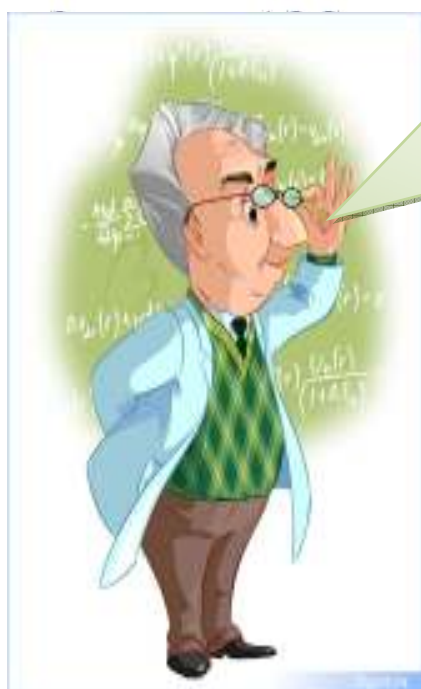




Школьникам об атомной энергетике

Выпуск 7-8
2012

Серия: **Хочу все знать!**



Здравствуйте, ребята! В прошлых беседах мы поговорили с вами об истории развития ядерной энергетике со времен древнегреческого ученого Демокрита. Мы уже знаем о концепции мирного использования ядерной энергии и о создании первой в мире АЭС. Однако, история освоения энергии ядра имеет военные корни, потому что ядерная энергия впервые была использована для целей разрушения как оружие массового уничтожения. Об этом тоже нужно знать, и сейчас я расскажу о некоторых особенностях развития ядерных программ Германии и США.

Военные корни ядерной энергетике

Итак, по необычайному совпадению, как раз в то время, когда Вторая мировая война стала неизбежной (1938–1940 гг.), ведущие физики-ядерщики Ирен и Жолио Кюри во Франции, Нильс Бор в Дании, Энрико Ферми, Лео Сцилард и др. в США пришли к выводу о том, что существует техническая возможность создания атомной бомбы очень мощной разрушительной силы. Напомню, что еще в 1905 году Эйнштейном была выведена формула, связывающая энергию и массу вещества ($E=mc^2$). Это означало, что теоретически из килограмма вещества можно получить 25 млрд. кВт·час энергии, что эквивалентно взрыву 10 млн. тонн такого мощного взрывчатого вещества как тротил.

Исследования о возможности применения ядерной энергии для создания сверх мощного оружия проводились в Германии, США, Великобритании и Советском Союзе и не могли не привлечь внимания правительств развитых стран по использованию научных достижений для укрепления военной мощи государств.

Немецкая ядерная программа

В 1939–1941 годах нацистская Германия располагала условиями, необходимыми для создания ядерного оружия: она имела требуемые производственные мощности в химической, электротехнической, машиностроительной промышленности и цветной металлургии, а также достаточные финансовые средства и материалы общего назначения. Научный потенциал также был очень высок, и имелись необходимые знания в области физики атомного ядра.

Интересен путь, по которому шли исследования в этом направлении.

В 1939 году рабочая группа профессора А. Эсау по проблеме ядерной энергии при рейхсминистерстве образования инициировала принятие закона о запрете вывоза урана из Германии. У бельгийской фирмы Union Minière и в Бельгийском Конго было срочно закуплено большое количество урановой руды.

26 сентября 1939 года Управление армейских вооружений собрало совещание специалистов в области ядерной физики для рассмотрения вопроса о способах создания ядерного оружия, на которое были приглашены такие известные физики-ядерщики, как Ганс Вильгельм Гейгер, Карл-Фридрих фон Вайцеккер, Вернер Гейзенберг и др.

Немецкая ядерная программа получила название «Урановый проект» – (нем. Uranprojekt Kernwaffenprojekt). Участники ее считали возможным создание ядерного оружия за 9–12 месяцев.

Руководить работами было поручено Управлению армейского вооружения, а ведущей организацией стал Физический институт Общества кайзера Вильгельма в Берлине. Всего же в Германии были 22 научные организации, напрямую связанные с атомным проектом. Разработками ведал имперский министр вооружений Альберт Шпеер. Одновременно над разработкой нового оружия работало несколько групп, руководимых физиками-ядерщиками. Ведущей фигурой среди них был все же Вернер Гейзенберг, лауреат Нобелевской премии по физике 1932 года, обладавший непререкаемо высоким научным авторитетом.

Гейзенберг уже понимал, что существуют два различных способа освобождения энергии уранового ядра. Первый – предполагал поместить строго определенную массу урана в нечто, представляющее собой «урановую топку». При втором способе ядерная энергия освобождалась путем взрыва.

Первый способ был основан на получении смеси урана с некоторыми другими веществами, играющими роль замедлителей «**быстрых нейтронов**», поскольку полученные в процессе реакции деления нейтроны с определенной энергией хорошо поглощаются ураном.

Второй, «взрывной», способ предполагал использование редкого изотопа уран-235, который, по мнению ученых, позволял получить самый высокий выход энергии в процессе деления на так называемых «**тепловых нейтронах**».

Гейзенберг начал теоретические работы по конструированию ядерного реактора. В декабре 1939 года он представил первый секретный отчет с теоретическим анализом возможности получения энергии за счёт ядерного деления. В этом отчёте в качестве замедлителей предлагались углерод и тяжёлая вода. Однако, с лета 1940 года было

решено остановиться на последней, поскольку это был более доступный и экономичный вариант (соответствующее производство было уже налажено в оккупированной Норвегии). В отчёте Гейзенберг сделал следующий вывод: «В целом можно считать, что при смеси уран – тяжёлая вода в шаре радиусом около 60 см, окружённом водой, начнется спонтанное выделение энергии». Это была модель «гомогенного» реактора.

Одновременно Гейзенберг рассчитал параметры другого реактора, «гетерогенного», в котором уран и тяжёлая вода не смешивались, а располагались слоями. По его мнению, «процесс расщепления поддерживался бы долгое время», если бы установка состояла из слоёв урана.

На основании этих расчетов фирма «Auer» получила заказ на изготовление небольших количеств урана, а норвежская фирма «Norwegian Hydro» должна была поставить тяжёлую воду.

В июле 1940 года на территории Института биологии и вирусологии имени кайзера Вильгельма, рядом с Институтом физики, началось строительство небольшого деревянного здания, выделенного под новую лабораторию. Именно здесь был построен первый немецкий урановый реактор.

Так как необходимо было иметь уран с высоким обогащением по изотопу уран-235, которого в природном уране находится всего 0,71%, а основную массу составляет уран-238 (99,28%), одновременно разрабатывались установки для обогащения урана. Немецкие физики разработали более пяти способов обогащения урана. Наиболее перспективным среди них оказался «инерционный способ» – то есть разделение изотопов с помощью специальной центрифуги, который до сих пор успешно применяется для этих целей.

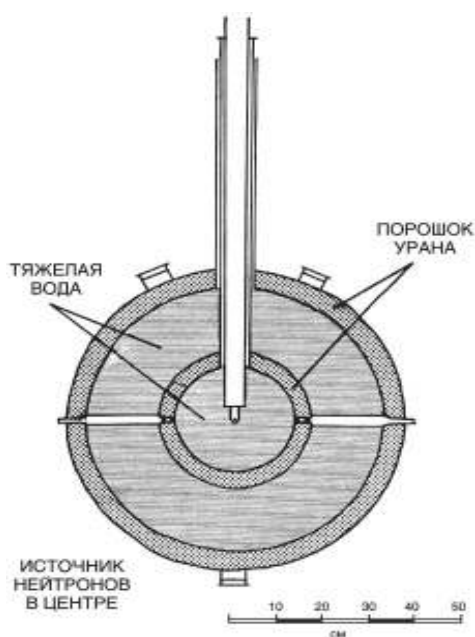
В конце 1940 года Гейзенберг проводил эксперимент по созданию реакторной сборки на основе выполненных им ранее расчётов, но цепную реакцию вызвать не удалось и стало ясно, что теоретические расчёты, положенные в основу эксперимента, неверны. Работы продолжались.

В серии опытов, проведённых в августе – сентябре 1941 года в Лейпциге, В. Гейзенберг, К. Ф. фон Вайцеккер и Р. Допель добились положительного результата размножения нейтронов, что служило доказательством протекавшей в массе урана цепной реакции. Однако, эта реакция ещё не была самоподдерживающейся.

В 1941 году Вернера Гейзенберга назначили профессором физики Берлинского университета и директором Физического института кайзера Вильгельма.

К февралю 1942 года был построен первый немецкий опытный реактор, разработанный профессором Гейзенбергом и профессором Р. Допелем.

В мае 1942 года они провели решающий эксперимент, схема которого дана на рисунке. В ходе



эксперимента впервые в мире удалось добиться роста количества нейтронов внутри реактора (фотографий реактора не сохранилось, так как он был разрушен в результате произошедшей вскоре аварии). Необыкновенной удачей было то, что Гейзенберг и Допель не пострадали в результате взрыва. В то же время они потеряли большую часть своей лаборатории, запасы урана и тяжелой воды. Одновременно был нанесен чувствительный удар их самолюбию. Эта авария отодвинула сроки, установленные правительством.

Очередное совещание военного руководства и учёных по ядерной проблеме состоялось 4 июня 1942 года. В своём выступлении Гейзенберг сказал, что решение производственно-технических проблем должно занять не менее двух лет, и то при условии, если каждое требование учёных будет выполняться. В результате для проекта были выделены денежные средства, фонды на дефицитные материалы, утверждены минимальные сроки строительства бункера для ядерного реактора в Берлине, изготовления металлического урана и поставки оборудования для разделения изотопов.

В феврале 1943 года норвежским диверсантами, засланным из Великобритании, удалось уничтожить завод по производству тяжелой воды в Норвегии.

В марте 1943 года в связи с настроениями руководства страны Управление вооружений отказалось от работ по Урановому проекту, и они были переданы в ведение имперского исследовательского совета. Одним из них был Вальтер Герлах. Первого января 1944 года Герлах официально становится главой физического отдела ядерной физики.

В январе 1944 года в Германии начала создаваться большая реакторная сборка (реактор под кодовым названием В VIII), для которой сооружался специальный бункер. Последний эксперимент по получению цепной реакции был намечен на январь 1945 года, но 31 января в связи с событиями на военных фронтах все оборудование спешно демонтировали и отправили на юг Германии.

В конце февраля 1945 года реактор В VIII прибыл из Берлина в деревню Хайгерлох недалеко от швейцарской границы. Реактор состоял из активной зоны, набранной из 664 кубиков урана общим весом 1525 кг, окружённой графитовым замедлителем-отражателем нейтронов весом 10 тонн. В марте 1945 года в активную зону дополнительно влили ещё 1,5 тонны тяжёлой воды. 23 марта 1945 года профессор Герлах позвонил в Берлин и доложил, что реактор работает. Но радость была преждевременна – критичность не была достигнута. После перерасчётов оказалось, что количество урана необходимо увеличить ещё на 750 кг, а также увеличить количество тяжёлой воды, но запасов её уже не было.

Конец Третьего рейха неумолимо приближался, и 23 апреля в Хайгерлох вошли американские войска. Реактор был вывезен в США.

Манхэттенский проект

Разработки нового оружия в США активизировались в связи с тревожной международной обстановкой (1 сентября 1939 года фашистская Германия напала на Польшу). Возникла опасность, что Германия может первой создать ядерное оружие. Ведущие физики-ядерщики убедили Альберта Эйнштейна (в это время он переехал в

США из нацистской Германии) о необходимости предупредить президента о возникшей опасности. И вот 2 августа 1939 года Эйнштейн подписал письмо к американскому президенту Франклину Делано Рузвельту, в котором он изложил свои заключения о возможностях атомной бомбы и необходимости ее превентивного создания. Это письмо имело свой отклик и привело к организации мощной исследовательской группы ученых по созданию нового ядерного оружия.

Был создан Консультативный комитет по урану (Урановый комитет, S-1 Uranium Committee) под председательством Л. Бриггса. Первое заседание комитета состоялось в октябре 1939 года, а уже 1 ноября 1939 года комитет представил президенту Рузвельту доклад, в котором говорилось о реальной возможности освоения энергии ядра и создания атомной бомбы. Первые субсидии в размере 6 тыс. долл. США для закупки делящихся материалов были выделены Бриггсу 20 февраля 1940 года.

Ученые внимательно следили за тем, что делается в Германии и, особенно, в Институте кайзера Вильгельма. Информация, идущая оттуда, была тревожной. В связи с этим 7 марта 1940 года появляется еще одно «письмо Эйнштейна» Рузвельту, в котором сообщается: «С начала войны в Германии усилился интерес к урану. Сейчас в обстановке большой секретности проводятся исследовательские работы, в частности в Физическом институте, одном из филиалов Института кайзера Вильгельма. Этот институт передан в ведение правительства, и в настоящее время группа физиков работает там над проблемами урана в сотрудничестве с Химическим институтом».

В июне 1940 года был организован Исследовательский комитет национальной обороны (НДРК). Рузвельт дал указание о преобразовании Уранового комитета в подкомитет Исследовательского комитета национальной обороны. Председателем НДРК был назначен В. Буш, имевший большой опыт в организации науки, а председателем подкомитета – Бриггс.

В составе подкомитета были созданы отделы по разделению изотопов, теоретическим вопросам, вопросам производства энергии и тяжелой воды. С этого времени он стал называться Урановой секцией, или секцией S-1 НДРК.

Весной 1941 г был создан Обзорный комитет под председательством А. Комптона. Этот комитет должен был оценить военное значение проблемы урана и определить размеры затрат, необходимых для исследования этой проблемы. Национальной академией наук были представлены доклады, на основании которых был сделан вывод, что исследования урана необходимо проводить энергичнее.

Еще одним поводом, побудившим Америку активизировать деятельность по созданию атомной бомбы, стало неожиданное нападение японцев 7 декабря 1941 года на американскую базу Перл-Харбор, в результате которого был уничтожен американский флот, базировавшийся там.

Вопрос оказался настолько важным, что была создана Высшая политическая группа в составе президента и вице-президента США, военного министра, начальника генерального штаба и ряда ученых для решения вопросов общей "урановой" политики. Темпы работ наращивались.

Весной 1942 года Артур Комптон впервые оценил величину критической массы урана-235; по его мнению, она лежала где-то в пределах от 2 до 100 кг, что было

намного меньше ранее вычисленной. Стало понятно, что такой вес может взять на борт самолет. Рузвельт был проинформирован об этом. Линия финансирования нового оружия, связанного с расщеплением урана, была открыта. Полковник Джеймс Маршалл получил распоряжение приступить к строительству научно-технической и производственной базы для создания атомной бомбы.

17 июня 1942 года Буш представил президенту доклад, в котором изложил план расширения проекта по созданию атомной бомбы. В докладе содержались следующие положения:

1. Несколько килограммов урана-235 или плутония-239 представляют собой взрывчатку, эквивалентную по мощи нескольким тысячам тонн обычных взрывчатых веществ. Такую бомбу можно взрывать в нужный момент.
2. Существует четыре практически осуществимых метода получения делящихся веществ: электромагнитное разделение урана, диффузионное разделение урана, разделение урана на центрифугах с получением делящегося изотопа урана-235, а также получение плутония-239 с помощью цепной реакции. Нельзя определенно утверждать, что какой-то один из этих методов окажется лучше других.
3. Можно проектировать и строить довольно крупные промышленные установки.
4. При наличии фондов и прерогатив программу действий, по-видимому, необходимо начать по возможности скорее, чтобы она приобрела военное значение.

Этот момент стал поворотным пунктом, с которого начался «Манхэттенский проект» (англ. Manhattan Project) – кодовое название программы США, нацеленной на создание атомной бомбы (официальной датой начала проекта считается 17 сентября 1942 года).

Возглавил Манхэттенский проект генерал Лесли Гровс. Он распорядился о покупке в Ок-Ридже (Штат Теннесси) 90 квадратных миль (около 24 тыс. гектаров) земли под будущие производственные мощности и о завозе туда 1250 тонн конголезской урановой руды. Руда поступала также из Канады и Колорадо (единственного источника в США). За поставку руды отвечал Эгер Мерфри.



Электромагнитный завод Y-12



Циклотрон Лоуренса

О размахе строительства можно судить на примере Электромагнитного завода Y-12. Это предприятие предназначалось для получения урана-235 по методике Лоуренса. В главном цехе этого завода был установлен большой **циклотрон Лоуренса** размером с двухэтажный дом. Для создания внутри него сильного магнитного поля

использовались катушки не с медными, а с серебряными проводами. На них ушло 15 тыс. тонн серебряных слитков из Казначейства Соединенных Штатов.

Генерал Гровс предложил профессору Роберту Оппенгеймеру руководить научной частью Манхэттенского проекта 15 октября 1942 года. По характеру Оппенгеймер был полной противоположностью Гровса. Заместитель генерала, полковник Николс, охарактеризовал своего начальника, как человека безжалостного, самоуверенного, эгоцентричного и саркастического. Оппенгеймер, напротив, был человек мягкий, чувствительный, часто настроенный на философский лад. Успех Манхэттенского проекта во многом обеспечивался слаженной работой Гровса и Оппенгеймера. Удивительно, но эти два различных человека прониклись взаимной симпатией, уважением и никогда не ссорились. Вместе они выбрали место для постройки главной лаборатории. Выбор пал на малонаселенную и труднодоступную местность, затерявшуюся среди каньонов Нью-Мексико, Лос-Аламос, который находится в 30 милях к северо-западу от Санта-Фе. Впоследствии там были собраны лучшие умы того времени не только США и Англии, но практически всей Западной Европы. Над созданием ядерного оружия трудился огромный коллектив, включая 12 лауреатов Нобелевской премии.

Проект разрабатывался в обстановке строгой секретности, поскольку ученые понимали, что страна, которая первой сумеет практически овладеть достижениями ядерной физики, приобретёт абсолютное превосходство над другими. Исследования сконцентрировались главным образом на изучении особенностей протекания цепной реакции деления ядра.

Для осуществления цепной реакции деления ядра было необходимо получить достаточные количества ядерного делящегося материала. Перспективными направлениями были признаны получение урана-235 путём обогащения природного урана и наработка плутония-239 путём облучения природного урана-238 нейтронами. Оба пути были связаны с серьёзными трудностями и имели свои преимущества и недостатки, поэтому работа по ним развивалась параллельно.

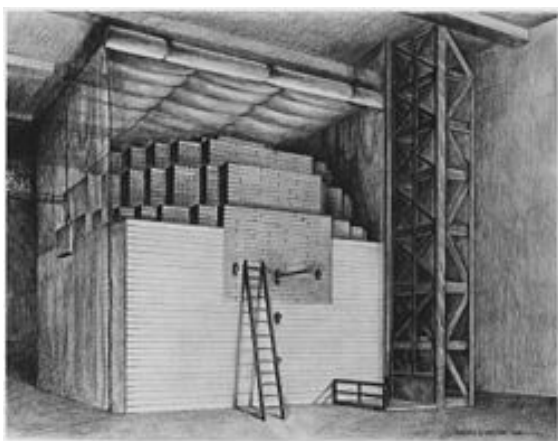
К осени 1942 года почти полностью были преодолены производственные барьеры на пути к осуществлению цепной реакции деления: физики получили в свое распоряжение достаточное количество чистых материалов – графита, урана. Стало ясно, что вскоре можно будет построить ядерный котел (реактор) и получить самоподдерживающуюся цепную реакцию.

Первоначально было решено строить котел в Аргоннском лесу, но строительство здания задерживалось. Тогда Ферми предложил строить котел под западными трибунами стадиона «Стагг-филд» Чикагского университета. Сооружение котла началось 16 ноября.

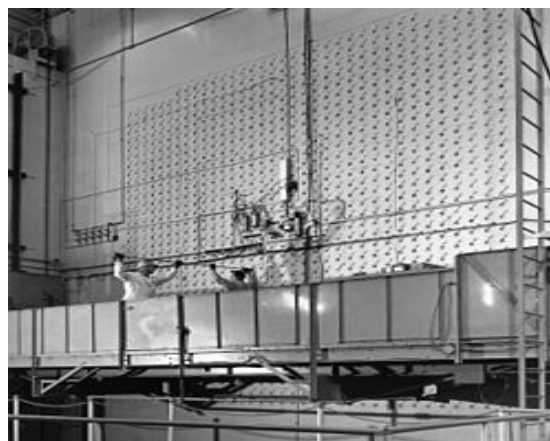
На территории стадиона, под западными трибунами, в помещении теннисного корта, Ферми вместе с группой ученых готовил необычный и опаснейший эксперимент – осуществление первой в мире контролируемой цепной реакции деления ядер урана. Физики работали круглосуточно, в несколько смен. На сооружение реактора пошло около 46 тонн урана и около 385 тонн графита. Сборка котла осуществлялась по общему плану, детально проработанных чертежей не было.

2 декабря 1942 года все было готово к испытанию, которое должно было впервые продемонстрировать самоподдерживающуюся цепную реакцию. В ночь на 2 декабря

ученые под руководством Ферми работали, не отдыхая ни минуты. И вот нейтронные счетчики защелкали громче. Ферми, быстро производивший расчеты на логарифмической линейке, выглядел спокойным, даже задумчивым – «нейтроны создавали нейтроны». По чикагскому времени было **15 час. 25 мин.** Движущийся грифель самописца, фиксирующий всё происходящее внутри ядерного реактора, поднимался все выше и выше, вычерчивая прямую вертикальную линию. Это означало, что внутри реактора идет цепная реакция. «Атомному огню» разрешили гореть 28 мин. Затем Ферми дал сигнал, и «огонь» был погашен. Человек освободил энергию атомного ядра и доказал, что может ее контролировать.



Реактор Ферми



Графитовый реактор в Ок-Ридже

Таким образом, спустя год после принятия Рузвельтом решения о запуске масштабной ядерной программы, был завершен эксперимент, ставший важной вехой на пути к овладению ядерной энергией – впервые осуществлена цепная реакция деления ядер урана.

Открыт огромный источник энергии! Для сравнения можно привести такие цифры: один атом угля дает энергию 2–3 электронвольта, а при расщеплении одного атома урана-235 выделяется 200 млн. электронвольт. Разница внушительная!

После опытов Ферми стало ясно, что ядерное оружие – реальность.

Первоначально «Манхэттенский проект» включал в себя разработку бомб с двумя разными вариантами ядерных зарядов – урана и плутония. Для создания плутониевой бомбы требовалось наработать большое количество искусственного изотопа – плутония-239 и работы в Ок-Ридже по строительству плутониевого завода начались уже в феврале 1943 года. Цех под **экспериментальный** графитовый реактор со сложными системами охлаждения и радиационной безопасности планировалось возвести в течение весны и лета. Первый графитовый реактор для наработки плутония был спроектирован и построен за 11 месяцев и запущен 4 ноября 1943 года, а первые образцы плутония получены в конце месяца.

Строительство **промышленного** плутониевого реактора началось на площадке в Хэнфорде (штат Вашингтон) практически одновременно с реактором в Ок-Ридже, однако его строительство велось с отставанием, чтобы можно было учесть опыт строительства реактора в Ок-Ридже. За период с марта 1943 года по сентябрь 1944 года в Хэнфорде было построено ещё три реактора для производства плутония.

Руководили строительством Глен Сиборг и представители инженерных войск армии США.

Работы над созданием урановой бомбы под кодовым названием «Little Boy» («Малыш» – длина 3 м, ширина 0,7 м, масса 4 тонны, заряд 15–16 килотонн)* и плутониевой бомбы – «Fat Man» («Толстяк» – длина 3,2 м, ширина 1,5 м, масса 4,63 тонны, заряд 21 килотонна)* велись одновременно. Однако работы над более простой в конструктивном плане урановой бомбой «Малыш» шли полным ходом. В середине мая 1945 года «Малыш» был полностью готов к использованию, за исключением уранового заряда, полное количество которого, планировалось получить к 1 августа. Бомба была отправлена на остров Тиньян, где формировалось сверхсекретное стратегическое подразделение 509, состоявшее из 17 специально оборудованных для перевозки спецбоеприпаса бомбардировщиков В-29. Первая бомба была снаряжена обогащенным ураном-235 и к 1 августа 1945 года была полностью готова к применению.



Плутониевый «Толстяк» имел более сложную конструкцию, которая нуждалась в проверке, и поэтому было решено провести пробные испытания. Руководителем проекта генералом Лесли Гровсом была одобрена программа испытаний пробной плутониевой бомбы. И **16 июля 1945 года** в Нью-Мексико были проведены первые в мире полномасштабные испытания ядерного оружия на полигоне Аламогордо. В **5:29:45** по местному времени яркая вспышка озарила небо над плато в горах Джемеза на севере от Нью-Мексико. Характерное облако радиоактивной пыли, напоминающее гриб, поднялось на 30 тысяч футов. Все

что осталось на месте взрыва – фрагменты зеленого радиоактивного стекла, в которое превратился песок.

Испытания прошли успешно – первая в мире пробная плутониевая бомба рванула на высоте 30 м над землёй.

Утром **6 августа 1945 года** бомбардировщик В-29 с позывными «Enola Gay», под командованием полковника Пола Тиббетса, взял курс на Японские острова, целью был выбран город Хиросима, расположенный на острове Сикоку. В **9:16** с самолета был сброшен какой-то предмет. Он медленно спускался на парашюте и вдруг на высоте 580–600 м взорвался. Это была урановая атомная бомба «Малыш».



Последствия были ужасающими – более 66 тысяч жителей погибли моментально, ещё 69 тысяч было тяжело ранено.

Бомба «Толстяк» была готова 8 августа 1945 года. Из-за неблагоприятных погодных условий, назначенный на 11 августа вылет был сдвинут на **9 августа**. В **3:47** бомбардировщик В-29 с позывными «Bock's Car» под командованием Чарльза Свини

вылетел с о. Тиньян, цель – арсенал в Кокуре. В **10:44** из-за низкой облачности командир экипажа принял решение идти на запасную цель – Нагасаки. Над запасной целью облачность была также достаточно плотной, и поэтому бомба была сброшена на границе города в единственный безоблачный просвет, поскольку горячего оставалось только на один заход. В **11:02** «Толстяк» взорвался на высоте 500 м. Несмотря на то, что взрыв был вдали от населённой части города, погибли более 70 тысяч человек.

Президент США Г. Трумэн стал первым политическим руководителем, кто принял решение о применении ядерных бомб. С военной точки зрения необходимости таких бомбардировок густонаселенных японских городов не было. Но политические мотивы в этот период превалировали над военными. США хотели продемонстрировать всему миру, каким мощным оружием они обладают (для устрашения).

Стоимость Манхэттенского проекта составила около 2 млрд. долл. США (в пересчете на современные деньги – около 200 млрд. долл. США), в нем участвовали около 130 тысяч человек. Ядерные технологии, освоенные в процессе реализации этого проекта, легли в основу современной ядерной энергетики.

При подготовке буклета были использованы следующие источники:

- Статья Александра Ковалева «История создания ядерного оружия». (<http://www.fallout-archives.com/articles/5/62p1.php>)
- http://mobwiki.ru/Проект_«Уран»
- Дэвид Ирвинг. Ядерное оружие Третьего рейха. Немецкие физики на службе гитлеровской Германии, <http://lib.rus.ec/b/299555/read>
- *<http://atomas.ru/>
- «История науки Атомной эры», статья Олега Акимова «Манхэттенский проект». <http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/inav-manhattan.htm>
- ru.wikipedia.org/wiki/Ядерное_оружие
- Музей в Хэнфорде. <http://www.b-reactor.org/>
- Некоммерческий фонд – «Атомное наследство». <http://www.atomicheritage.org/>
- Атомный архив. <http://www.atomicarchive.com/>
- <http://www.atomicarchive.com/Portal/index.shtml>
- Музейный мемориал в Хиросиме. <http://www.csi.ad.jp/ABOMB/>
- <http://www.csi.ad.jp/ABOMB/related.html>
- <http://www.dannen.com/decision/index.html>

Материал подготовили: Брылева В.А., Комаровская Л.В., Зимич Е.Н.

Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99

тел.: 299-47-61, 299-45-56, факс: 299-43-55, E-mail: <http://www.sosny.bas-net.by>

E-mail: valentina.bryliova@yandex.by

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

©При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь