

# Нильс Хенрик Давид Бор



# Нильс Хенрик Давид Бор (7 октября 1885, Копенгаген — 18 ноября 1962, Копенгаген)



Датский физик-теоретик и общественный деятель, один из создателей современной физики. Лауреат Нобелевской премии по физике (1922). Член Датского королевского общества (1917) и его президент с 1939. Был членом более чем 20 академий наук мира, в том числе иностранным почётным членом АН СССР (1929; членом-корреспондентом — с 1924).

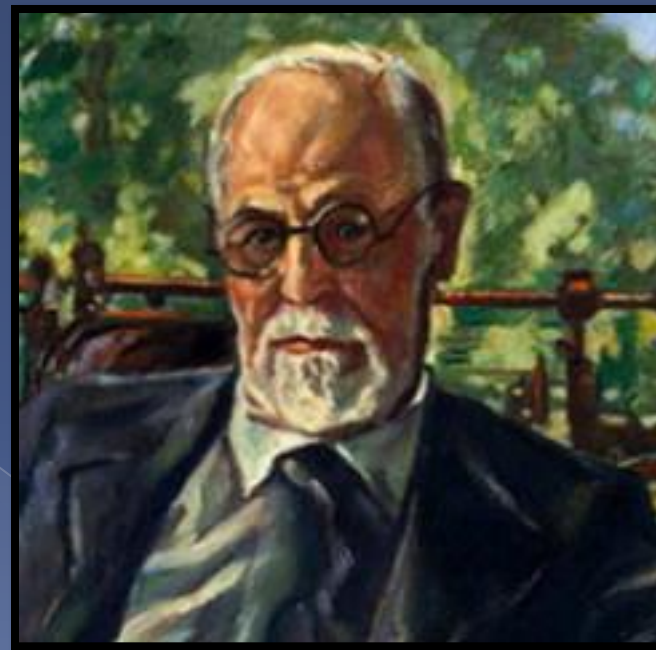
Бор известен как создатель первой квантовой теории атома и активный участник разработки основ квантовой механики. Также он внёс значительный вклад в развитие теории атомного ядра и ядерных реакций, процессов взаимодействия элементарных частиц со средой.

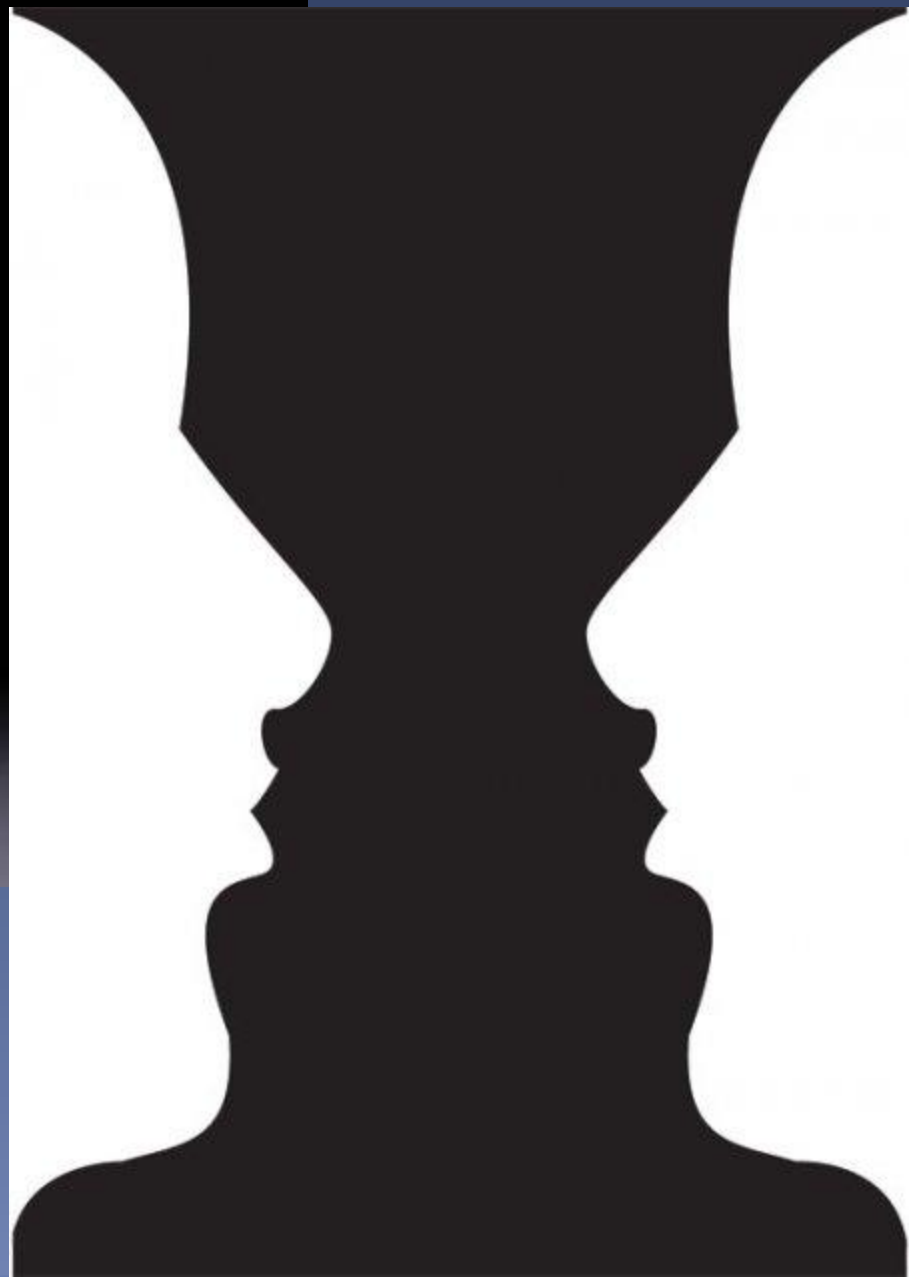
# Молодость. Теорема Бора — ван Лёвен (1885—1911)

Нильс Бор родился в семье профессора физиологии Копенгагенского университета Христиана Бора (1858—1911) и Эллен Адлер (1860—1930), дочери влиятельного и весьма состоятельного еврейского банкира.

Родители Бора поженились в 1881 году. В школе Нильс проявлял явную склонность к физике и математике, а также к философии. Этому способствовали регулярные визиты коллег и друзей отца, в числе которых были философы и физики. Близким другом и одноклассником Бора в этот период был его троюродный брат (по материнской линии), известный в будущем гештальт-психолог Эдгар Рубин (среди предложенных им оптических иллюзий т. н. [«ваза Рубина»](#)).

Рубин привлёк Бора к изучению философии.



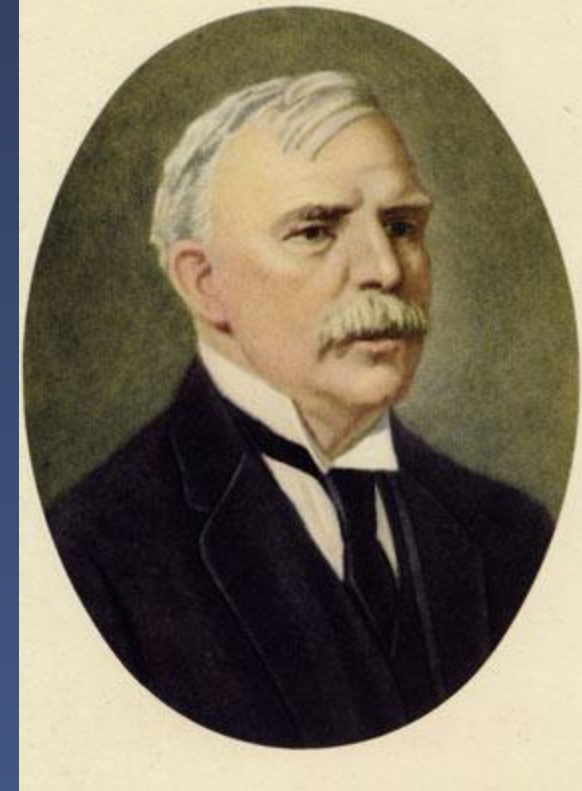


В 1903 году Нильс Бор поступил в Копенгагенский университет, где изучал физику, химию, астрономию, математику. В университете Нильс Бор выполнил свои первые работы по исследованию колебаний струи жидкости для более точного определения величины поверхностного натяжения воды. Теоретическое исследование в 1906 году было отмечено золотой медалью Датского королевского общества.

В 1910 Бор получил степень магистра, а в мае 1911 защитил докторскую диссертацию по классической электронной теории металлов. В своей диссертационной работе Бор, развивая идеи Лоренца, доказал важную теорему классической статистической механики, согласно которой:

**“...магнитный момент любой совокупности элементарных электрических зарядов, движущихся по законам классической механики в постоянном магнитном поле, в стационарном состоянии равен нулю” .**

В 1911 Бор получил стипендию в размере 2500 крон от фонда Карлсберга для стажировки за границей. В сентябре 1911 он прибыл в Кембридж, чтобы работать в Кавендишской лаборатории под руководством знаменитого Дж. Дж. Томсона. Однако сотрудничество не сложилось: Томсона не заинтересовал молодой датчанин, с ходу указавший на ошибку в одной из его работ и к тому же плохо изъяснявшийся на английском.

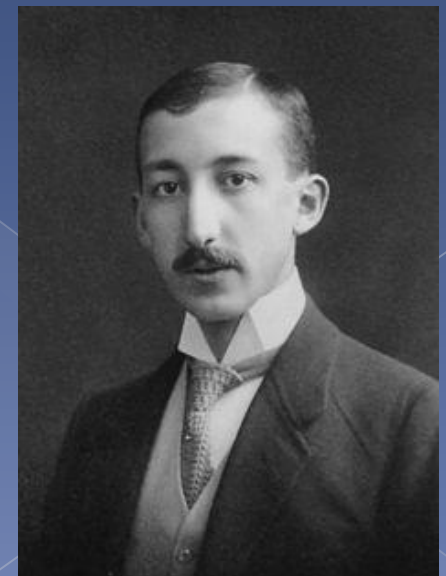


В итоге в марте 1912 Бор переехал в Манчестер к Эрнесту Резерфорду, с которым незадолго до того познакомился. В 1911 Резерфорд по итогам своих опытов опубликовал планетарную модель атома. Бор активно включился в работу по этой тематике, чему способствовали многочисленные обсуждения с работавшим тогда в Манчестере известным химиком Георгом Хевеши и с самим Резерфордом. Исходной идеей было то, что:

**«...свойства элементов определяются целым числом — атомным номером, в роли которого выступает заряд ядра, который может изменяться в процессах радиоактивного распада».**

Первым применением резерфордовской модели атома для Бора стало рассмотрение в последние месяцы своего пребывания в Англии процессов взаимодействия альфа- и бета-лучей с веществом. Летом 1912 Бор вернулся в Данию.

1 августа 1912 в Копенгагене состоялась свадьба Бора и Маргарет Норлунд, сестры близкого друга Харальда — Нильса Эрика Норлунда. Вместе с тем было положено начало тесной дружбе семей Боров и Резерфордов.



В марте 1913 Бор послал предварительный вариант статьи Резерфорду, а в апреле съездил на несколько дней в Манчестер для обсуждения своей теории. Итогом проведённой работы стали три части революционной статьи «О строении атомов и молекул», содержащие квантовую теорию водородоподобного атома.

**В теории Бора можно выделить два основных компонента:**

общие утверждения (постулаты) о поведении атомных систем, сохраняющие своё значение и всесторонне проверенные, и конкретная модель строения атома, представляющая в наши дни лишь исторический интерес.

Постулаты Бора содержат предположения о существовании стационарных состояний и об излучательных переходах между ними в соответствии с представлениями Планка о квантовании энергии вещества. Модельная теория атома Бора исходит из предположения о **возможности описания движения электронов в атоме, находящемся в стационарном состоянии, на основе классической физики, на которое накладываются дополнительные квантовые условия.**

Теория Бора сразу же позволила обосновать испускание и поглощение излучения в серийных спектрах водорода. Блестящим успехом теории Бора стало теоретическое получение значения постоянной Ридберга.

# Дальнейшее развитие теории. Принцип соответствия (1916—1923)

Летом 1916 Бор окончательно вернулся на родину и возглавил кафедру теоретической физики в Копенгагенском университете. В апреле 1917 он обратился к датским властям с просьбой о выделении финансов на строительство нового института для себя и своих сотрудников. 3 марта 1921, после преодоления множества организационных и административных трудностей, в Копенгагене был наконец открыт Институт теоретической физики, носящий ныне имя своего первого руководителя (институт Нильса Бора).

Несмотря на большую занятость административными делами, Бор продолжал развивать свою теорию, пытаясь обобщить её на случай более сложных атомов, например, гелия. В 1918 в статье «О квантовой теории линейчатых спектров» Бор сформулировал количественно так называемый **принцип соответствия**, связывающий квантовую теорию с классической физикой. Впервые идея соответствия возникла ещё в 1913, когда Бор использовал мысль о том, что переходы между стационарными орбитами с большими квантовыми числами должны давать излучение с частотой, совпадающей с частотой обращения электрона. Начиная с 1918, принцип соответствия стал в руках Бора мощным средством для получения новых результатов:

**он позволил, следуя представлениям о коэффициентах Эйнштейна, определить вероятности переходов и, следовательно, интенсивности спектральных линий; получить правила отбора.** Впоследствии Бор дал чёткую формулировку принципу соответствия

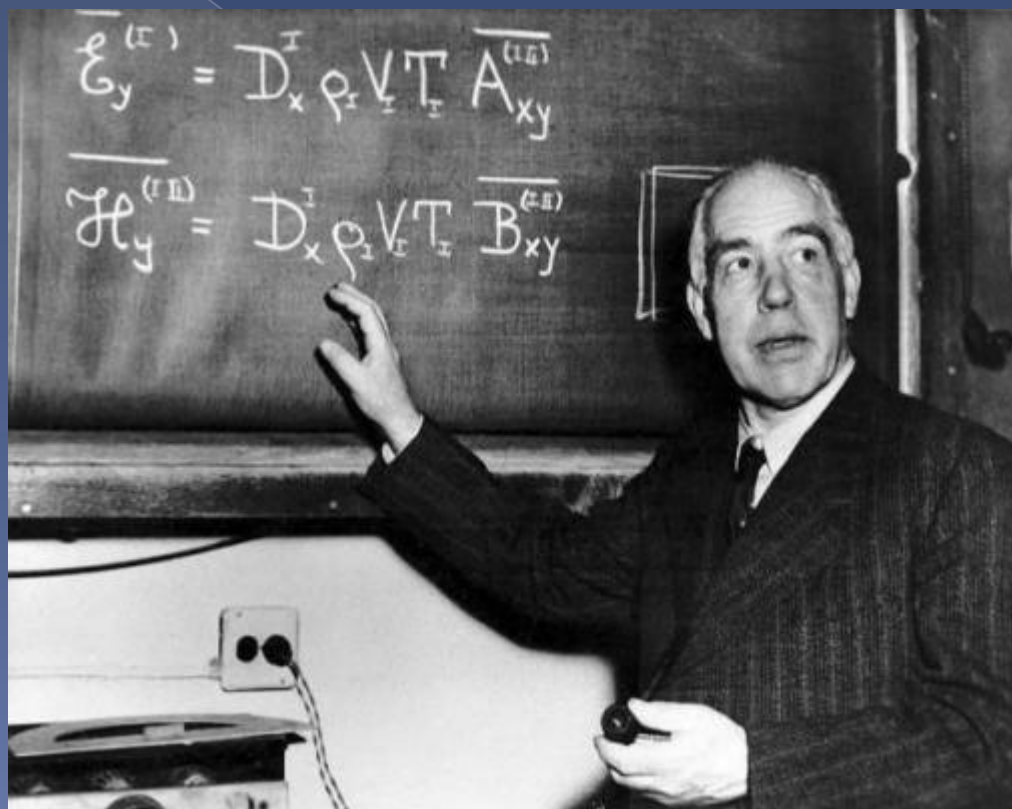




В 1921—1923 в ряде работ Бору впервые удалось дать на основе своей модели атома, спектроскопических данных и общих соображений о свойствах элементов объяснение периодической системы Менделеева, представив схему заполнения электронных орбит. Правильность интерпретации периодической таблицы была подтверждена открытием в 1922 нового элемента гафния Дирком Костером и Георгом Хевеши, работавшими в то время в Копенгагене. Как и предсказывал Бор, этот элемент оказался близок по своим свойствам к цирконию, а не к редкоземельным элементам, как думали ранее.



В 1922 Бору была присуждена Нобелевская премия по физике «за заслуги в изучении строения атома». В своей лекции «О строении атомов», прочитанной в Стокгольме 11 декабря 1922, Бор подвёл итоги десятилетней работы.



# Становление квантовой механики. Принцип дополнительности (1924—1930)

Новой теорией стала квантовая механика, которая была создана в 1925—1927 годах в работах Вернера Гейзенберга и других ученых. Вместе с тем, основные идеи квантовой механики в первые годы оставались во многом неясными. Для полного понимания физических основ квантовой механики было необходимо связать её с опытом, выявить смысл используемых в ней понятий, то есть дать интерпретацию её формализма.

Именно над этими вопросами физической интерпретации квантовой механики размышлял в это время Бор. Итогом стала концепция дополнительности. Исходным пунктом в эволюции взглядов Бора стало принятие им в 1925 дуализма волна — частица. До этого Бор отказывался признавать реальность эйнштейновских квантов света, что вылилось в совместную с Крамерсом и Джоном Слэтером статью, в которой было сделано неожиданное предположение о несохранении энергии и импульса в индивидуальных микроскопических процессах. Однако эти взгляды вскоре были опровергнуты.

Сущность принципа неопределённости состоит в том, что:

**«...не может возникнуть такой физической ситуации, в которой оба дополнительных аспекта явления проявились бы одновременно и одинаково отчётливо. Иными словами, в микромире нет состояний, в которых объект имел бы одновременно точные динамические характеристики, принадлежащие двум определённым классам, взаимно исключающим друг друга, что находит выражение в соотношении неопределённостей Гейзенберга.»**

Следует отметить, что на формирование идей Бора, как он сам признавал, повлияли философско-психологические изыскания Сёрена Кьеркегора, Харальда Гёффдинга и Уильяма Джемса.

На пятом Сольвеевском конгрессе в Брюсселе начались знаменитые дискуссии Бора и Эйнштейна об интерпретации квантовой механики. Спор продолжился в 1930 на шестом конгрессе, а затем возобновился с новой силой в 1935 после появления известной работы Эйнштейна, Подольского и Розена о полноте квантовой механики. Хотя Бор так и не сумел убедить Эйнштейна в своей правоте, эти обсуждения и решения многочисленных парадоксов позволили Бору чрезвычайно улучшить ясность своих мыслей и формулировок, углубить понимание квантовой механики.



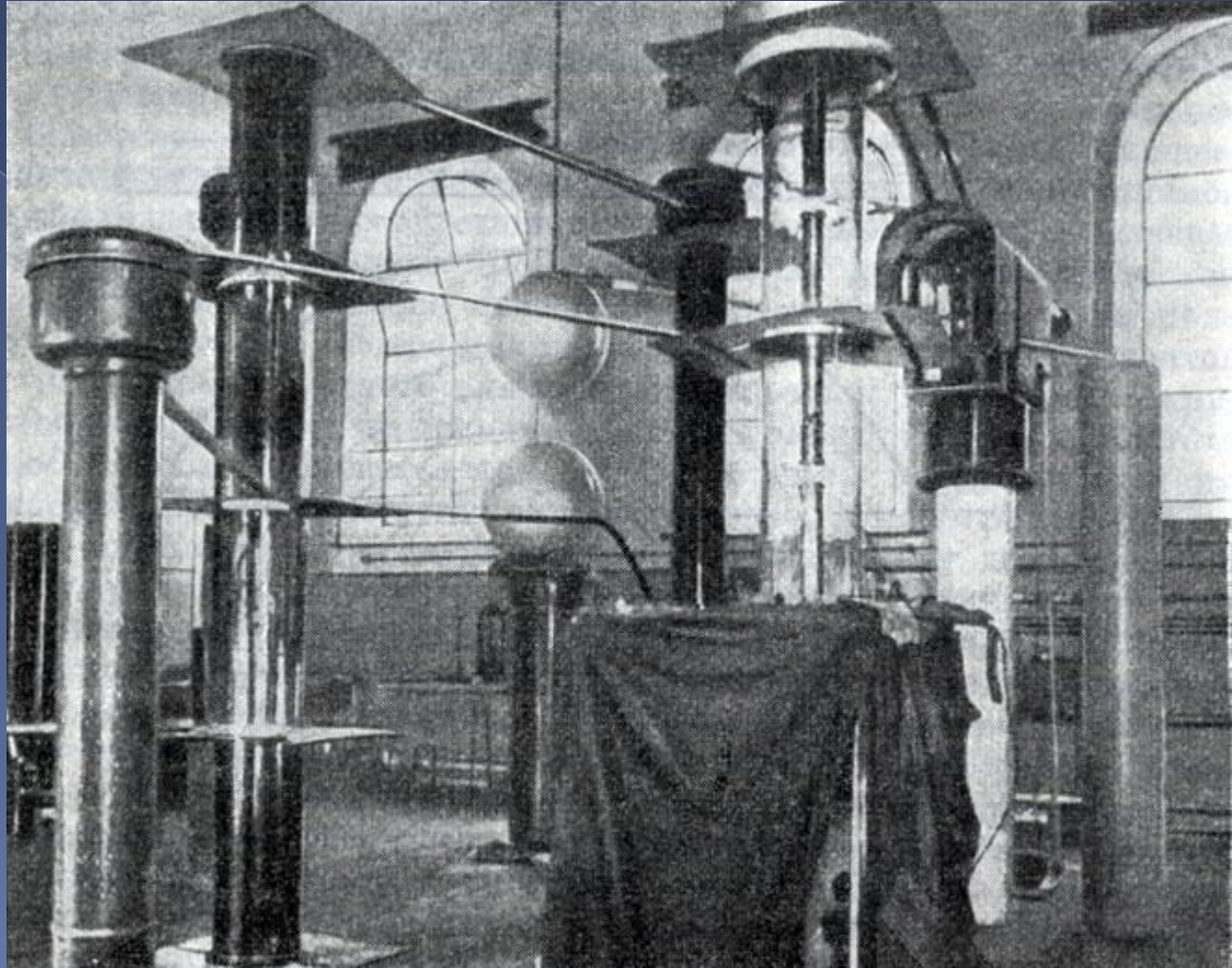


Дискуссии не прекращались до самой смерти Эйнштейна, порой принимая ожесточённый характер. Впрочем, участники никогда не переставали относиться друг к другу с огромным уважением, что нашло отражение в словах Эйнштейна, написанных в 1949:

*«Я вижу, что я был ... довольно резок, но ведь ... ссорятся по-настоящему только братья или близкие друзья.»*

# Ядерная физика (1930-е годы)

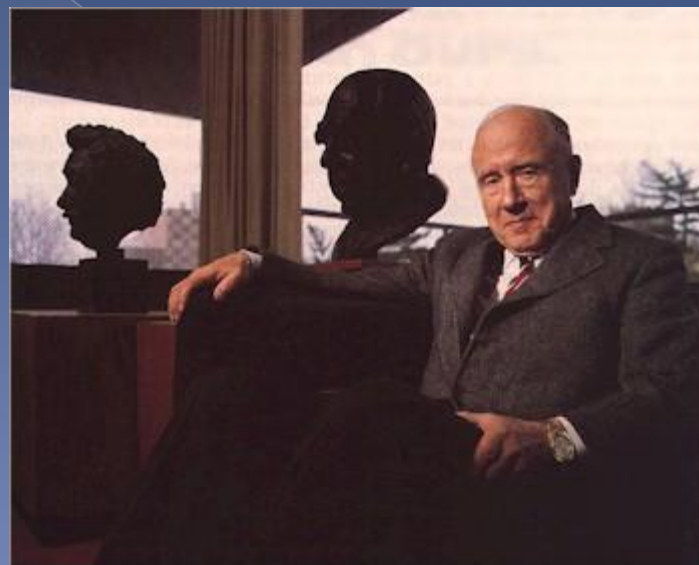
В 1930-е годы Бор увлёкся ядерной тематикой, переориентировав на неё свой институт: благодаря своей известности и влиянию он сумел добиться выделения финансирования на строительство у себя в Институте новых установок — циклотрона, ускорителя по модели Кокрофта — Уолтона, ускорителя ван-де-Граафа. Сам он внёс в это время существенный вклад в теорию строения ядра и ядерных реакций.



В 1936 Бор, исходя из существования недавно наблюдавшихся нейтронных резонансов, сформулировал фундаментальное для ядерной физики представление о характере протекания ядерных реакций: он предположил существование так называемого составного ядра («компаунд-ядра»). Тогда механизм реакций, не ограничивающийся лишь нейтронными реакциями, включает два этапа:

- 1) образование составного ядра.
- 2) его распад.

При этом две эти стадии протекают независимо друг от друга, что обусловлено равновесным перераспределением энергии. Это позволило применить статистический подход к описанию поведения ядер, что позволило вычислить сечения ряда реакций, а также интерпретировать распад составного ядра в терминах испарения частиц, создав по предложению Якова Френкеля капельную модель ядра.



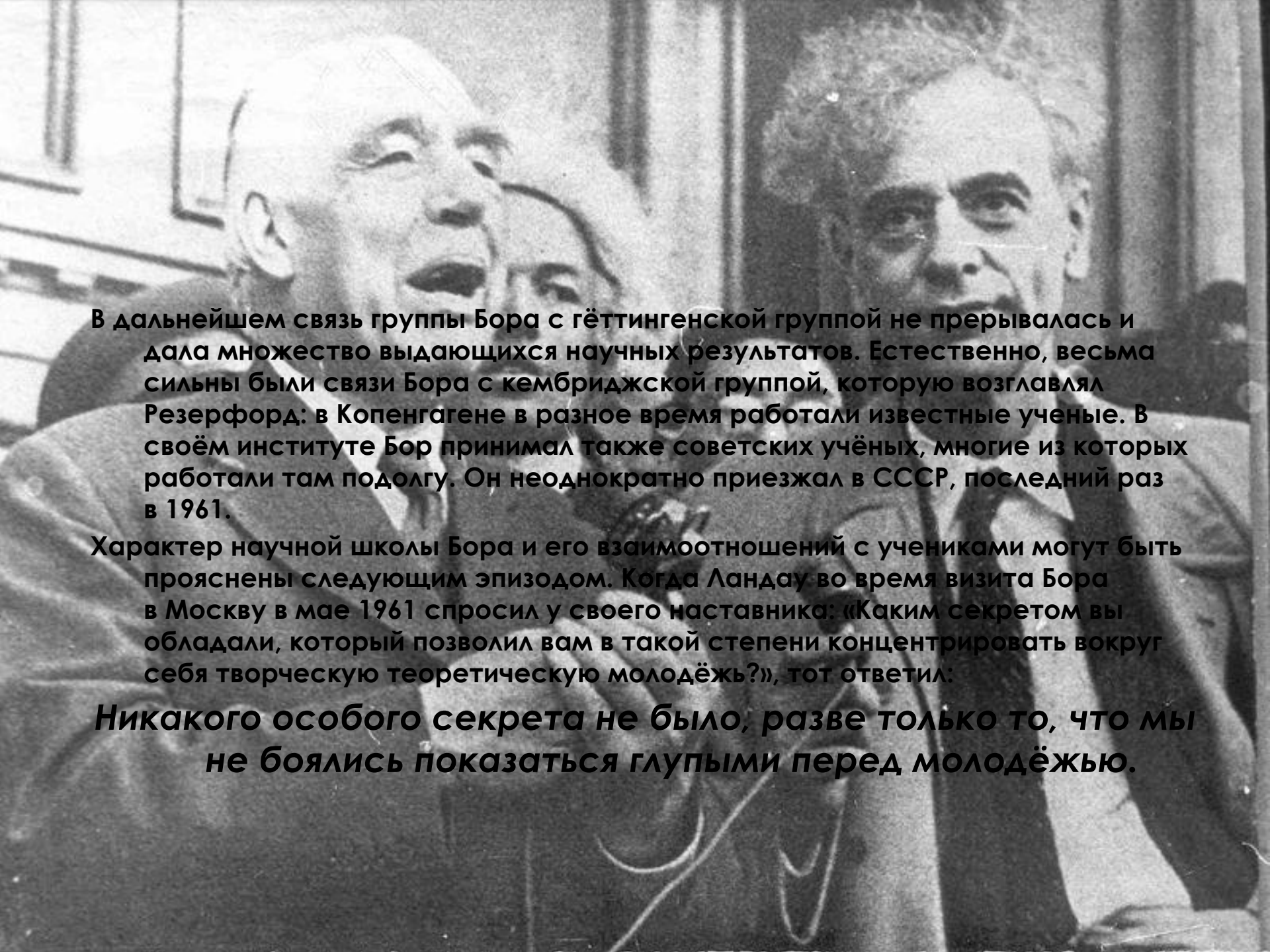
Велик вклад Бора в объяснение механизма деления ядер, при котором происходит освобождение огромных количеств энергии. Деление было экспериментально обнаружено в конце 1938 Отто Ганом и Фрицем Штрассманом и верно истолковано Лизе Мейтнер и Отто Фришем во время рождественских каникул. Бор узнал об их идеях от Фриша, работавшего тогда в Копенгагене, перед самым отъездом в США в январе 1939. В Принстоне совместно с Джоном Уилером он развил количественную теорию деления ядер, основываясь на модели составного ядра и представлениях о критической деформации ядра, ведущей к его неустойчивости и распаду. Теория позволила получить зависимость сечения деления от энергии, совпадающую с экспериментальной. Кроме того, Бору удалось показать, что деление ядер урана-235 вызывается «медленными» (низкоэнергетичными) нейтронами, а урана-238 — быстрыми.



# Научная школа Бора

Бор создал крупную международную школу физиков и многое сделал для развития сотрудничества между физиками всего мира. С начала 1920-х годов Копенгаген стал «центром притяжения» для наиболее активных физиков: большинство создателей квантовой механики в то или иное время там работали, их идеи выкристаллизовывались в продолжительных изнурительных беседах с Бором. Большое значение для распространения идей Бора имели его визиты с лекциями в различные страны. Так, большую роль в истории науки сыграли семь лекций, прочитанных Бором в июне 1922 в Гёттингенском университете (так называемый «Боровский фестиваль»). Именно тогда он познакомился с молодыми физиками Вольфгангом Паули и Вернером Гейзенбергом, учениками Зоммерфельда. Свои впечатления от первой беседы с Бором во время прогулки Гейзенберг выразил следующим образом:

***«Эта прогулка оказала сильнейшее влияние на моё последующее научное развитие, или, пожалуй, можно сказать лучше, что моё собственно научное развитие только и началось с этой прогулки.»***



В дальнейшем связь группы Бора с гёттингенской группой не прерывалась и дала множество выдающихся научных результатов. Естественно, весьма сильны были связи Бора с кембриджской группой, которую возглавлял Резерфорд: в Копенгагене в разное время работали известные ученые. В своём институте Бор принимал также советских учёных, многие из которых работали там подолгу. Он неоднократно приезжал в СССР, последний раз в 1961.

Характер научной школы Бора и его взаимоотношений с учениками могут быть прояснены следующим эпизодом. Когда Ландау во время визита Бора в Москву в мае 1961 спросил у своего наставника: «Каким секретом вы обладали, который позволил вам в такой степени концентрировать вокруг себя творческую теоретическую молодёжь?», тот ответил:

**Никакого особого секрета не было, разве только то, что мы не боялись показаться глупыми перед молодёжью.**