已不可避免。这预示着美国迟早要和轴心国摊牌。
- 根据卡耐基研究所所长万尼瓦尔·布什（V. Bush）的建议，美国总统罗斯福于当月27日同意成立“国防研究委员会”（NDRC）。
- NDRC主席由万尼瓦尔·布什担任，副主席由加州理工学院研究生院院长托尔曼（R. C. Tolman）担任。
- 成员还包括哈佛大学校长科南特（J. B. Conant），MIT校长康普顿（K. T. Compton），首任贝尔电话实验室主任、国家科学院主席朱伊特（F. B. Jewett），国家专利局局长科尔（C. P. Coe）。此外，还有来自海军与陆军的代表各一位。秘书是斯图尔特（I. Stewart）。伊利诺伊大学化学系主任亚当斯（R. Adams）后来也通过安全审查增补为委员。



1940年的万尼瓦尔·布什（1890-1974）



国防研究委员会的定位

- 最初，军方对于成立国防研究委员会的必要性认识有限，认为那只不过是体制外科学家绕过军方游说总统的结果，弄不好会对军队的科研项目产生排挤效应。
- 因此，他们主张国防研究委员会只资助那些陆军和海军实验室及其合作机构不愿意从事或者尚未从事的研究项目。
- 为了打消军方对新成立的国防研究委员会的顾虑，罗斯福和布什一再表示，设立国防研究委员会旨在充分动员大学、企业等民口科研力量更好地为军方提供技术支撑，它只是填补军方研究留下的空白和缝隙，而非替代军方目前的研究。
- 这意味着国防研究委员会只能重点资助那些短期内不可能见成效或者短期内有可能成功但风险极大的军工研究项目。



国防研究委员会部分成员合影
大约摄于1940年底前后



国防研究委员会的资助方式

- 明确自身的定位、赢得军方的理解之后，国防研究委员会很快就完成了对陆、海军研究活动的考察，并编制了一份技术工作清单，内容包括陆、海军尚未取得进展的研究工作，以及一旦美国放弃中立，军方必须立即从事的研究项目等。
- 同时，该委员会还与775家大学、企业研究所和非营利机构取得联系，迅速摸清了必要时可以获得的科研人才与专门设施，以及已取得的技术进展等情况。
- 弄清了军方的项目开展状况和民间的研究实力储备之后，国防研究委员会选定了五大重点资助领域，并由除布什本人和军方两名成员之外的五名委员各负责一摊。
- 同时，该委员会明确了资助原则：**主要通过合同开展委托研究**，不建立自己的实验室，尽量利用已有研究机构，实在找不到合适的研究机构时才会考虑资助建立新的机构，但这个新机构不得隶属委员会。



美国海报



国防研究委员会的两项杰作

- 国防研究委员会在根据自己的拾遗补缺性质，资助战争部和海军部所属实验室及其合作机构不愿意从事或者尚未从事的研究项目方面，有两项工作做得可圈可点：
- 一是将早先设立的铀咨询委员会纳入自己的管辖范围；二是支持麻省理工学院创立了辐射实验室。
- 前者乃曼哈顿工程的序曲，最终导致铀弹和钚弹的问世；后者乃雷达工程的前奏，最终导致远程雷达和近炸引信的问世。
- 当时，在军方看来，前者属于短期内不可能见成效的研究项目，后者属于短期内有可能成功但风险极大的研究项目。正因为如此，国防研究委员会早期在组织学术界和工业界的力量推进这两项研究时才没有遇到太大的阻力。





不列颠空战



德国军机1940年9月轰炸伦敦

- 1940年7月，法兰西战役结束，法国、荷兰、比利时、卢森堡、丹麦、挪威等国全都被纳粹征服，整个西欧只剩下一个主权独立国——英国。
- 此时，希特勒向英国伸出了橄榄枝。若英国选择求和，同意与纳粹合作，那么美国就自然失去了抗击纳粹的桥头堡。若英国选择继续抵抗，它在西欧已经没有一个可以依靠的盟友，只要处于大西洋另一侧的美国仍不肯放弃中立，就只能长期独立抗战。
- 英国首相丘吉尔没有选择屈服！于是，德国制定了进攻英国本土的“海狮计划”，并从1940年7月16日起对英国的海峡护航舰只和南岸港口发起了攻击。
- **1940年8月13日，德国空军开始实施鹰日计划**，对英国本土的军事设施进行了大规模轰炸，并与英国军机展开了大规模空战。持续将近一年的不列颠空战由此爆发。



英国蒂泽德爵士访美



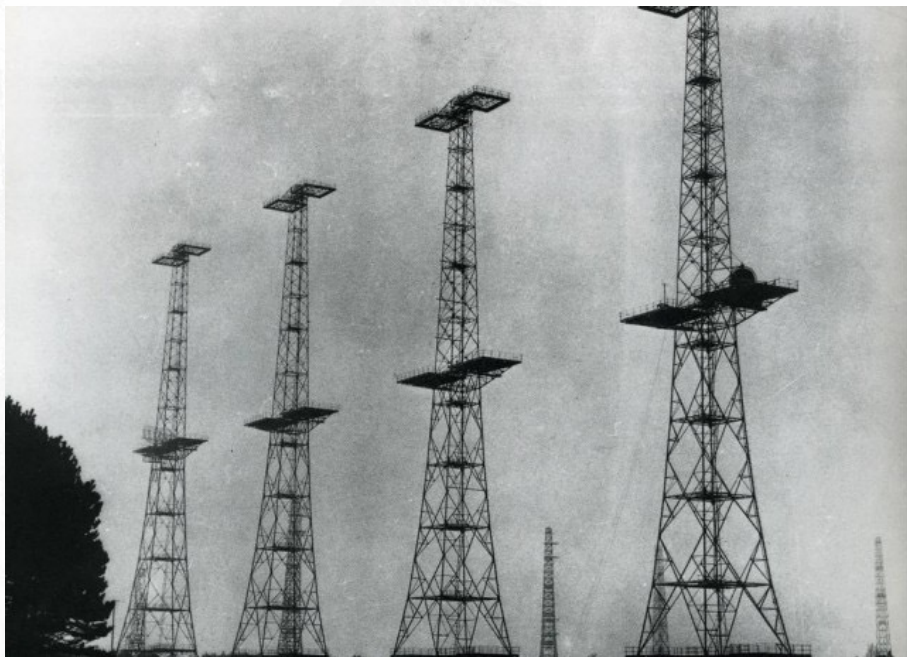
亨利·蒂泽德

(Henry Thomas Tizard , 1885—1959)

- 1940年8月14日，遵照首相丘吉尔8月9日的指示，英国空防科学调查委员会主席、帝国理工学院院长蒂泽德（H. Tizard）爵士和皇家空军上尉皮尔斯（F. L. Pearce）乘坐飞艇前往纽芬兰。此行主要目的是与美国政要洽谈开展军事科技交流与合作的可能性。
- 抵达华盛顿后，蒂泽德于1940年8月底会晤了美国国防研究委员会主席布什。不过，在与其技术部门负责人会谈时，双方都显得非常谨慎，担心在没有任何收获的情况下，先泄露了己方的技术秘密。
- 1940年9月12日，比蒂泽德晚半个月离开英国的使节团其他成员如核科学家科克罗夫特（J. Cockcroft）、雷达科学家鲍恩（E. G. Bowen）等人也赶到华盛顿。他们冒险携带了多项英国最高军事科技秘密。
- 1940年9月19日，在国防研究委员会召开的一次会议上，蒂泽德技术使节团给美方展示了一份制作远程雷达用核心部件——能够发射微波脉冲的“共振腔磁控管”，从而一举赢得了美方的信任。



英国最早建成雷达防御网



英国1935年建成的雷达防御网

- 一战结束后不久，可携带重型炸弹进行远距离高空飞行的全金属单翼飞机问世，使得对军用飞机，尤其是重型轰炸机的远距离预警成为了一项重要的军事需求。很快，一种利用无线电波进行定向与测距的装置，亦即雷达宣告诞生。
- 当时，英国对研制雷达最为热心，雷达技术也最为先进。德国拥有世界上最强的武力，所以对防御用的雷达兴趣不大。美国有大洋可以阻隔外敌入侵，所以对雷达的研制并没有紧迫感。
- 根据沃森-瓦特（R. Watson-Watt）的提议，蒂泽德推动英国从1935年9月开始构建世界上首个本土链雷达防御网。
- 不过，防御网中的雷达无法侦测到100英里以外的飞机。显然，这种雷达难以满足作战要求。因此有必要研制波长更短、能量更大的雷达。



英国的共振腔磁控管性能超群

The Birmingham Connection: The Cavity Magnetron

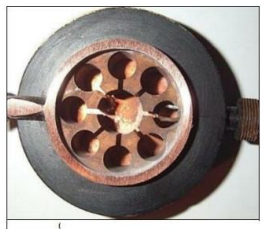


Oliphant, Randall and Boot: 21/02/1940

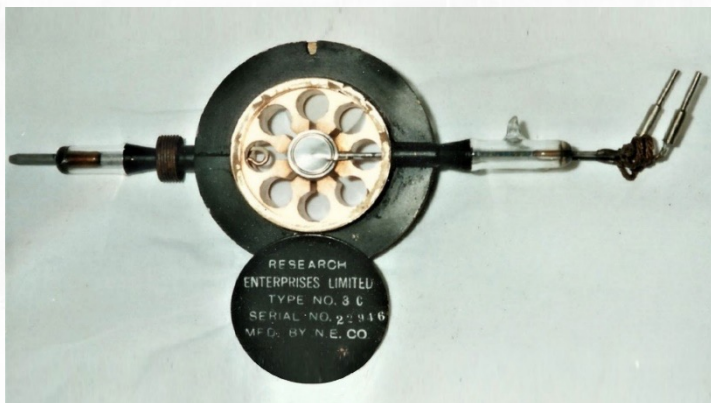
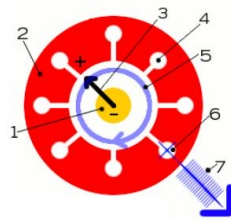
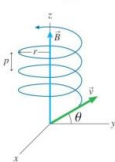
University of Birmingham/GEC



Kilowatts of power at centimetric wavelengths!



$$v = \frac{E \times B}{B^2}$$



- 1940年2月21日，伯明翰大学奥利芬特（M. Oliphant）研究团队的兰德尔（J. Randall）和布特（H. Boot）结合传统的磁控管和速调管的特点，发明了可以使雷达获得高动力源的共振腔磁控管。
- 稍做改进后，这种仅有手掌大小的磁控管就能发射波长不到10cm、功率超过1千瓦的高能微波脉冲，因而很好地解决了实用雷达的高动力源与小型化问题。
- 尽管这种磁控管的发明唤起了英国军方的种种憧憬，但在德国空军的轰炸强度和轰炸范围越来越大的情况下，要在英国本土完成其技术改良并实行大规模生产已成为一种奢望。何况磁控管的批量生产还只是第一步，各种雷达系统的开发还需要投入更多的人力与物力。
- 在迫不得已的情况下，英国决定将自己的最高军事秘密雷达技术毫无保留地转让给美国，以推动美国帮助自己研制新型雷达。



美国决定与英国开展技术合作

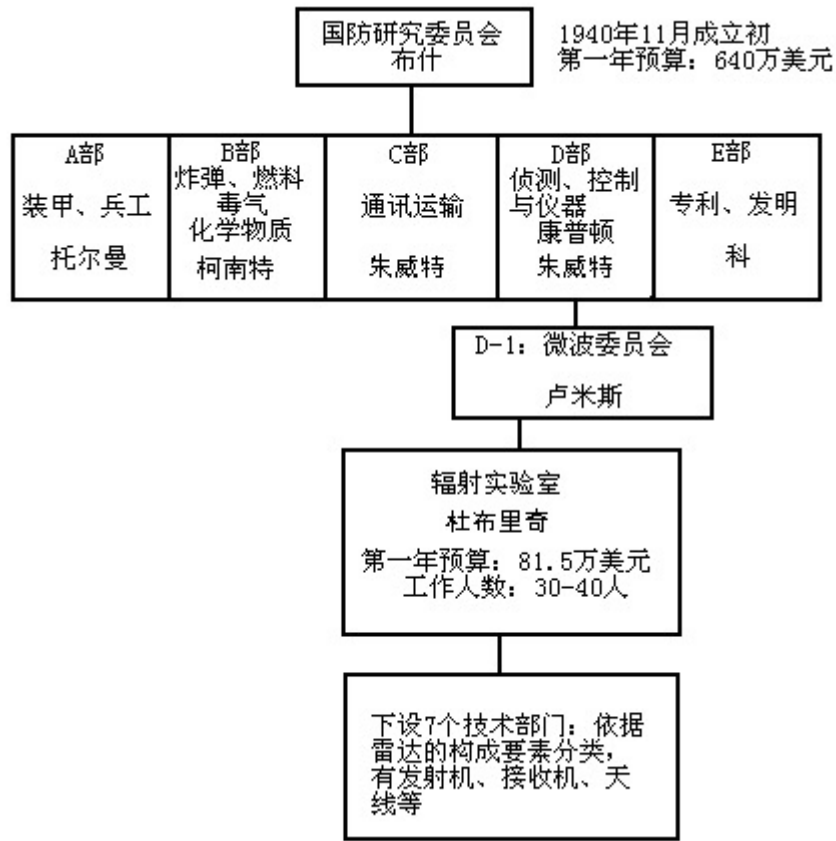


蒂泽德1940年携带磁控管访问MIT研究人员

- 在1940年9月19日召开的那次会议上，蒂泽德代表团展示的共振腔磁控管能以10千瓦的功率产生10厘米波长的微波，这个功率数大约是美国当时最佳发射管的1000倍左右。
- 1940年9月28日，蒂泽德的随行科学家鲍恩带着磁控管来到国防研究委员会微波委员会主席卢米斯（A. Loomis）研究室，并热心地向卢米斯等人展示了其设计蓝图和一些技术图表。
- 卢米斯很快就向其堂兄、时任陆军部部长史汀生（H. L. Stimson）进行了汇报。
- 布什、康普顿、卢米斯等专家与蒂泽德技术使节团进行接触后，一致建议美国接受英国的请求，成立一家核心实验室，以共振腔磁控管为基础，全面开展微波雷达的研制工作。
- 在英国方面的恳切要求和国防研究委员会的推动下，美国政府和军方终于授权微波委员会签署了同英国合作开发微波雷达的合约。



“辐射实验室”的创立



辐射实验室成立初期的管理结构图

- 1940年10月11日，美国和英国合作组建的“微波实验室”正式启动。同时，双方还就雷达部件的生产问题达成协议，譬如由贝尔实验室负责生产共振腔磁控管、斯佩里负责生产抛物面反射器，RCA负责生产阴极射线管、电源供应器和中频放大器等。
- 经过密切磋商后，国防研究委员会决定将研制微波雷达的核心实验室设在麻省理工学院，并于当年12月中旬决定将其定名为“辐射实验室”，以迷惑敌方情报部门。
- “辐射实验室”完全由科学家自主负责运营。国防研究委员会通过签订合同的方式将研究任务赋予实验室后，便不再插手实验室的任何管理活动。
- 到战争结束时为止，“辐射实验室”录用的员工数发展至3897名，其中科学家及工程师占30%。当时美国的一流物理学家中几近一半在为其效力。



英国与美国分享的不只是微波雷达

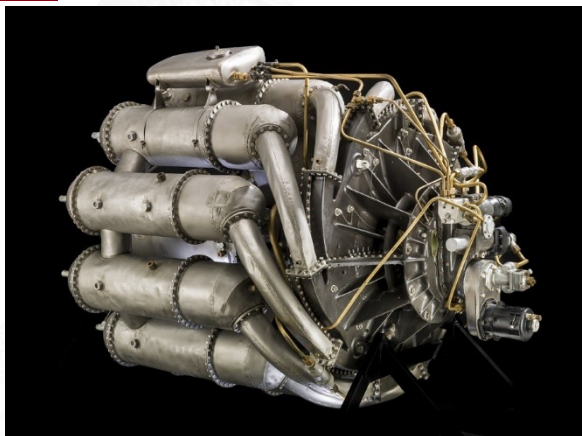
辐射实验室成员1970年代前获得诺贝尔奖名单

诺贝尔奖类别	获奖年度	获奖科学家
物理学奖	1944年	艾萨克·拉比
化学奖	1951年	埃德温·麦克米兰
物理学奖	1952年	爱德华·柏塞尔
物理学奖	1965年	朱利安·施温格
物理学奖	1967年	汉斯·贝蒂
物理学奖	1968年	路易斯·阿瓦雷兹

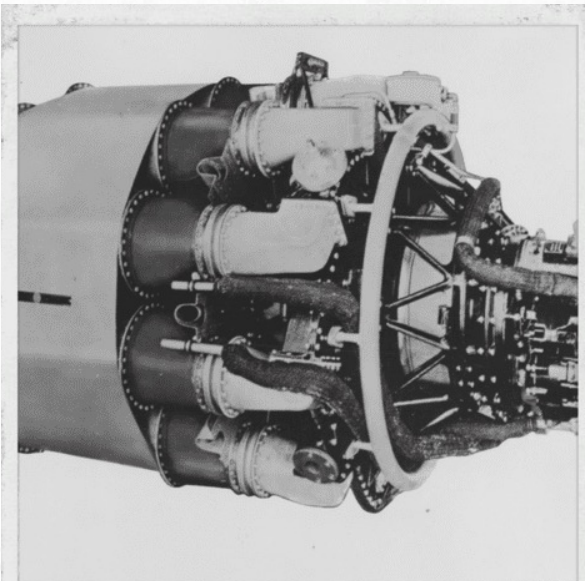
- 微波雷达关键核心部件共振腔磁控管只是由6人组成的蒂泽德技术使节团带给美国的众多礼物之一。
- 实际上，蒂泽德技术使节团带给美国的还有很多其他礼物，例如，近炸引信的设计蓝图、惠特尔喷气式发动机的详细资料、弗里希-佩尔斯关于原子弹可行性的论证报告，以及水下声纳、火箭、增压器、陀螺瞄准镜、自密封油箱和塑性炸弹的设计方案或试验样机等。
- 除了青霉素是通过其他途径传入美国之外，被应用到二战中的源自于英国的重要军事技术几乎都是在这一次带给美国分享的。
- 微波雷达、原子弹、近炸引信、陀螺瞄准器、青霉素对二战取胜至关重要。所有这些，都离不开英国的前期贡献。



美国在军事科技交流中获益良多



惠特尔W.1X喷气发动机



America's first jet engine

- 尽管在微波雷达系统投入使用时，德国对英国本土的轰炸已基本结束，但机载雷达、罗兰导航和近炸引信等技术为盟军在欧洲和太平洋战场获胜提供了极大的帮助。
- 美国历史学家James Phinney Baxter III曾说过：“当蒂泽德使团成员1940年将共振腔磁控管带到美国时，他们已将有史以来最有价值的货物运到了我们的海岸。”
- 除成功转让雷达技术外，蒂泽德使团还为**原子弹和喷气发动机**的研发开辟了交流通道。因此它被认为是英美战时结盟的标志性事件之一。
- 由于当时正陷入绝境，所以英国不得不与美国分享了很多具有巨大商业利益前景的技术。
- 总之，美国在二战期间从英国获得了巨大的技术利益。**大批军民两用核心技术的获得对于迅速提高美国的科技竞争力功不可没。**



国防研究委员会面临诸多难题

- 1940年6月成立的国防研究委员会只是一个直接对总统负责的咨询机构，所需经费只能从总统控制的紧急基金中拨付。虽然在成立后的第一年里，该委员会就拿到了超过640万美元的经费，但罗斯福和布什都清楚，要想加快国防科技研究，只靠总统的紧急基金拨款很难解决问题，必须建立一个更加稳固、更为有力的资金渠道。
- 布什在1941年5月提交给预算委员会的一份报告中指出，随着海外军事危机的迅速升高，亟需成立比国防研究委员会拥有更大权威的机构，以克服这几项不足：
 1. 国防研究委员会推动研制的武器离实际应用仍有一段距离，需要补上工程这一块；
 2. 国防研究委员会的机制不足以调协自身研究与陆军、海军和国家航空咨询委员会的研究；
 3. 军事医学未能纳入这个机构推进的研究范围。



研发人员在辐射实验室测试雷达信号的场景



科学研究与开发局的成立

- 1941年6月22日凌晨，德国飞机对苏联西部的重要目标进行猛烈轰炸之后，德军出动三个集团军，以数十个坦克师和摩托化师为先导，分成北、中、南三路向苏联发起全面进攻。苏德战争的爆发标志着第二次世界大战进入了新的阶段。
- 1941年6月28日，罗斯福颁布第8807号行政命令，宣布成立“科学研究与开发局”（OSRD），该局为总统紧急事务管理办公室的组成部分之一，由布什任局长，直接对总统负责。原来的国防研究委员会并入科学研究与开发局，成为其下属机构之一，改由柯南特任主席。同时在科学研究与开发局下面增设另一机构：医学研究委员会。
- 罗斯福的这项划时代的决定，把与战争相关的所有民间研发工作，包括**雷达、原子弹、青霉素、抗疟药**等，全都引导到布什的掌控之下。其中，**研制原子弹的曼哈顿工程**影响尤为显著。

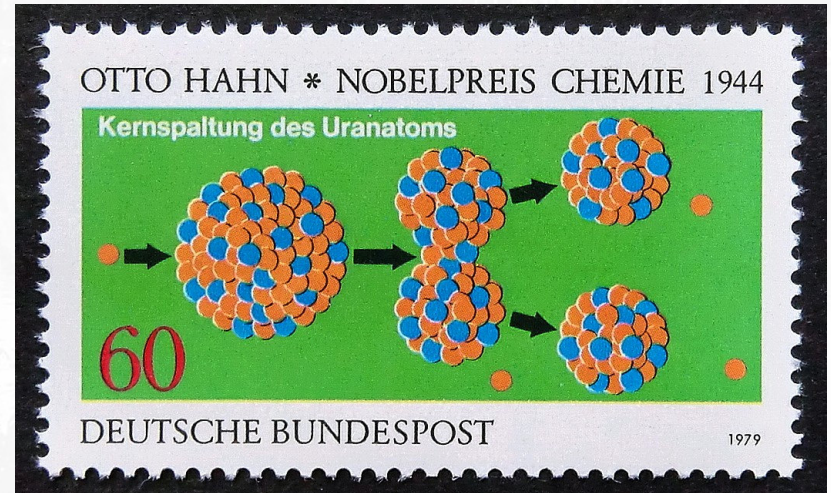
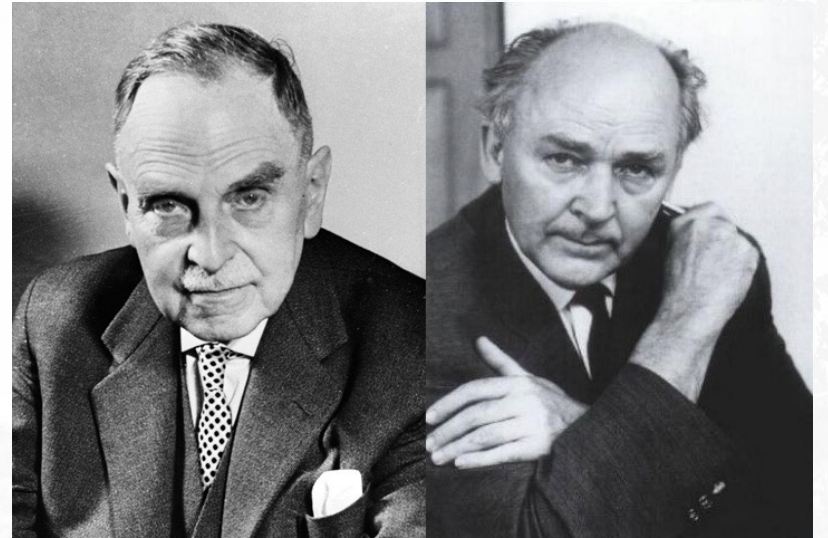


科学研究与开发局局长万尼瓦尔·布什



铀核裂变现象的发现

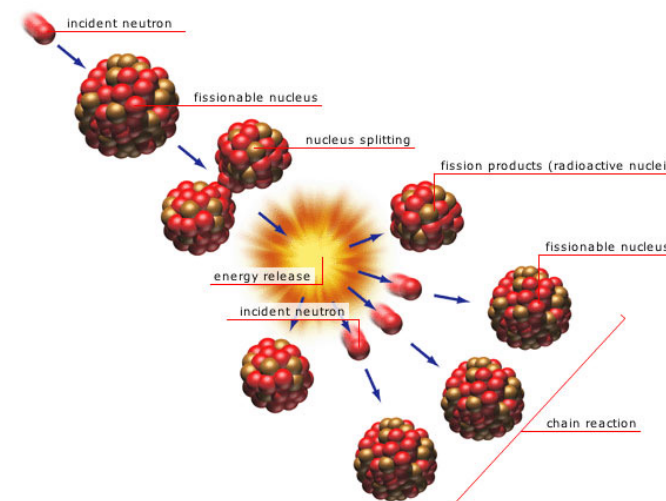
- 1932年英国物理学家**查德威克** (J. Chadwick) 发现中子之后，费米开始用中子轰击各种原子核以研究核反应。他意外地发现，在木质桌子上做中子轰击原子核的实验比在大理石桌子上做实验效果更好。进一步研究表明木质桌子可以降低中子速度，慢中子比快中子更容易被受轰击原子核俘获。
- 1934年，人们认为元素周期表中的最后一个元素是92号元素铀。**费米**团队用慢中子轰击铀核后宣称获得了93号新元素。
- 此后，许多人模仿费米用慢中子轰击铀核，试图使铀核俘获中子，以获得超铀元素。但是不同的研究者得到了不同的结果，有的声称发现了超铀元素，有的却说得到了镭和钋。
- 1938年德国物理学家**哈恩** (Otto Hahn) 想到了一个办法：可用非放射性的钡来探测放射性的镭的存在。但他和斯特拉斯曼 (F. Strassmann) 用慢中子轰击铀核后，并没有探测到镭，而是探测到了更多的钡。





核裂变在美国引起关注

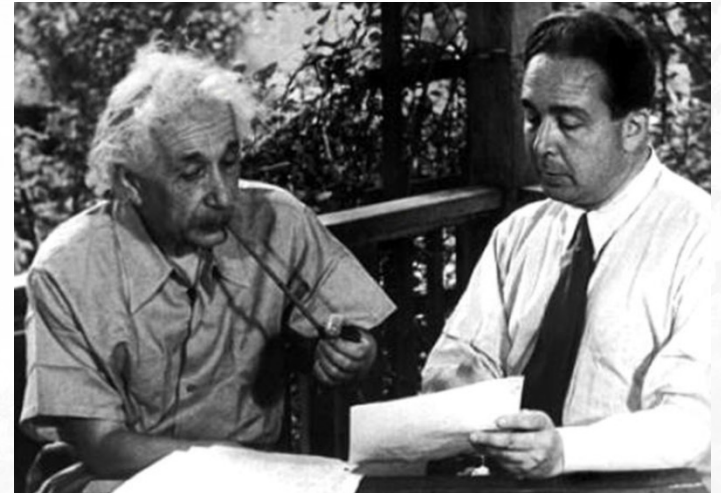
- 哈恩感到迷惑不解，于是请求已逃亡到瑞典的前同事迈特纳 (L. Meitner) 帮他解释这一铀核破裂现象。
- 1938年底，迈特纳和从玻尔研究所来访的侄子弗里希讨论并重复了哈恩的实验结果。二人随后对该实验现象进行了解释，并提出了核裂变的概念。
- **波尔** (N. Bohr) 1939年1月赴美讲学期间，报告了弗里希等人有关核裂变研究的最新进展，从而引起了美国物理学界对核裂变的关注。
- 1939年初，巴黎的**约里奥-居里**实验室证明用中子轰击铀核可以产生二代中子。波尔和美国物理学家惠勒 (J. Wheeler) 1939年3月在普林斯顿合作研究时发现，只有铀235才能在中子轰击下产生裂变并发生链式反应，而铀238并不能产生裂变。
- 这意味着从理论上讲只要提炼出足量的高浓度U235，就有可能制造出原子弹。问题是，天然铀中的U235丰度只有0.7%，且铀矿资源非常稀缺。



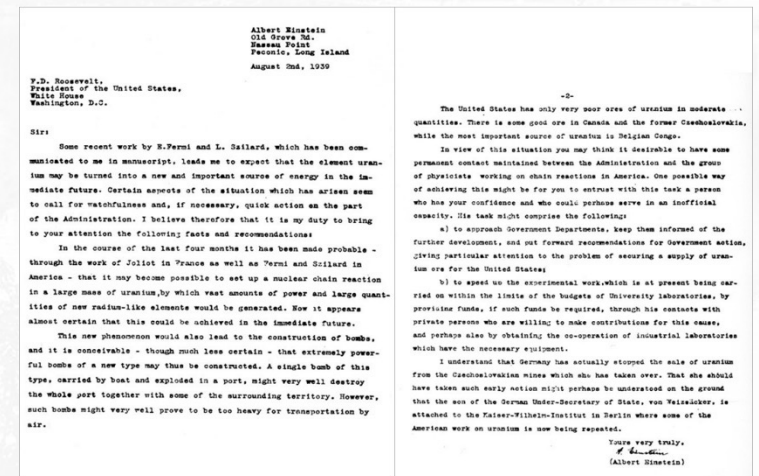


爱因斯坦致信罗斯福警惕核武

- 1939年3月，纳粹德国占领捷克斯洛伐克后，开始禁止该国出口铀矿石。这引起了美国物理学界对纳粹德国有可能研制原子弹的担忧。
- 1939年夏，费米和西拉德提醒美国军方警惕纳粹研制原子弹无果后，开始把希望寄托在与政界关系密切的爱因斯坦身上。
- 应西拉德等人的请求，爱因斯坦于1939年8月2日给罗斯福写了一封信。他在信首写到：
 - “总统先生：最近我通过书信与费米和西拉德沟通时获悉他们的一些最新工作进展，这使我意识到铀元素在不远的将来可能会成为一种新的且重要的能源。事态发展的某些方面似乎正在提醒我们应当警觉起来，并且如果有必要的话，行政部门应当迅速采取行动。”
- 爱因斯坦除了建议开展核武器研究外，还敦促美国获取和储存铀矿石。罗斯福1939年10月收到该信后授权成立了由国家标准局主任布里格斯 (L. J. Briggs) 担任主席的的铀咨询委员会。



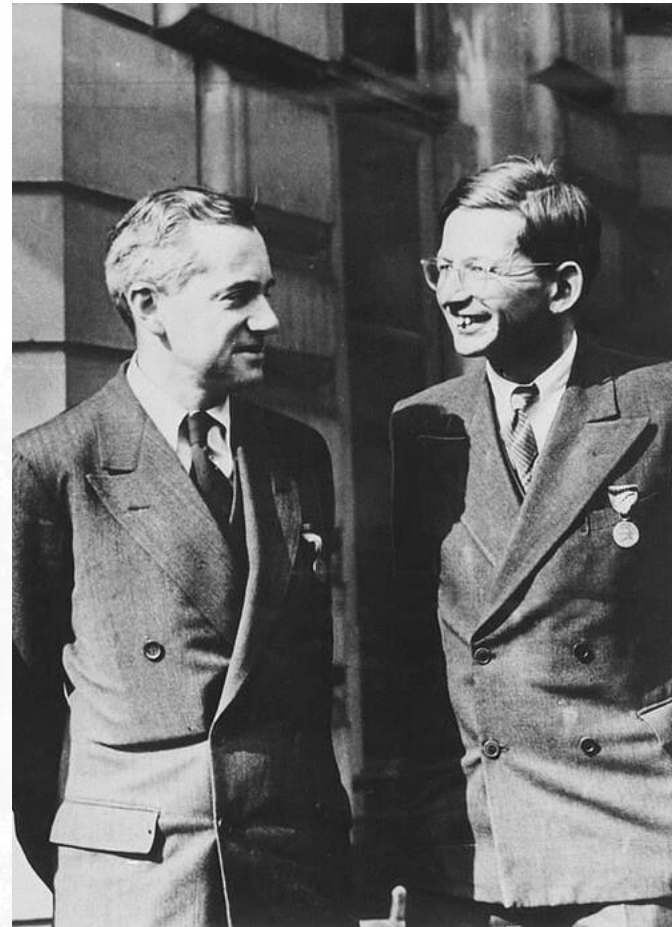
爱因斯坦（左）与西拉德（右）





原子弹研究早期未受美国重视

- 铀咨询委员会认为制造原子弹是一种短期内很难实现的可能，并不主张投入大量经费冒险支持。
- 因此，最初只申请了一笔8000美元的小额拨款，并将其中的6000美元用于支持费米和西拉德在哥伦比亚大学开展石墨与铀氧化物实验研究。
- 1940年6月国防研究委员会成立后，铀咨询委员会转隶国防研究委员会，并更名为铀委员会。
- 1940年8月蒂泽德率团访美寻求科技合作之前，伯明翰大学的两位犹太移民学者弗里希和佩尔斯（R. Peierls）通过计算确认，制作1颗超级炸弹即原子弹所需的浓缩铀只需以千克为单位，无需以吨为单位；而且将两块小于临界质量的浓缩铀快速地合在一起，就可以引爆原子弹。
- 不过，蒂泽德使节团成员将弗里希-佩尔斯关于原子弹可行性的论证结论通报给美方时，美国并没有像雷达研究那样立即给予高度关注。

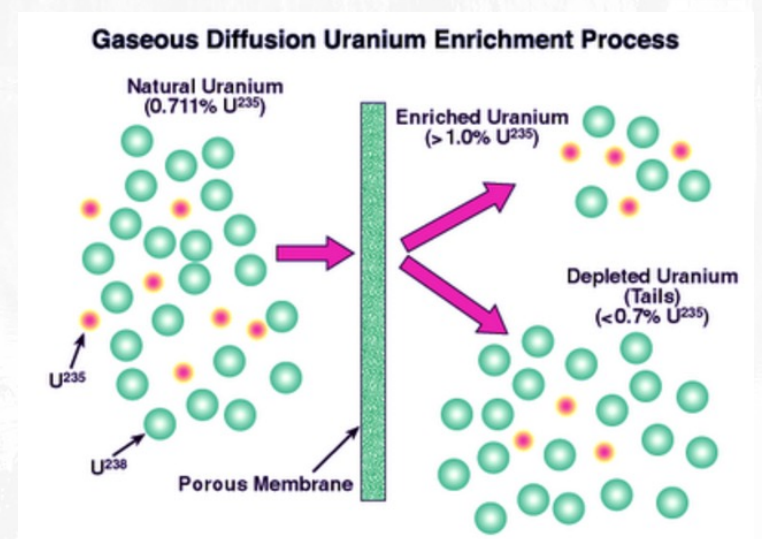
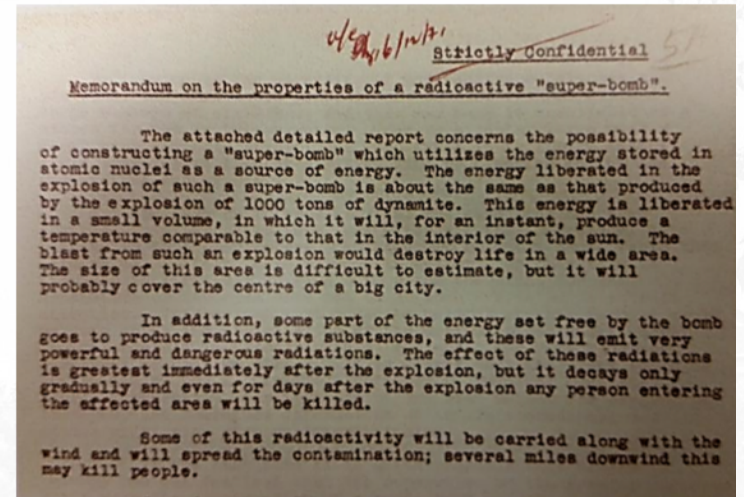


弗里希（左）和佩尔斯（右）



英国穆德委员会确认铀弹可行

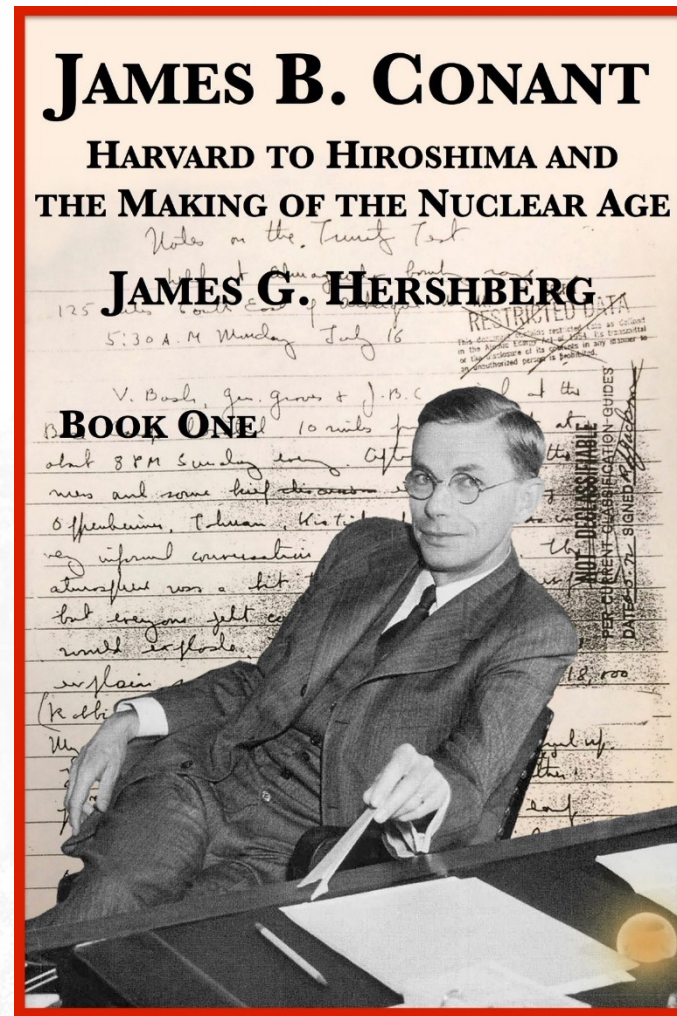
- 实际上，蒂泽德1940年3月收到弗里希-佩尔斯备忘录时也没有立即信以为真，于是决定在其主宰的防空科学调查委员会下面设立一个专门委员会来评估铀弹项目的可行性。不久后，该专门委员会更名为“穆德委员会”（MAUD Committee）。
- 穆德委员会主任由帝国理工学院的**汤姆逊**（G. P. Thomson）担任；成员有伯明翰大学的**奥利芬特**及其同事**莫恩**（P. Moon），利物浦大学的**查德威克**，剑桥大学的**科克罗夫特**及其同事**布莱克特**（P. Blackett）等。
- 穆德委员会从1940年4月开始分成利物浦大学、伯明翰大学、牛津大学和剑桥大学四个研究小组分头对弗里希和佩尔斯的论证逻辑和可能的铀235分离方案进行评估。1941年3月，他们接受了弗里希和佩尔斯的结论：制造原子弹的计划是可行的，而且很可能会给战争带来决定性的结果。





英国未与柯南特使团讨论核研究

- 由于蒂泽德技术使节团1940年访美时仍没有把握断定有可能在战争期间研制出原子弹，所以在与美国军事、技术和科学专家展开的150余次会谈中只围绕核研究议题讨论了2次。
- 不仅如此，美国国防研究委员会B部主管、哈佛大学校长柯南特率领物理学家班布里奇 (K. Bainbridge) 等使团成员于1941年3月1日抵达伦敦进行回访时，双方仍未就原子弹的研制问题展开专题讨论。只是在非正式场合谈及工业和军事利用原子能问题。
- 当时，科南特与绝大多数国防研究委员会技术官员以及美国原子物理学家一样，并不相信制造原子弹是现实可行的。
- 然而，穆德委员会此后的一系列工作改变了以布什为首的美国国防研究委员会的看法。

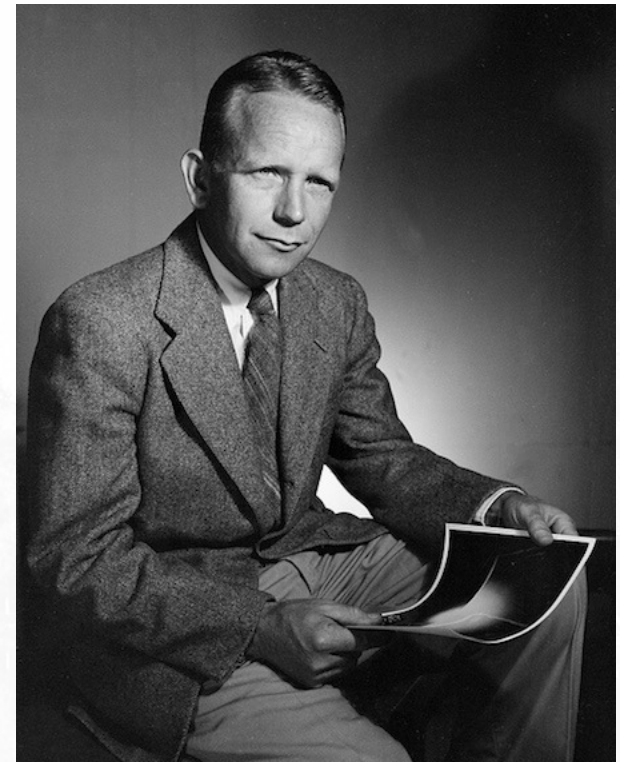


詹姆斯·柯南特
(James B. Conant, 1893-1978)



美国对研制铀弹态度的转变

- 蒂泽德使团访美期间，曾于1940年10月与美国签署了英美技术与科学信息交换协议。这为两国类似军工项目研究团队直接建立研究信息和实验数据交换管道提供了保障，而且还为英美加三国科学家之间实现定期互访创造了条件。根据这项协议，**班布里奇可以列席穆德委员会的绝密会议。**
- 1941年3月，穆德委员会接受了弗里希和佩尔斯的结论，因为进一步的理论研究和实验研究均表明：只要能开发出可分离铀235或钚的技术手段，就可以研制出机载原子弹。
- 班布里奇及时向布什报告了这些信息。英国这一态度的转变使布什相信研制原子弹是现实可行的。
- 此后，布什决定进一步调查核能的前景，由MIT校长**康普顿**负责。国家科学院院长朱伊特随后组建的一个物理学家委员会在1941年5月17日的一份报告中建议：美国应大力加强对铀的研究。

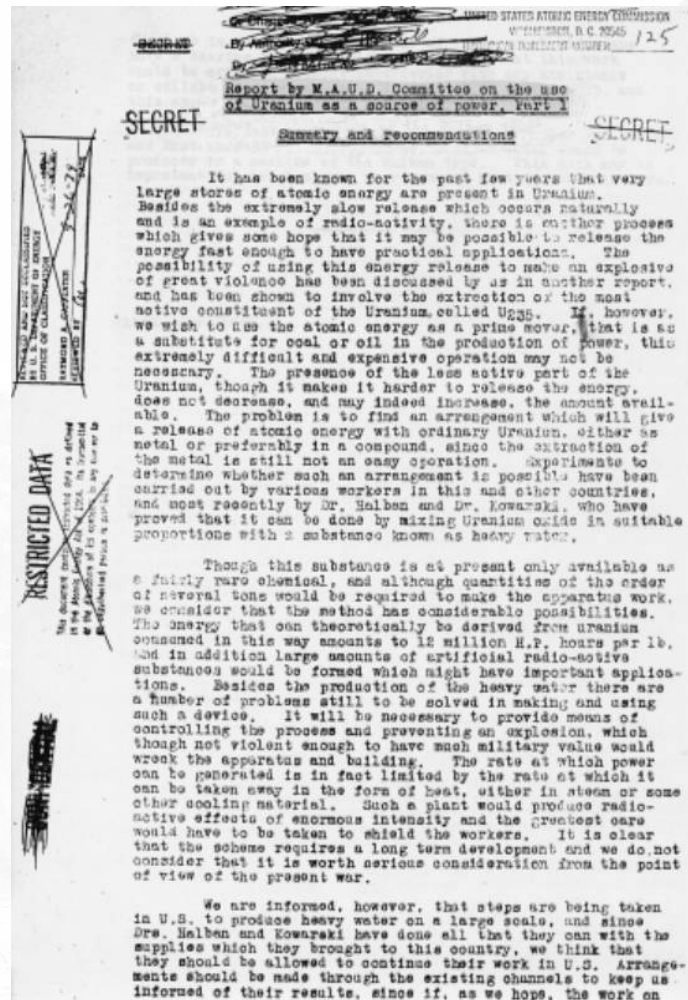


肯尼斯·班布里奇
(Kenneth Bainbridge, 1904-1996)



穆德委员会报告定稿

- 1941年6月美国科学研究与开发局成立。布什随即就将国防研究委员会下属的铀委员会调整为科学研究与开发局的直属机构。出于保密的需要，随后又将铀委员会更名为S-1部门。S-1部门的主任由国家标准局的布里格斯续任，副主任由哥伦比亚大学的皮格拉姆（G. B. Pegram）担任。
- 同月，英国穆德委员会完成了著名的穆德委员会报告初稿。该报告最终稿于1941年7月完成。它不仅讨论了原子弹在战争中的可行性和必要性，而且还讨论了用铀替代煤炭或石油作为能源的发展潜力。
- 报告的结论是，原子弹不仅在技术上可行，而且可以在两年内生产出来，因此建议紧急研制原子弹。
- 作为对穆德委员会报告的回应，英国1941年7月启动了代号为“管合金”的原子弹研制计划。该计划主要聚焦在铀235的分离方法上，最初青睐的主要是气体扩散法。



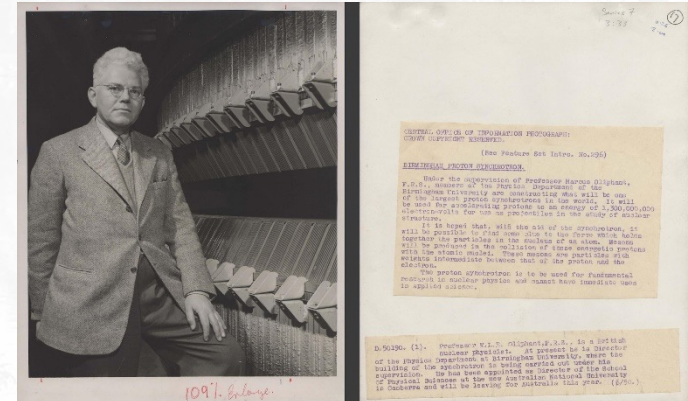


穆德委员会报告在美国被耽搁

- 1941年7月15日的穆德委员会报告很快就发送给了美国科学研究与开发局S-1部门主任布里格斯的手中。鉴于英国在战时可投入的人力和物力资源不足以满足研制原子弹的需要，加上研究浓缩铀的实验室万一被德国军机轰炸会引起极其严重的后果，所以英国希望能够获得美国的支持。
- 在报告发送给美方没有得到任何反馈的情况下，奥利芬特于1941年8月下旬飞往美国，表面上是讨论微波雷达计划，实际上是想弄清楚为何美国对穆德委员会报告的建议没有反应。最后，他获悉布里格斯收到报告后把它锁在保险柜里了，并没有把它及时交给有关人员和部门处理。
- 访美期间，奥利芬特拜访了艾里森 (S. Allison)、劳伦斯、费米和科南特等人，当面解释了研制原子弹的紧迫性，并获得了艾里森、劳伦斯等人的理解与支持。



伯明翰大学坡印亭物理楼



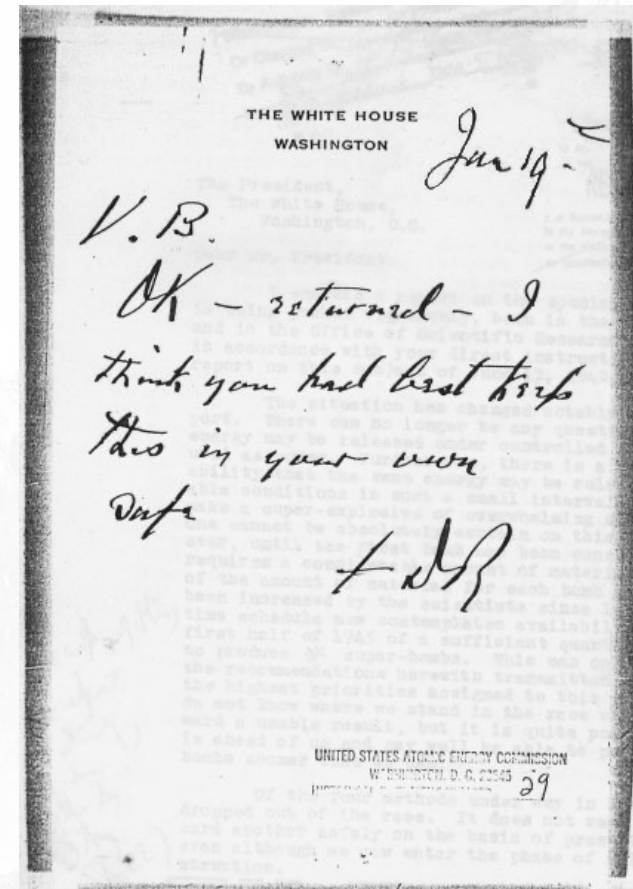
马克·奥利芬特

(Marcus Laurence Elwin Oliphant, 1901-2000)



美国的原子弹研究开始提速

- 1941年10月9日，布什在向罗斯福和华莱士（副总统）汇报原子弹相关工作时，介绍了英国的穆德委员会报告和“管合金计划”。在布什的建议下，罗斯福决定**尽快启动原子弹研发项目**，先查明是否能够及时建造出以及要花多大代价才能建造出原子弹。两天后，罗斯福致电丘吉尔，建议双方加强原子能研究合作。
- 1941年11月6日，康普顿在向布什汇报时确认，有2-100千克的铀235就足以制造出威力强大的原子弹，分离出这些同位素约需0.5-1亿美元。
- 1941年12月6日，布什召开S-1部门会议，拟定由**芝加哥大学的康普顿**负责研究核武理论和利用石墨堆生产钚的链式反应，**哥伦比亚大学的尤里**（H. Urey）负责使用气体扩散和离心方法分离铀235以及利用重水堆生产钚，**加州大学伯克利分校的劳伦斯**负责使用电磁方法分离铀235以及钚的小样品制备与回旋加速实验，标准石油开发公司的墨菲（E. V. Murphree）负责督导工程研究和试验工厂建设。



1942年1月19日罗斯福签批了布什1941年11月9日提交的试制原子弹报告



S-1执行委员会的成立

- 1941年12月7日，日本海军偷袭珍珠港。次日罗斯福签署了对日战争宣言。
- 1941年12月16日华莱士主持召开了专门负责原子弹项目的高层决策小组会议。该高层决策小组是罗斯福应布什先前的提议批准成立的，成员包括罗斯福、华莱士、布什、科南特、史汀生以及马歇尔（参谋总长）。这次会议批准了布什月初提出的安排。两天后，S-1部门大幅度追加了原子弹项目的研究与开发经费。从此，美国的原子弹项目由经费很少、时间很多转入经费很多、时间很少阶段。
- 1942年5月23日，柯南特主持召开的S-1部门会议评估后认为，时间比经费更为重要，有必要尽快启动原子弹生产设施的设计与建造，建议此项工作由陆军工程兵团负责。
- 1942年6月，罗斯福批准布什的建议，解散S-1部门，成立以柯南特为主席的S-1执行委员会，将原子弹工程设计与制造阶段的工作交由陆军工程兵团负责。



S-1 Committee members at Bohemian Grove, September 13, 1942. Left to right: Harold C. Urey, Ernest O. Lawrence, James B. Conant, Lyman J. Briggs, Eger V. Murphree, and Arthur H. Compton.



陆军工程兵团接管原子弹项目

- 1942年6月，美国军方任命马歇尔（J. C. Marshall）上校为替代材料开发（DSM）实验室，即原子弹项目负责人。出于保密需要，1942年8月13日美国军方因该项目总部当时设在纽约的曼哈顿而将其命名为**曼哈顿工程区（MED）**。
- 1942年9月，布什与陆军达成共识，由陆军全面接管原子弹的设计与制造。因马歇尔循规蹈矩，工作进展缓慢，军方决定由曾领导五角大楼建设项目的格罗夫斯（L. Groves）上校接替马歇尔负责整个原子弹项目。六日后，格罗夫斯被提升为准将。
- 格罗夫斯上任不到两天就成功地把该项目的优先权升为最高级，并选定田纳西州的橡树岭作为铀同位素分离工厂基地。随后又将总部总部搬迁至华盛顿。
- 1942年11月，格洛夫斯决定由奥本海默（R. Oppenheimer）担任将在新墨西哥州洛斯阿拉莫斯建立的炸弹研究与设计实验室负责人。

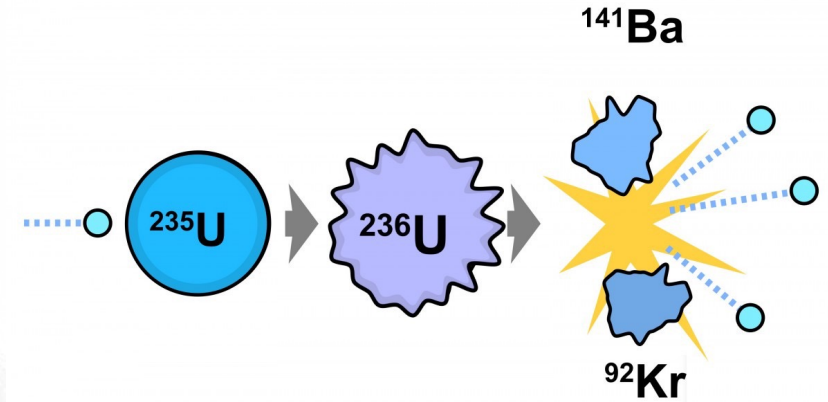


莱斯利·理查德·格罗夫斯
(Leslie R. Groves, 1896-1970)

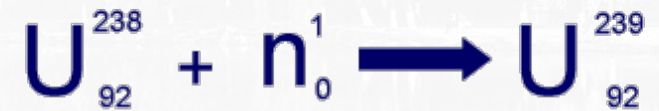


两种原料：铀235与钚239

- 1939年春，科学家们发现，只有铀235（中子加质子数量为235）可以在慢中子轰击下产生裂变，并发生链式反应；铀238并不能产生裂变。然而，自然界中，与铀238相比，铀235的丰度很低。因此，如何提炼U235就成了一个大问题。
- 虽然铀238不能产生裂变，但是科学家们发现，铀238在慢中子的轰击下可以变成第93号元素镎（Neptunium，海王星），而第93号元素不稳定，会衰变成为第94号元素钚（Plutonium，冥王星）。虽然存在钚239和钚240两种同位素，但钚240含量很低，含量高的钚239可以产生核裂变，因此它也可以像铀235一样用作原子弹的原料。
- 问题是，如何从铀238的大海中提炼出铀235？又如何制造提炼钚239？



Common uranium isotope 238 absorbs a neutron to become uranium 239



This is a beta emitter - it decays to produce neptunium 239



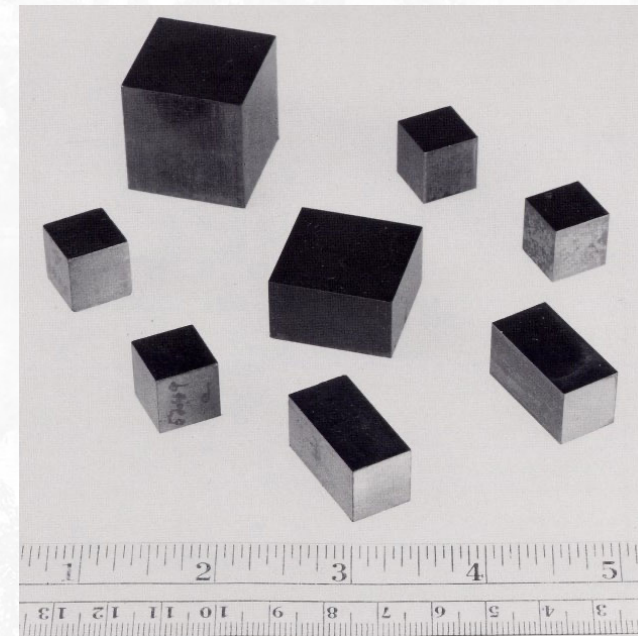
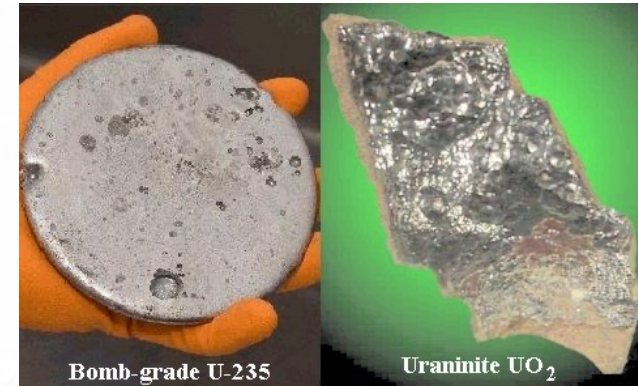
which in turn decays to produce plutonium 239





技术路线的艰难选择：铀

- 提炼U235的技术路线有：电磁分离法，离心机分离法，气体扩散法，以及热扩散法。主要思路是针对U235和U238的质量差异，利用各种动力学、热力学和电磁学原理来进行分离。
- **离心机分离法**一度被认为是最好的方法，但因技术问题，最终被迫放弃。**热扩散法**效率很低，故也没有受到重视。
- 至1942年11月中旬，被寄予厚望的铀235分离法主要是，劳伦斯的电磁分离法和尤里的气体扩散法。但这两种方法谁优谁劣，尚存在着争议，而且这两种方法都还有不少问题亟待解决。
- 由于必须抢在德国和日本之前制造出原子弹，所以1942年12月10日，S-1执行委员会与格罗夫斯1941年11月18日组建的以刘易斯（W. K. Lewis）为首的评估小组协商后达成共识：不计成本，多路并举，跳过中试，直接进行全尺寸试验。



洛斯阿拉莫斯实验室
1945年存放的铀块

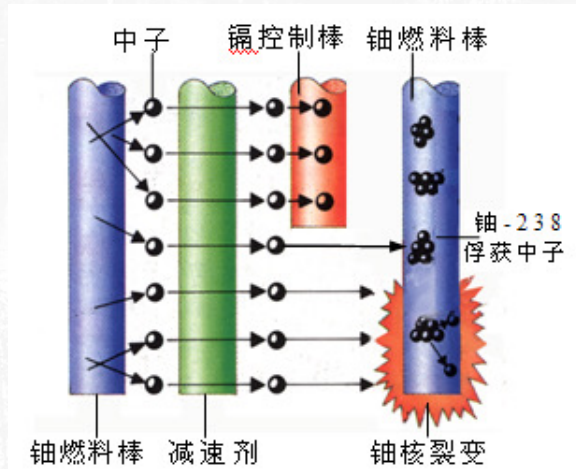


技术路线的艰难选择：钚

- 用中子轰击U238生产Pu239，需要控制中子的速度和数量。
- 使用重水作为中子慢化剂，虽然效果甚佳，但是它量少价高。因此，有必要开发其他中子慢化剂。结果，西拉德发现石墨也是一种良好的慢化剂。这样，就可以通过建造重水反应堆和石墨反应堆两种方式生产Pu239。
- 1942年12月2日，费米团队研制的芝加哥一号反应堆达到临界质量并引发链式反应。这是历史上第一座核反应堆的第一次链式反应。芝加哥一号反应堆使用石墨作为中子慢化剂，并配备了吸收中子的镉控制棒。它的成功，为钚弹的研制奠定了基础。
- 这样一来，1942年12月10日，S-1执行委员会与刘易斯评估小组开会协商时，还面临着是优先研制铀弹还是钚弹的两种不同选择。最终，不用为人力和财力发愁的美国军方选择了两个都要。



建成1号堆的芝加哥大学冶金实验室的功臣们

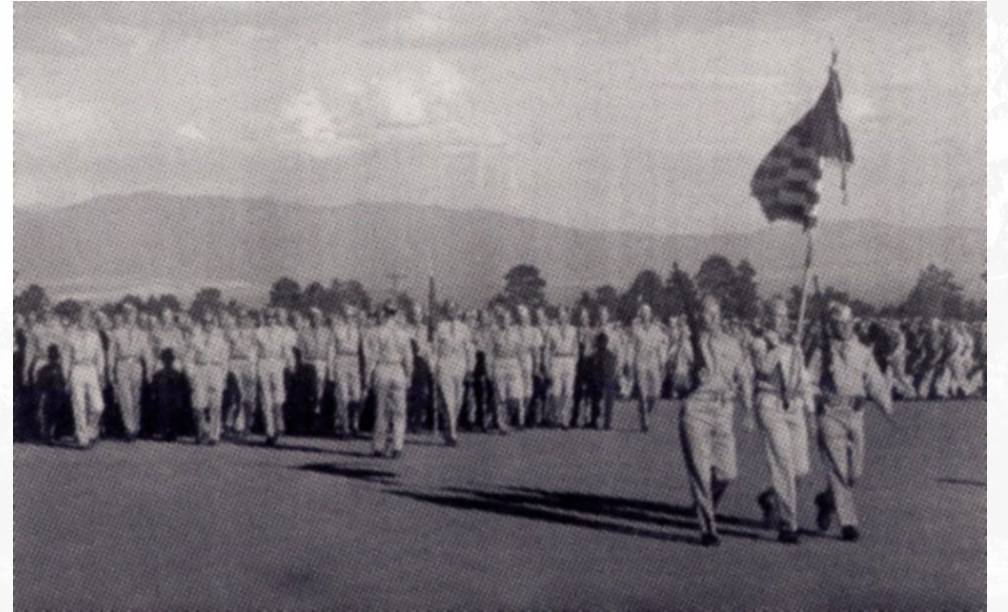


生产钚239的核反应堆原理



曼哈顿工程全面启动

- S-1执行委员会与刘易斯评估小组1942年12月10日讨论通过的建议案经布什审定后于1942年12月16日提交给了罗斯福。
- 罗斯福于1942年12月28日批准了这一政府投入最终超过20亿美元的建议案。其中5亿美元的用途在布什12月16日提交的报告中已经列出。
- “并非单一决定造就了美国的原子弹计划。罗斯福12月28日作出的决定几乎是不可避免的，因为此前的很多决定已以渐进的方式承诺美国将追求核武器。”
- 基于美国能源部网站所揭示的这一观点，似乎可以说，我们今天所讲的曼哈顿工程，或曰曼哈顿计划的启动时间实际上要比1942年12月还要早。这恐怕也是有人将1942年6月视作其起点，有人将1941年12月视作其起点，甚至有人将1939年10月视作其起点的原因所在。



军队1942年进驻洛斯阿拉莫斯



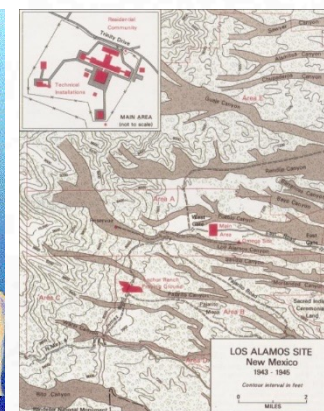
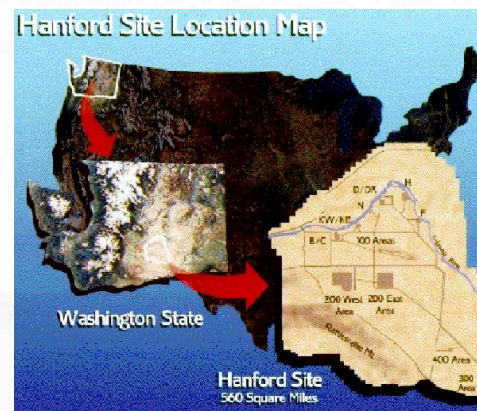
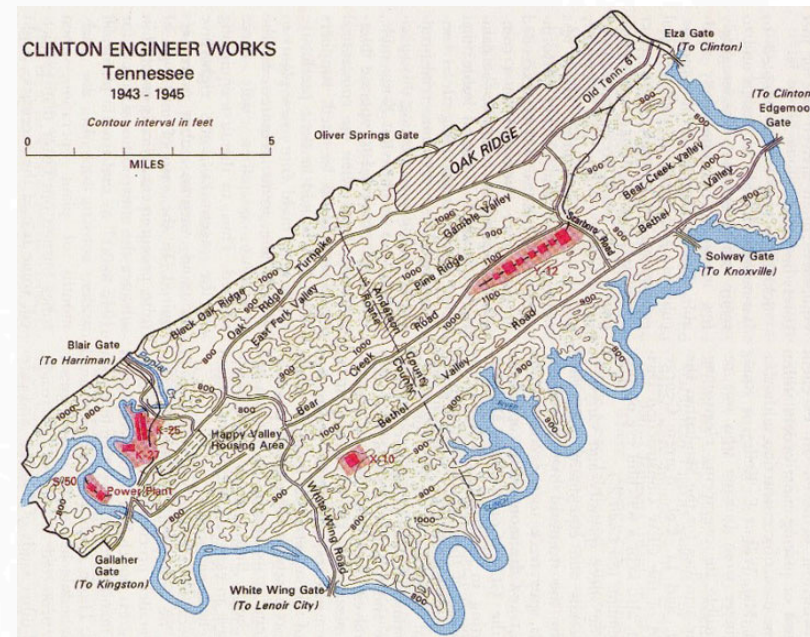
曼哈顿工程三大作业场地

曼哈顿工程三大作业场地：

1. 田纳西州的橡树岭。橡树岭工厂区建有可放置巨型磁铁的大型厂房和可进行电磁分离的真空厂房，还建有堆满了各种管道和压力泵的气态扩散工厂，以及小型热气扩散工厂和实验用小型风冷钚制造厂。此外还建有一个排在世界前几位的火力发电厂。
2. 华盛顿州的汉福德。大量提炼钚元素需要建造多个巨型核反应堆。由于核反应堆具有潜在的危險性，所以不适宜放在橡树岭这个钚235生产基地。最终钚制造厂建在紧邻哥伦比亚河和大型水电站的汉福德。
3. 新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯。洛斯阿拉莫斯主要用于原子弹的设计与组装。该地素有“诺贝尔奖得主集中营”之誉。奥本海默被誉为该集中营“营长”。

• 这三大作业场地都是从零开始兴建的，最终都建成了小型科学工程城市。

• 另有还有两个相关的、联系在一起的场地。其中一个设在芝加哥大学，另一个建在加拿大安大略省乔克里弗。





曼哈顿工程四种浓缩分离方式

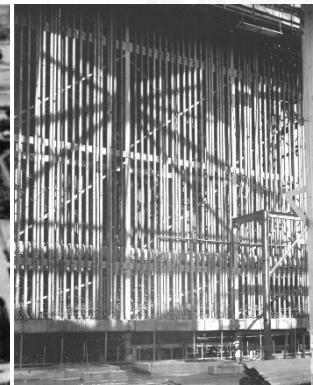
- 铀235的三种浓缩设施均建在橡树岭。其中，电磁分离法代号为Y-12工程；气体扩散法代号为K-25工程；热扩散法代号为S-50工程。
- 热扩散法可以把0.7%的铀U235提炼为0.89%，然后通过气体扩散法提炼为23%，最后再通过电磁分离法提炼为89%。
- 用风冷反应堆试生产钚的设施也建在橡树岭，其代号为X-10工程。
- B、D、F三座用水冷反应堆批量生产钚的设施和T、U两座钚238化学分离工厂均建在汉福德，其代号为W工地。



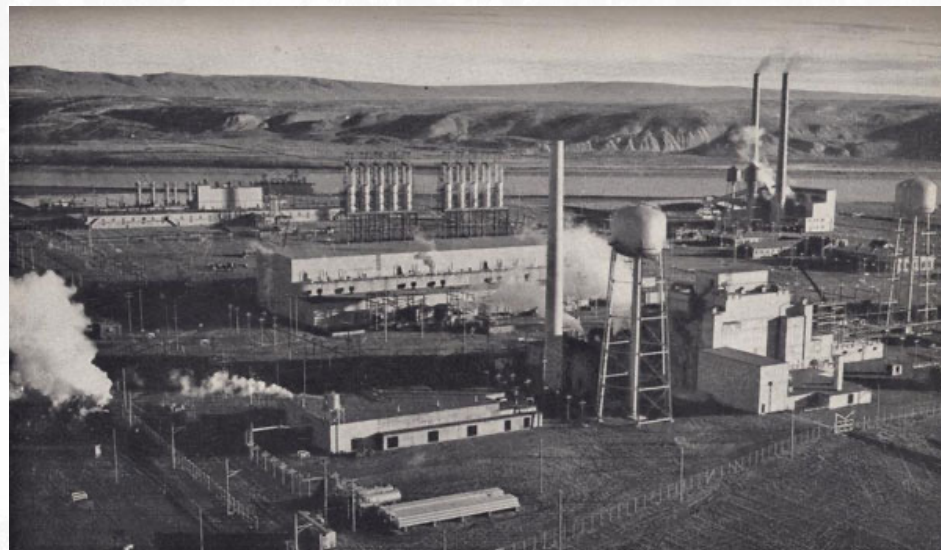
电磁分离



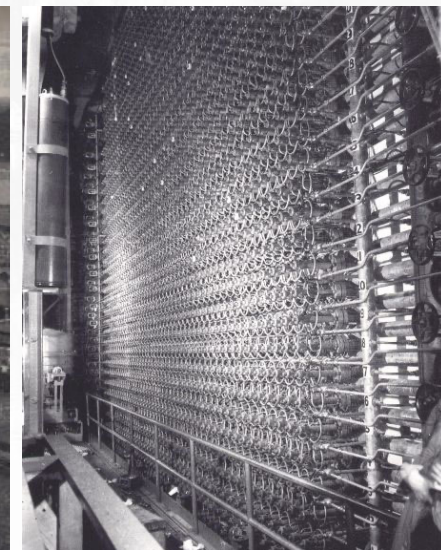
气体扩散分离



热扩散分离



汉福德钚生产厂

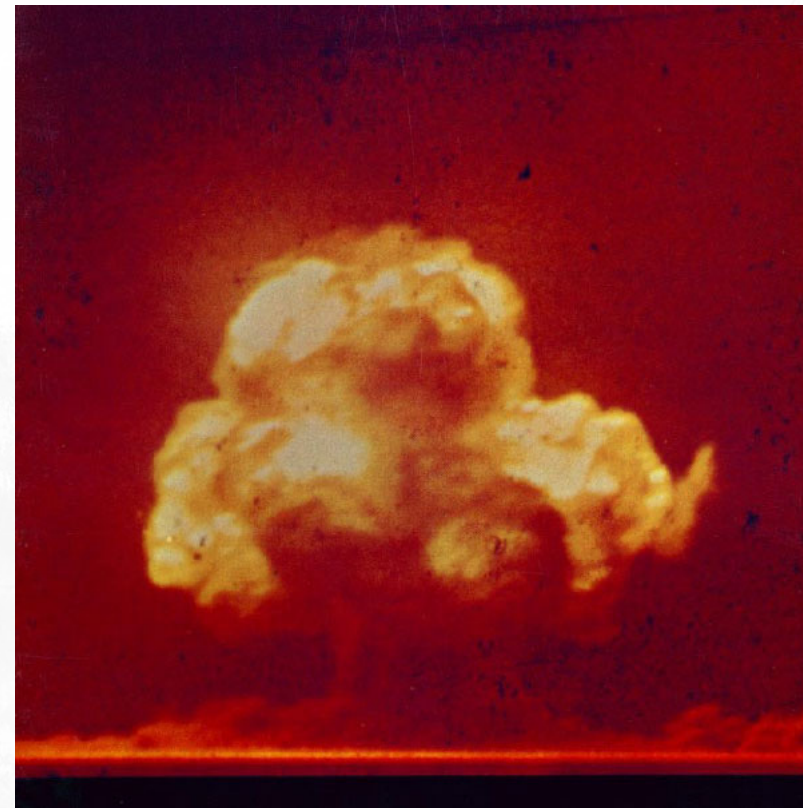


F反应堆正面



曼哈顿工程留下了巨额科学财富

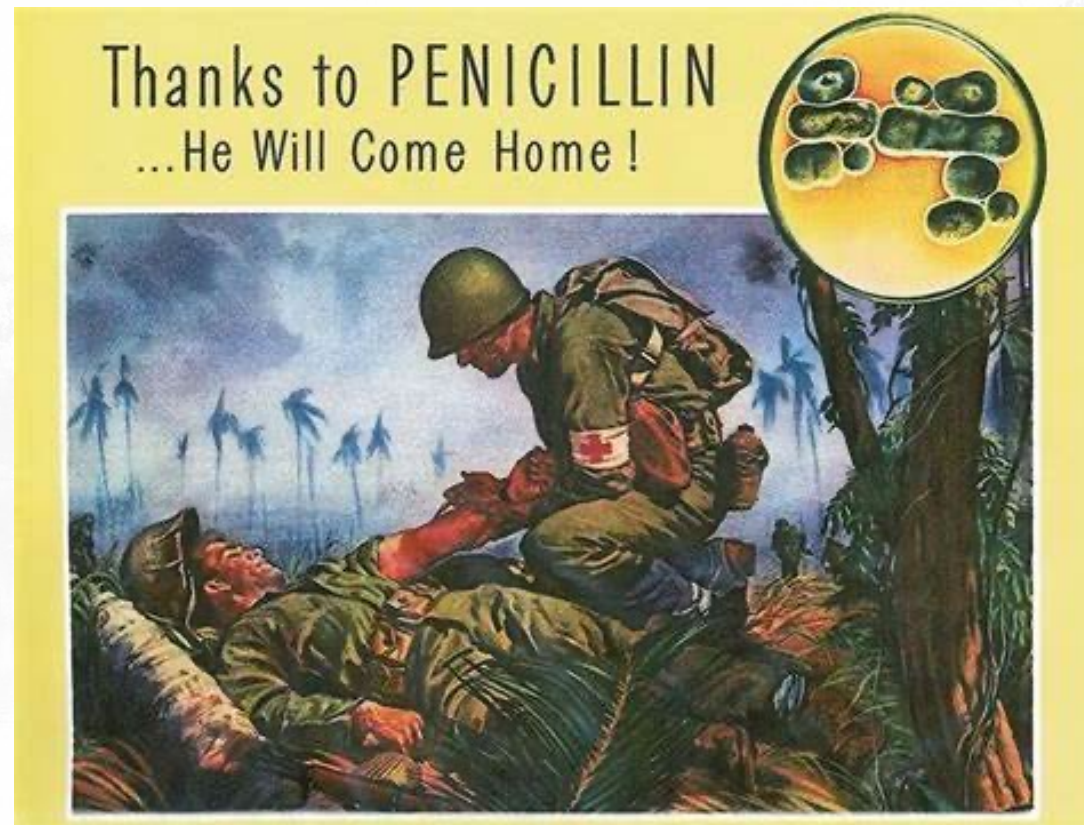
- 1945年7月16日，美国在新墨西哥沙漠进行了代号为“三一”（Trinity）的试验，成功试爆了一枚钚弹。第二天，一枚同样的钚弹被运往了太平洋深处的空军基地，最终成为了8月9日美国在长崎投下的那颗原子弹。8月6日美国在广岛投下的是一颗铀弹。
- 曼哈顿计划不仅造出了原子弹，也留下了14亿美元的财产，包括一个**具有9000人的洛斯阿拉莫斯核武器实验室**；一个**具有36000人、价值9亿美元的橡树岭铀材料生产工厂**和附带的**一个实验室**；一个**具有17000人、价值3亿多美元的汉福特钚材料生产工厂**，以及位于芝加哥的**阿贡实验室**和伯克利等地的其他实验室。



1945年7月16日的第一次核爆试验



青霉素的工业化生产





战时研究成果丰硕

- 战时成立的麻省理工学院辐射实验室（林肯实验室）、芝加哥大学冶金实验室（阿贡国家实验室）、洛斯·阿拉莫斯核武器实验室（洛斯·阿拉莫斯国家实验室）无疑取得了巨大的成功。它不仅为官产学合作开展科技创新积累了经验，也为美国战后开展“大科学”研究铺平了道路。
- 战时美国国防研究委员会、科学研究与开发局给大学和工业实验室提供了大量的科研资助。这些科研资助使美国大学和工业实验室的科研经费比战前有了大幅度的提升。
- 美国大学在战时的科学研究中取得了一系列重大突破，不仅为打赢战争做出了重要的贡献，也为美国大学在全球的崛起奠定了坚实的基础。



结语：战后美国大科学全面崛起





战后政府科技投入的增加

- 1945年，布什牵头起草了一份题为《科学——无止境的前沿：给总统的关于战后的科研计划》的报告。
- 经过长达五年的争论，美国国会于1950年通过了国家科学基金会法案。
- 不过，美国政府的基础研究投入是在前苏联于1957年将世界上第一颗人造卫星送上太空之后才出现显著增长的。
- 1958至1968年间，美国政府的研发经费投入占全社会研发经费投入的比重始终高于60%。其间，主要用于资助基础研究的国家科学基金和国立卫生研究院的经费分别扩大了8倍和5倍。
- 科研费投入：35年占0.1%，50年占1%，目前在2%台阶波动



战后研发人员投入的增长

人员的增长

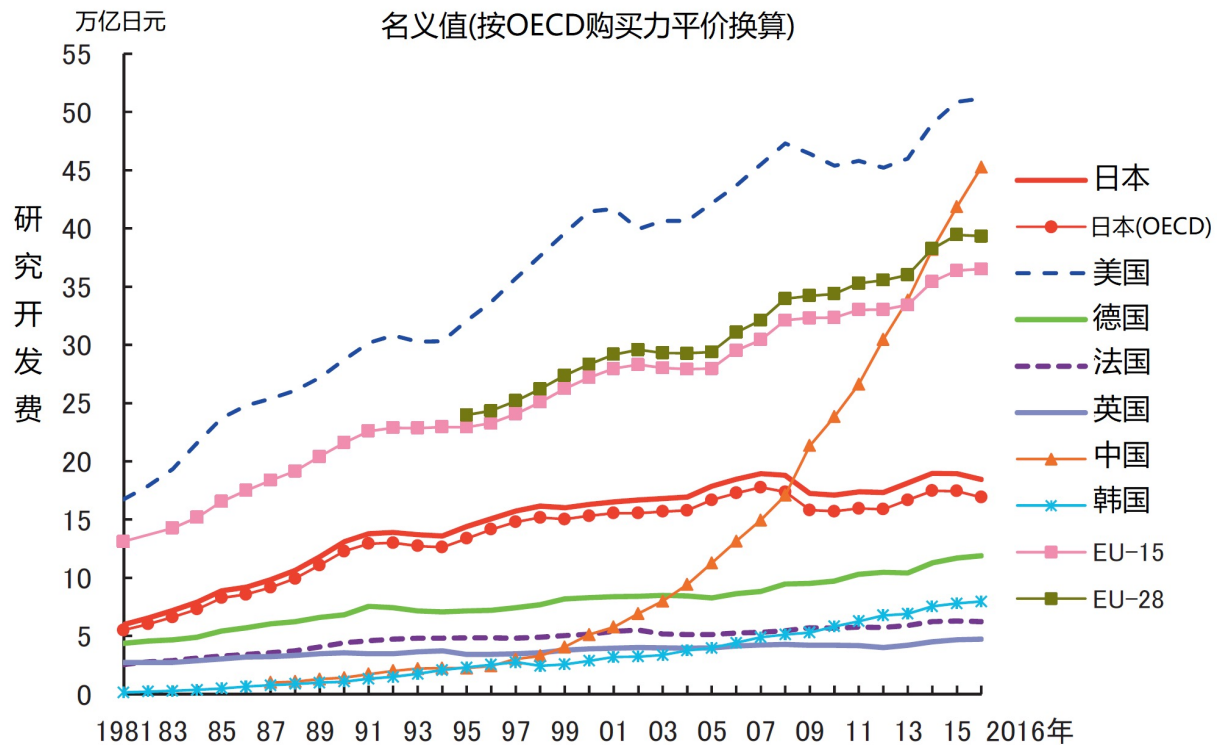
- 获学位人数
 - 若39~40年为100,
 - 则58~59年, 学士 206, 硕士260, 博士284
- 科学家数
 - 48年50000, 55年74000, 60年96000人、占百万人口480

呈现的特征

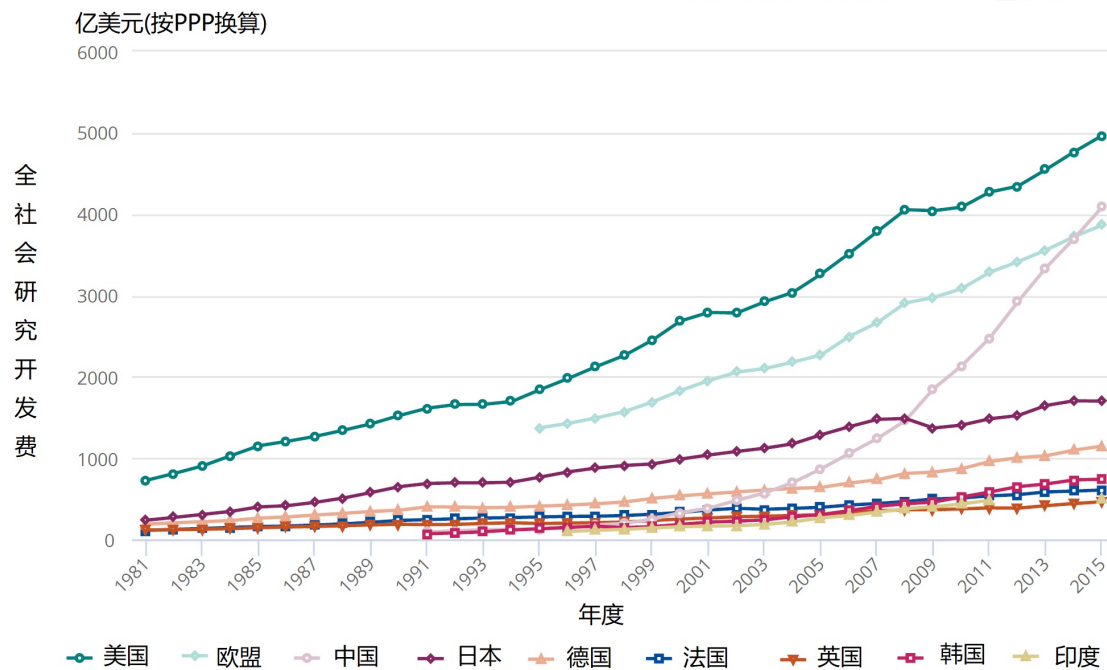
- 科学家人数呈指数增长；
- 科学文献呈指数增长；
- 从个人或少数人的研究发展为大规模的集体事业，管理和组织复杂，结构上具有科层组织特点
- 科技成就层出不穷



主要国家研发费投入总量的推移



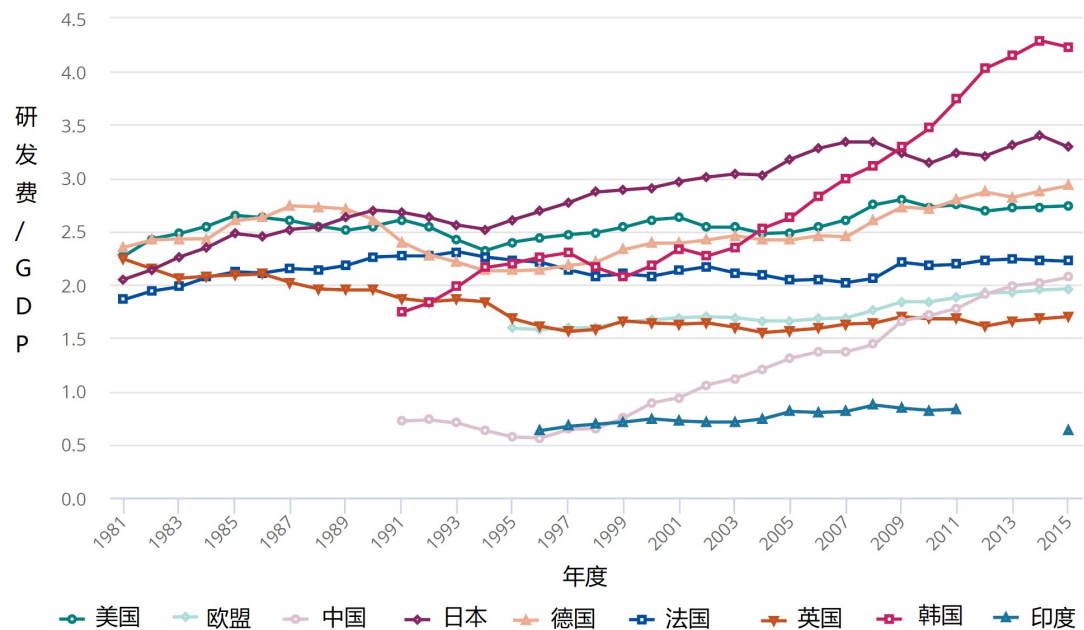
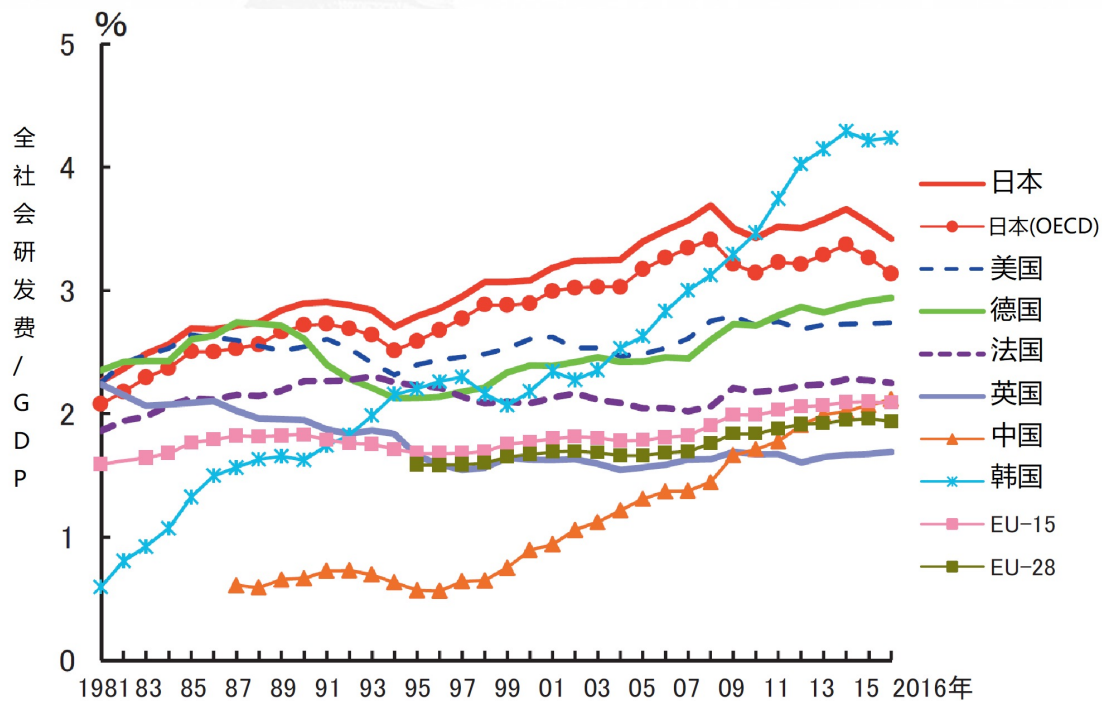
资料来源：日本科学技术指标2018



资料来源：美国科学与工程指标2018

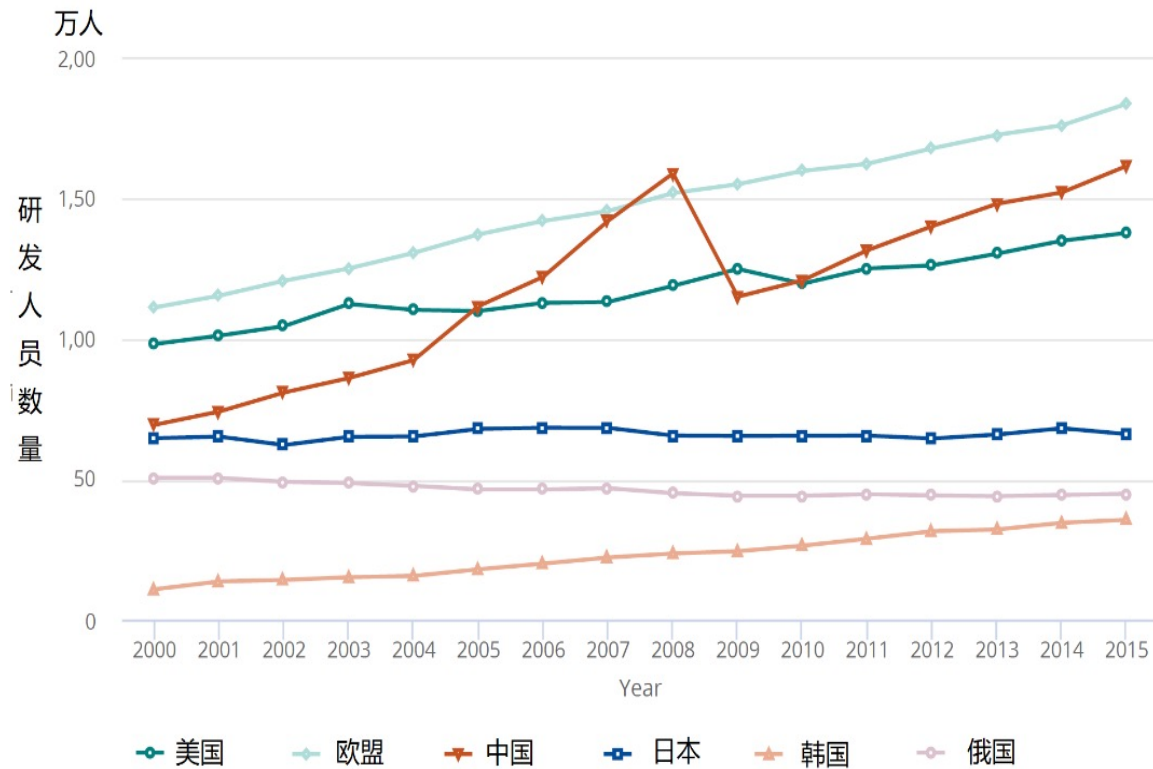
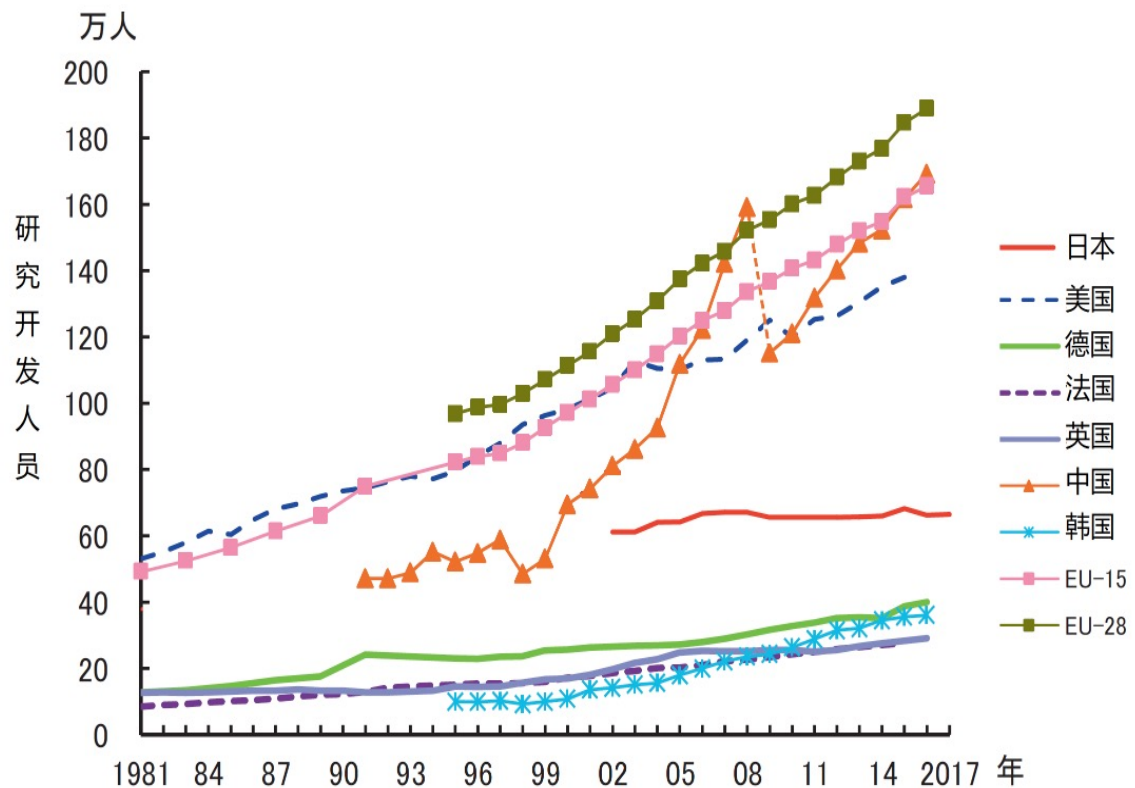


主要国家研发费投入强度的推移



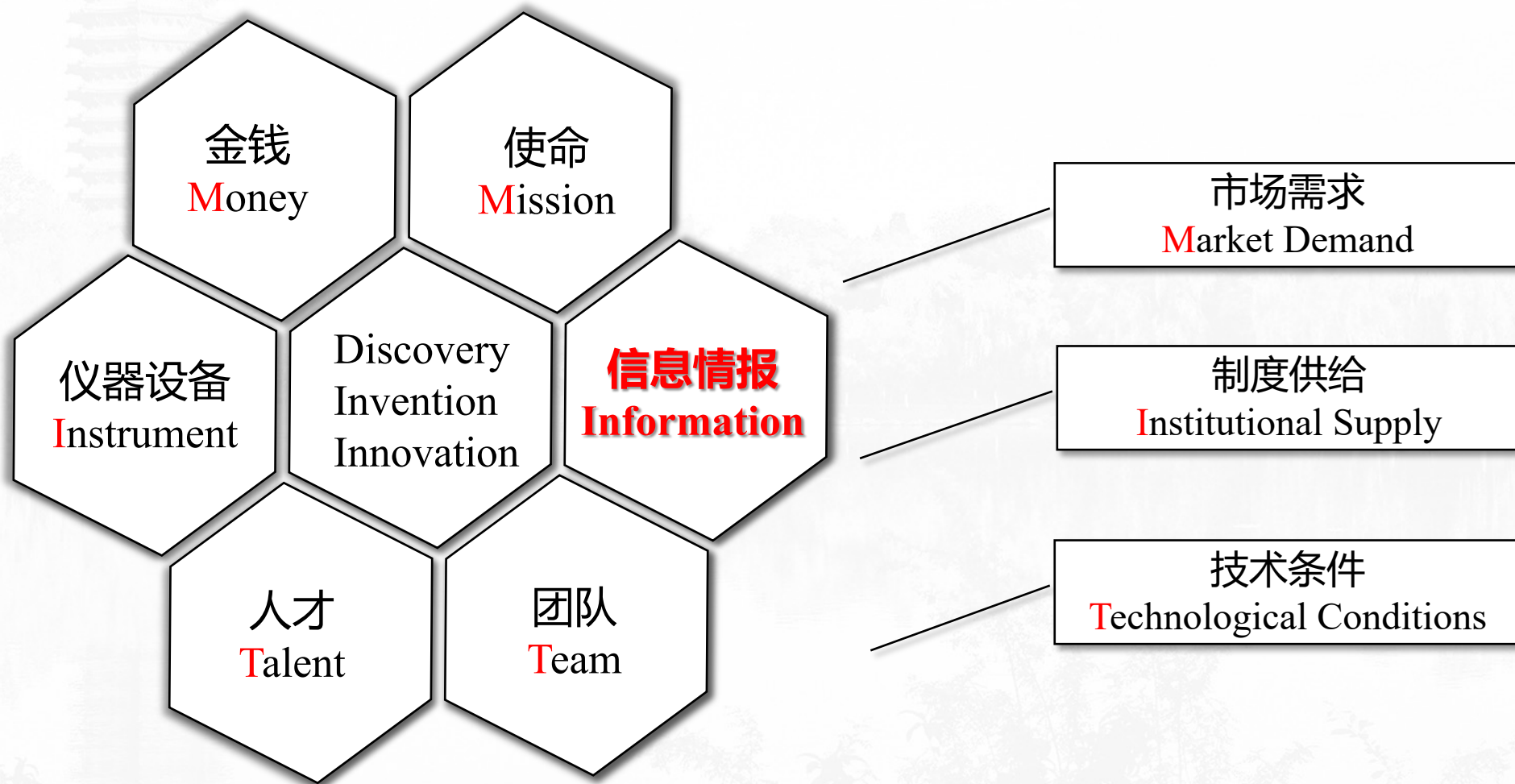


主要国家研发人员投入量





科技创新要素





谢谢垂听!
并请批评指正!

2021年11月15日

Monday