

Атом и индустриализация науки

Два пути к бомбе

6 августа 1945 года США сбросили на Хиросиму бомбу, содержащую обогащённый уран (U-235), мощность которой была эквивалентна 12,5 тыс. т тротила. В момент взрыва температура достигала 60 млн градусов, что в 4 раза выше температуры в центре Солнца. Было разрушено 60 тыс. зданий, в одно мгновение умерли 70–80 тыс. человек, в последующие 5 лет радиация погубила 200 тыс. человек.

9 августа на Нагасаки была сброшена плутониевая бомба (Pu-239) мощностью 22 тыс. т тротила, что привело к смерти 70 тыс. человек, а спустя 5 лет число погибших возросло до 140 тыс. человек.

Альтернатива обогащённому урану

Плутониевая бомба, сброшенная на Нагасаки, имела тот же тип, что и первая ядерная бомба, испытанная 16 июля 1945 года неподалёку от Аламогордо (шт. Нью-Мексико). Процесс её изготовления был отличен от производства урановой бомбы, разрушившей Хиросиму. После 1941 года про альтернативу обогащению урана для производства атомной бомбы знали и американские, и немецкие учёные.

17 июля 1939 года ученик Нильса Бора (1885–1962) Карл Фридрих фон Вайцеккер (1912–2007), сын видного дипломата, передал в германское управление по снабжению войск пятистраничный документ, озаглавленный как “Возможный метод получения энергии из U-238” (Jeremy Bernstein, “Plutonium”, 2007). Теоретически было показано, что совершенно новое вещество, полученное в ядерном реакторе на природном уране U-238, может быть использовано как взрывчатка. В отличие от англосаксонских коллег Вайцеккер называл его не плутонием, а “элементом 93” по его атомному номеру, допуская, что это может быть “элемент 94” (Робер Юнг, “Ярче тысячи солнц”, 1961).

Об этом пока ещё гипотетическом для немецких физиков веществе Вернер Гейзенберг (1901–1976), лидер немецкой теоретической физики, говорил на конференции 26 февраля 1942 года, где присутствовали и высшие военные чины Германии: *«Как только такая машина (реактор) придёт в действие, вопрос о добыче взрывчатки, по мысли Вайцеккера, примет новое направление. При трансмутации урана в машине возникает новое вещество – элемент 94, который, скорее всего, как и ${}_{92}\text{U}^{235}$, обладает невообразимой взрывной силой. Это вещество гораздо проще получить из природного урана, чем ${}_{92}\text{U}^{235}$, и в любом случае оно может быть отделено от урана химическим путём»* (J. Bernstein, *op. cit.*). Элемент 94 – плутоний, а «такая машина» – ядерный реактор на природном уране U-238 и тяжёлой воде.

Все попытки Германии захватить норвежскую тяжёлую воду следует рассматривать в свете этого факта. На природном уране U-238 можно построить ядерный реактор, используя в качестве замедлителя тяжёлую воду и графит. Не имея в наличии чистого графита, немецкие физики отказались от этого пути, по которому пошли американцы.

В июне 1941 года Германия начала операцию “Барбаросса” против СССР, а так как в 1942 году наступление забуксовало и требовало неисчислимых ресурсов, то инвестиции в атомную энергетику стали второстепенными для немецких военных. Когда Германия отказалась от гонки за атомной бомбой, США ускорили свои ядерные программы.

Плутоний

То, что для фон Вайцеккера было теорией, у американцев имело экспериментальное подтверждение. В Германии не было циклотрона – машины для ускорения частиц. В США он был создан в Национальной лаборатории имени Лоуренса при Калифорнийском университете в Беркли.

В августе 1939 года Нильс Бор (1885–1962) и Джон Уилер (1911–2008) предположили, что побочный продукт деления урана с атомным номером 94 обладает высокой способностью к делению. 27 мая 1940 года Эдвин Макмиллан (1907–1991) и Филипп Абельсон (1913–2004) открыли новый элемент – нептуний (Np, атомный номер 93), полученный в результате нейтронной бомбардировки U-238 в циклотроне Калифорнийского университета в Беркли. Если бы теория трансмутации Бора – Уилера была верна, то Np-93 распался бы на новый продукт с атомной массой 94. 26 февраля 1941 года в том же университете Гленн Т. Сиборг

(1912–1999) и Артур Ч. Валь (1917–2006) на циклотроне продемонстрировали существование этого нового элемента с атомным номером 94 и в 1942-м назвали его плутонием (Pu) по протоколу наименования элементов в честь планет (уран в честь Урана, нептуний в честь Нептуна, плутоний в честь Плутона).

18 мая 1941 года, менее чем через 3 месяца после открытия, Сиборг и Эмилио Сегре (1905–1989) заключили, что Pu-239 в 1,7 раза более делим, чем U-235, и потому больше подходит «в качестве ядерного взрывчатого вещества» (*"Hanford site historic district"*, US Department of Energy, 2003).

После нейтронной бомбардировки в ядерном реакторе U-238 (атомный номер 92) превращается в U-239, который за 20 мин. самопроизвольно трансформируется в Np-239, а затем в Pu-239 (атомный номер 94). Это открытие позволило найти метод создания атомной бомбы, альтернативный обогащению U-235.

Чикаго – Хэнфорд

После вступления США в войну в декабре 1941 года работы по созданию атомного оружия сильно ускорились по двум основным направлениям: чтобы увериться в успехе, они «одновременно вели работы по [получению] плутония и обогащению урана» (*"Hanford site historic district"*, *op. cit.*). Построенная в январе 1942 года в Чикаго Металлургическая лаборатория под руководством американского физика Артура Комптона (1892–1962) объединила нью-йоркскую группу Энрико Ферми (1901–1954) и Лео Шиларда (1898–1962) с группой Сиборга из Беркли.

Комптон считал, что при двухмесячном доступе к тяжеловодному реактору с мощностью 100 тыс. кВт немцы получат достаточно плутония для производства 6 атомных бомб уже к концу года. Эта перспектива пугала англичан и американцев. Металлургической лаборатории предстояло выполнить две задачи: с одной стороны, установить, возможна ли цепная реакция с использованием природного урана и графита; с другой – разработать химический метод выделения плутония для создания бомбы в течение 3 лет (Bertrand Goldschmidt, *"Le rivalité atomique"*, 1968).

20 августа 1942 года Сиборг разработал методику химического выделения плутония из урана в промышленных масштабах, а второго декабря Ферми осуществил первую управляемую цепную реакцию в реакторе на природном уране с графитовым замедлителем. Были заложены теоретическая и экспериментальная основы для перехода к этапу индустриализации плутониевой науки. Местом расположения объектов был выбран город Хэнфорд на реке Колумбия, штат Вашингтон.

Возникло ощущение срочности: считалось, что немцы могли начать свой проект в 1939 году, когда открыли деление и что они могут опережать англичан и американцев. Союзники знали, что немцам нужна норвежская тяжёлая вода, единственным применением которой могло стать создание реактора на природном уране. Американцы пришли к выводу, что немцы знали о плутонии и планировали производить его с помощью реактора на тяжёлой воде (J. Bernstein, *op. cit.*).

В апреле 1943 года была создана Лос-Аламосская национальная лаборатория для разработки и создания ядерного оружия с применением делящихся материалов: обогащённого урана, поставляемого с предприятий в Ок-Ридже (шт. Теннесси), и плутония из Хэнфорда (шт. Вашингтон).

Хэнфордский комплекс

Несмотря на то, что до второй мировой войны Германия и Великобритания имели научное превосходство над США, именно последние первыми смогли конвертировать науку в промышленную мощь. Диана Престон в книге *"Before the Fallout: From Marie Curie to Hiroshima"* (2005) пишет, что перед высадкой в Нормандии в июне 1944 года ядерная физика стала «большой наукой и большой инженерией»; ни одна другая страна не могла повторить проект «Манхэттен», стоивший 2 млрд долл. в ценах того времени и привлёкший 130 тыс. человек. За несколько лет на основе физической теории США смогли создать индустрию, по масштабу сопоставимую с автомобильной.

Объекты в Хэнфорде были построены и эксплуатировались химической компанией DuPont с привлечением 45 тыс. сотрудников. 13 сентября 1944 года Ферми ввёл первые ядерные

топливные элементы в хэнфордский реактор В. К 26 сентября был собран самый большой в мире ядерный реактор, а 13 апреля 1945 года установка была полностью введена в эксплуатацию.

В декабре 1942 года мощность первой цепной реакции в “поленнице” Ферми составляла 2 Вт; первый реактор в Хэнфорде был в 100 млн раз мощнее. Целью проекта было не получение энергии, а добыча достаточного количества Pu-239 в качестве альтернативы U-235 для производства ядерного оружия.

Как и в первом реакторе Ферми, в Хэнфорде использовался природный уран U-238 и в качестве замедлителя графит. Огромное количество выделяемого тепла было рассеяно в водах реки Колумбия. Тепловая мощность первого хэнфордского реактора составляла 250 МВт, а производительность – 100 кг плутония в год (для бомбы достаточно 6 кг). Первую плутониевую бомбу испытали 16 июля 1945 года неподалёку от Аламогордо, в пустыне штата Нью-Мексико. Вторую через три недели сбросили на Нагасаки (Richard L. Garwin, Georges Charpak, *“Megawatts + Megatons”*, 2002). Решение о сбросе третьей плутониевой бомбы 17 августа было отменено после капитуляции Японии 15 августа (Jim Baggott, *“Atomic”*, 2009).

Анализ затрат

В исследовании *“Atomic Audit: The Costs and Consequences of U. S. Nuclear Weapons Since 1940”*, опубликованном в 1998 году Институтом Брукинга, есть данные о затратах на проект “Манхэттен” в ценах 1996 года. Из общей стоимости по состоянию на 1945 год, а это 21,6 млрд долл., только 800 млн (3,7 %) пришлось на Лос-Аламос, где примерно 3 тыс. учёных работали над бомбой, ещё 800 млн долл. пошло на исследования и разработки, тогда как 13,6 млрд долл. (63 %) – на заводы по обогащению урана в Ок-Ридже, ещё 4,5 млрд – на объекты в Хэнфорде. Всего на производство материалов для бомбы ушло 83,8 %, а на науку – 7,4 % (остальные 2 млрд на прочие расходы).

В начале мировой войны ядерная наука в Великобритании, Франции и Германия превосходила американскую, но одной научной мощи было недостаточно: нужна была мощь промышленности, где США показали своё первенство. Цифры затрат показывают больше: 63 % затрат ушло на заводы по обогащению урана U-235, которые предоставили материал для создания одной бомбы, а чуть более 20 % – на заводы в Хэнфорде, которые произвели плутоний для создания 3 бомб. Плутониевая бомба стоила в 9 раз меньше урановой. К тому же превосходила её по эффективности.

Ядерный заряд, уничтоживший Хиросиму, содержал 60 кг почти чистого U-235 и имел мощность 12,5 тыс. т тротила, полученного в результате деления всего 0,8 кг урана с КПД 1,3 %. Остальной уран был рассеян в атмосфере вместе с большим количеством радиоактивных продуктов. Бомба, сброшенная на Нагасаки, содержала 6 кг плутония и имела мощность 22 тыс. т тротила, что соответствует делению 1,3 кг плутония с КПД 20 % – по сравнению с 1,3 % у урана (R. L. Garwin, G. Charpak, *op. cit.*).

Именно плутониевый путь получения атомной бомбы в качестве основного и избрали великие державы после второй мировой войны.

Декабрь 2022 г.