

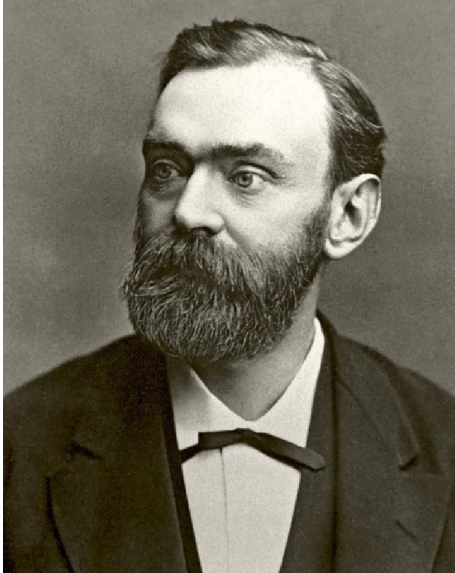
УДК 929

ПУГАЧ Б. Я. (професор кафедри теорії культури і філософії науки

ХНУ імені В.Н. Каразіна)

НАУЧНЫЕ ПОИСКИ И ОТКРЫТИЯ П. Н. ЛЕБЕДЕВА

Если мне сейчас предложат выбор



Альфред Нобель

раджи

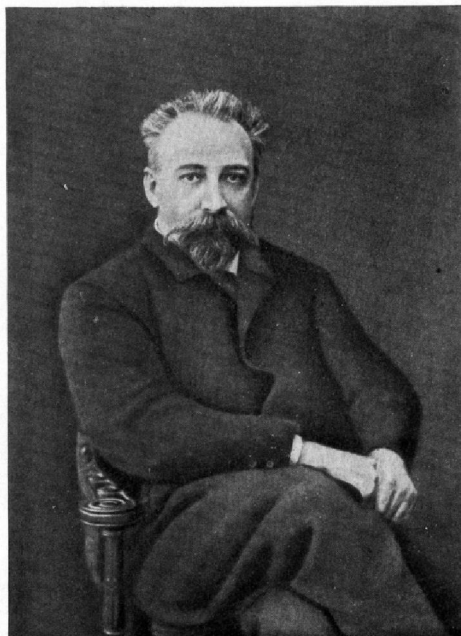
Сулови емо ставить науку
Имеждускудным пропитанием,
Неудобной квартирой,
Но превосходным институтом,
То меня мысли не может
Быть колебаниями

Петр Николаевич Лебедев

Я считаю П. Н. Лебедева одним
Из первых лучших физиков
Нашего времени,
Пусть посеянные им семена
Принесут богатый плод!

*Гендрик Антон Лоренц,
создатель электронной теории,
лауреат Нобелевской премии*

Имя Лебедева будет вечно сиять



*Сванте Аррениус,
шведский ученый, один из
основоположников физической химии,
лауреат Нобелевской премии*

Работы Лебедева по световому давлению—
Это важнейший экспериментальный узел,
Определивший развитие
Теории относительности,
Теории квантов
И современной астрофизики

*Сергей Иванович Вавилов,
ученик П. Н. Лебедева,
Президент Академии Наук СССР*

М. Лебедев

Я должен работать
На предел своих сил,
На предел того, что
Можу вообще осуществить.
А то, что легко,
Пусть решают другие

П. Н. Лебедев

Раскрыта многогранная творческая деятельность величайшего физика-экспериментатора П. Н. Лебедева. Его научные поиски и достижения во многом опережали реальный процесс развития науки. Подчеркнуто, что всестороннее исследование светового давления на твердые тела и газы — это подвиг ученого. Ювелирные эксперименты по «взвешиванию света» доказали, что потоки излучения обладают энергией, а значит, массой. Опыты П. Н. Лебедева, касающиеся взаимосвязи массы и энергии — это фундамент, который дал возможность А. Эйнштейну открыть закон природы, выраженный уравнением $E=mc^2$. Сформулировано положение, согласно которому исследование светового давления — это экспериментальный прорыв, определивший развитие теории относительности, теории квантов современной астрофизики. Не только историк, но и исследователь-физик еще долго будут обращаться к новаторским, классическим трудам гениального мыслителя, ученого Нобелевского масштаба.

Ключевые слова: свет, давление света, измерение давления света на твердые тела и газы, эксперимент, энергия, масса, теория относительности, теория квантов, современная астрофизика.

Пугач Б. Я. НАУКОВІ ПОШУКИ ВІДКРИТТЯ НОБЕЛІВСЬКОГО МАСШТАБУ

Розкрито багатогранну творчу діяльність видатного фізика-експериментатора П. М. Лебедева. Його наукові пошуки і досягнення багаточисленно опережали реальний процес розвитку науки. Підкреслено, що всебічне дослідження тиску світла на тверді тіла і газу — це подвиг вченого. Ювелірні експерименти зі «зважування світла» довели, що потік випромінювання має енергію, а отже й масу. Досліди П. М. Лебедева, які стосуються взаємозв'язку маси й енергії — це фундамент, котрий надав А. Ейнштейну можливість відкрити закон природи, виражений рівнянням $E=mc^2$. Сформульовано положення, згідно з яким дослідження тиску світла — це експериментальне джерело, що надало поштовх створенню і розвитку теорії відносності, теорії квантів і сучасній астрофізиці. Не тільки історик, а й фізик-дослідник ще довго будуть звертатися до новаторських, класичних праць гениального мислителя, вченого Нобелівського масштабу.

Ключові слова: світло, тиск світла, вимірювання тиску світла на тверді тіла і газу, експеримент, енергія, маса, теорія відносності, теорія квантів, сучасна астрофізика.

Pugach B. Ya. SCIENTIFIC RESEARCH AND DISCOVERIES OF THE NOBEL PRIZE MAGNITUDE

The article reveals multifaceted creative activity of a great experimental physicist P. N. Lebedev. His scientific research and achievements were, in many ways, ahead of the actual process of science development. The author states that a comprehensive study of the pressure of light on solid bodies and gases is a feat of this scientist. His elaborate experiments on "light weighting" proved that flux of radiation has energy, and hence mass.

Lebedev's experiments on the relationship of mass and energy were the foundation that enabled A. Einstein to discover a law of nature expressed by the equation $E=mc^2$. The author argues that the study of the pressure of light is an experimental spring that has defined the development of the theory of relativity, quantum theory and modern astrophysics. Not only the historian but also the research physicist will consult innovative, classic works of the great thinker, scientist of the Nobel Prize magnitude for a long time.

Keywords: light, pressure of light, measurement of the pressure of light on the solid bodies and gases, experiment, energy, mass, relativity, quantum theory, modern astrophysics.

© Пугач Б. Я.

В данной статье мы обратимся к научному творчеству замечательного русского физика Петра Николаевича Лебедева (1866—1912). «Нобелевский уровень» его исследований признан мировым академическим сообществом. Поэтому молодежь—

аспиранты и студенты должны иметь глубоко представление о научных поисках и открытиях в орцов как современной науки, так и ее великих предшественников.

Нобелевская премия является международной и самой престижной именно потому, что она представляет собой символ высших достижений человечества. Затронем некоторые философские и нравственные аспекты деятельности Альфреда Нобеля— основателя, учредителя наиболее привлекательной и авторитетной награды.

Альфред Бернхард Нобель—

наш современник, наш жизненный и научный идеал. Своими моральными качествами, своим интеллектом, своими решениями, своей судьбой А. Нобель возвышается над обычным человеческим уровнем. Он служит убедительным примером для других. И в особенности для молодежи. К нему в полной мере относится метафорическое выражение:

«Сгорая, светить другим». Слово «Нобель», заимствованное из латыни означает «благородный, знатный». Следует подчеркнуть, что крупный промышленник, основатель могущественной «империи Нобелей», самый богатый и состоятельный человек в Европе является одновременно проницательным философом, мыслителем, величайшим изобретателем. Природа щедро наделила А. Нобеля волей, энергией, талантом. Его изобретательный ум дал миру множество блестящих действий.

355 патентов свидетельствуют о плодотворном творческом пути ученого. Открытия и находки Нобеля не остались на полках архивов и не затерялись в пыли библиотек. Среди них патенты на водометр, барометр, холодильный аппарат, газовую горелку, усовершенствованный способ получения серной кислоты, конструкцию боевой ракеты и др. С невероятным упорством и стремлением он сам успешно воплощает интересные идеи в жизнь, производство. Вступив в первую схватку с судьбой на развалинах маленькой мастерской, разрушенной взрывом, он завершает свой путь главной огой могущественного мирового концерна.

Интересы Нобеля были поразительно разносторонними. Он занимался электрохимией и оптикой, биологией и медициной, конструировал автоматические тормоза и безопасные паровые котлы, пытался изготовить искусственные резину и кожу, исследовал нитроцеллюлозу и искусственный шелк, работал над получением легких сплавов. Это было один из самых образованных людей своего времени. Он читал много книг по истории и философии, технике и медицине, художественной литературе, был знаком с королями и министрами, учеными и предпринимателями, художниками и писателями, например с Виктором Гюго.

Завсю свою жизнь Нобель написал одну небольшую своеобразную автобиографию. Ее появление связано с присвоением ученому степени доктора философии Упсальским университетом (Швеция), старейшим в Европе (основан в 1477). Вот ее текст:

«Подписавшийся родился 21 октября 1833 г. Своим званием приобрел дома и не посещая школы. Он посвятил себя главным образом прикладной химии и открыл взрывчатые вещества: динамит, гремучий студень и бездымный порох, известный под названием «баллистит». Является членом Шведской академии наук, Лондонского Королевского общества и Общества гражданских инженеров в Париже. В 1880 г.

кавалер Ордена Полярной звезды. Он является офицером Почетного легиона. Единственная публикация— на английском языке, за которую присуждена серебряная медаль».

Но, к сожалению, досих пор нет полной биографии этого человека. А он заслуживает того, чтобы быт изданным в престижной серии, например, «Жизнь замечательных людей» (ЖЗЛ). В 1993 г. вышла книга Рагнара Сульмана (Швеция), близкого друга и ассистента Альфреда Нобеля [1]. В ней повествуется о драматической истории создания Нобелевского фонда. Но истинные мотивы решения А. Нобеля, нравственные аспекты создания им премиального фонда остаются в стороне.

Ценными представляются мысли Альфреда Нобеля о смысле жизни. Обращает внимание на то, что жизнь является «драгоценным камнем, полученным нами из руд материи природы для того, чтобы мы сами шлифовали и полировали его до тех пор, пока его блеск не вознаградит нас за наши труды».

Как автор изобретений динамита и баллистит, его имя получает широкую популярность в научных, деловых, финансовых и политических кругах Европы. Новое мировое известность Альфреда Нобеля приобретает благодаря знаменитому «изобретению», которым становится идея основания Фонда. Этот благородный замысел «динамитного короля» сейчас ассоциируется с наиболее значительными вехами на пути человечества к знанию. Выдающийся французский мыслитель и писатель О. де Бальзак (1799—1850) как-

то заметил, что «нужны исключительные обстоятельства, чтобы имя ученого попало из науки в историю человечества». Жизнь Нобеля представляет собой сложный путь, в котором переплетаются ни интересы промышленника, ученого, изобретателя. Его гражданский подвиг во имя развития науки навсегда останется яркой страницей в ее истории и представляет собой неотъемлемую часть цуло золотого фонда человеческой культуры и цивилизации.

Несколько раньше государственного деятеля, графа, генерал, участник Бородинского сражения, почетный член Петербургской Академии наук, учредитель одного из старейших высших специальных заведений России — художественно-промышленного университета Строганов Сергей Григорьевич (1794—1882) на протяжении своей жизни руководствуется девизом рода Строгановых, наполненным оощным нравственным потенциалом: «Богатство — Отечеству, себе оставлю имя». Формулу завещания А. Нобеля можно выразить так: «Мое богатство принадлежит науке. Человечество будет благодарно моему имени».

Мысли Нобеля о создании, учреждении Нобелевской премии и свидетельствуют о том, что они шетот ответ далеко за пределами сферы прагматических интересов, обыденного сознания, здравого смысла. Тем самым размышления ученого и делового человека далеко опережают свое время. Об этом, в частности, свидетельствует его слова о том, что «люди, заботящиеся о получении максимальной выгоды, едва ли заслуживают уважения, а о сознание истинных побудительных мотивов их деятельности способно омрачить радость человеческого общения» [2].

Одно из важных положений завещания Нобеля предусматривало создание Фонда для ежегодного присуждения премий за достижения в пяти сферах научной деятельности [3]. Одна шведская газета в 1897 году писала о нем как о «даре, служащем высоким целям дальнейшего прогресса человечества и, вероятно, самом крупном пожертвовании, которое досих пор кто-либо имел возможность совершить».

Выражаемая уверенность в том, что в современном мире найдутся люди, обладающие оригинальными мышлениями тонкой интуицией, которые смогут прогнозировать тенденции развития науки и создать новые фонды для успешного решения глобальных экологических проблем, проблемы защиты мира на Земле, демографических проблем, а особенно охраны здоровья человека и животного мира. У нас есть Вера, Любовь к своей Планете и есть Надежда, что Человечество найдет адекватное решение своих сложнейших проблем.

Известный физик-теоретик XX века, один из создателей современной квантовой электродинамики (Нобелевская премия, 1965) Ричард Фейнман (1908—1980) в своих лекциях подчеркивает, что если бы в результате мировой катастрофы научные знания оказались уничтоженными и грядущим (будущим) поколениям перешла бы только одна фраза, несущая наибольшую информацию об исчезнувшей науке, ее содержании звучало бы так: «вселенная состоит из атомов». В этих словах выражена суть философской гипотезы Демокрита.

С другой стороны, если нам удастся получить первые радиосигналы из глубин Вселенной, содержание которых можно расшифровать так: «Земля. Довостребования. Самому популярному Человеку», то можно предположить, что одним из первых будет названо имя Альфреда Бернхарда Нобеля.

Главной отличительной особенностью великого Альфреда Нобеля — гениального ученого и изобретателя — является способность видеть глубже и дальше других ученых. Оно обладало высоким внутренним равновесным потенциалом. Своим беспрецедентным в истории человеческой цивилизации завещанием Альфред Нобель изменяет мир, в котором мы живем.

Величайший ученый в истории человечества, выдающийся английский философ, математик, физик Исаак Ньютон (1642—1727) так говорил о своих предшественниках: «Если я и видел дальше других, то только потому, что стоял на плечах гигантов». Эти слова имеют прямое отношение к А. Нобелю, который, несомненно, принадлежит к числу таких гигантов — гениев, которые прокладывают дорогу в будущее для всего человечества.

Авторитетность Нобелевских премий объясняется не величиной премиального фонда. Некоторые, например, премия, учрежденная Ford Motor, лишь немного уступает Нобелевской по размеру денежного вознаграждения. Однако, Нобелевские премии принципиально отличаются от других в отношении гуманистической идеи служения науке, прогрессу всего человечества вне его государственных и национальных границ. В этом смысле они являются интернациональными. Существует система выдвижения кандидатов. Она позволяет учитывать позиции, взгляды широких кругов научной общественности. Престиж этих премий определяется следующим неоспоримым фактом. Более чем вековая история присуждения воссоздает в целом ретроспективу прогрессивных тенденций развития науки XX столетия, и будем надеяться, что фундаментальные исследования и открытия будут определять развитие науки XXI века.

Постатуту Нобелевского фонда лауреат имеет единственную обязанность: в течение шестидесяти лет после вручения премии он должен прочесть в Стокгольме лекцию о своих результатах. Эти лекции ежегодно издаются Нобелевским фондом. Они представляют собой подлинную энциклопедию научной и творческой мысли и имеют выдающийся познавательный и исторический интерес.

Мы гордимся самоотверженным, героическим подвигом Нобеля. Учреждение Нобелевского фонда означает рождение, становление новой эпохи познания мира — постнеклассической науки, создание принципиально новой программы, парадигмы развития научно-познания.

Можно не только предположить, но и суверенно утверждать, что Альфред Нобель одним из первых в истории науки осмысленно подошел к решению проблемы социальной ответственности ученого за последствия своих открытий. Первым реальным шагом на пути мирного существования, считает ученый, является уничтожение смертоносного оружия. Он ставит задачу: «изобрести вещество или машину, чтобы всякая война вообщем стала невозможной». При его финансовой поддержке проводились конгрессы, посвященные вопросам мира на земле, и принимал в них участие.

Как глубокий мыслитель Нобель приходит к выводу о том, чтобы свои вклады изыять из промышленности и обращения, в том числе военного, и создать фонд развития науки, а проценты от своего капитала присуждать в виде премий тем исследователям, кто «принесет наибольшую пользу человечеству».

Хотелось бы привести несколько интересных примеров о том, кто и как из богатых людей Франции помогал науке, в частности Институту Пастера. Так в число членов совета Института вошел знаменитый французский финансист Альфонс Ротшильд. Но он не сделал никаких жертв в развитии Института. Другой банкир, барон Гирш, беглоосмотрев Институт и взглянув на коллекцию микробов, удивленно спросил Луи Пастера: «Какая может быть от всего этого польза?» — и спешно ушел [4].

Еще один богатый человек, парижский банкир Ифла-Озирис большую часть своего состояния (32 миллиона франков) завещает Пастеровскому Институту для изучения таких болезней как бугорчатка, сифилис, злокачественные опухоли и т. д. [5]. В настоящее время Институт существует на доходы, получаемые от продажи сывороток, вакцин и других микробиологических препаратов, на проценты с капитала и частные пожертвования. Заметим, что лауреат Нобелевской премии Илья Ильич Мечников (1845—

1916), уроженец Слобжанщины ряд сотрудников Института Пастера при строительстве новых исследовательских лабораторий отказались от жалования в связи с большими расходами.

Можно предположить, что Ифла-

Озирис сделал существенные пожертвования в имя науки под влиянием таких факторов. Во-первых, он хорошо знал о гражданском подвиге Нобеля и сам хотел увековечить свое имя в науке. Во-вторых, Ифла-Озирис был восхищен поступком великого душием Эмиля Ру (1853—1933), основного помощника Луи Пастера по борьбе с инфекционными болезнями. Э. Ру отдал свое премию в сумместотысяч франков Институту, которую учредил тот же Ифла-Озирис. Как вспоминает И. И. Мечников, когда финансист «узнал о подарке Ру, человека, не имеющего состояния, то он не хотел этому поверить. Но вскоре он убедился в том, что есть люди, для которых *общее дело вышше личное* и его симпатии стали все более и более склоняться в пользу Пастеровского Института» [6]. Таким образом, Ифла-Озирис совершает высокий нравственный поступок. Своим капиталом он обеспечивает устойчивое развитие одного из старейших микробиологических институтов Европы.

В таких областях научного познания, как генная инженерия, биотехнология, биомедицина и генетические исследования человека, разработка принципиально новых методов и препаратов против массовых заболеваний (грипп животных, антракс, атипичная пневмония и ряд других) остро обсуждаются вопросы научного поиска и социальной ответственности ученого.

Использование средств философского анализа, обращение к многовековому опыту философов и размышлений становится не просто желательным, а существенно необходимым для поиска оснований разумных и в меру подлинно гуманных позиций при столкновении с теми проблемами, которые стоят перед нами сегодня.

Сейчас по-

новому осмысливается связь свободы и ответственности в деятельности ученых. Ранее приходило утверждать и отстаивать принцип свободы научного поиска перед лицом догматического невежества, фанатизма суеверий, просто предубеждений и заблуждений. В таком случае ответственность ученого выступала как ответственность за получение и распространение проверенных, обоснованных исторических знаний.

Идея неограниченной свободы исследования, которая была прогрессивной на протяжении многих столетий, сейчас должна осмысливаться с учетом социальной ответственности исследователя за результаты своих научных открытий.

Обратимся к некоторым аспектам многогранной творческой деятельности величайшего мыслителя физика-экспериментатора Петра Николаевича Лебедева (1866—1912), его научных поисков и открытий. Идеи и выводы ученого опередили реальный процесс развития науки.

В 1891 г. выходит свет статья П. Н. Лебедева «Об отталкивающей силе лучеиспускающих тел» на русском, а в 1892 г.

на немецком языке в престижном журнале «Annalen der Physik». Она начинается так: «Максвелл показал, что световой или тепловой луч, падая на поглощающее тело, производит на него механическое давление в направлении падения; величину этой давящей силы P можно выразить в форме $P = E/V$, где E — энергия, которая падает в единицу времени на поглощающее тело, а V — скорость в той среде, в которой находится тело» [7].

Таким образом, данная статья начиналась с указания на *существование светового давления*. Заметим, что последняя статья ученого, оставшаяся незаконченной, была посвящена световому давлению [8]. Исследование светового давления является делом жизни Петра Николаевича, его научным подвигом.

В заметке об отталкивающей силе лучеиспускающих тел показано, что при малых размерах тела, находящегося под воздействием силы тяготения со стороны Солнца, она может быть сравнима с отталкивающей силой давления солнечных лучей. П. Н. Лебедев утверждает: «Пылинки, радиус которых не превышает одной тысячной миллиметра, будут отталкиваться при 0° в мировом пространстве силой, порядок которой в миллион раз превышает порядок их Ньютоновского притяжения»

[9]. Вместе с тем для молекул произведенные расчеты неприменимы. Дело в том, что «взаимодействие молекул можно рассматривать как более сложный случай, как действие резонаторов друг на друга» [10].

В 1894 г. появляется интересная работа Лебедева «Экспериментальное исследование пондеромоторного [механического — *авт.*] действия волн на резонаторы»

[11]. Сравнивая (уподобив) реальную молекулу колебательному контуру, способному принимать и излучать электромагнитные волны очень высокой частоты, он изготвил такие модели молекул, которые позволили изучить закономерности их взаимодействия с электромагнитными волнами. Излучающая молекула (вibrator) в зависимости от собственной частоты колебаний модели приемного контура (резонатора) будет либо притягивать, либо отталкивать. П. Н. Лебедев подчёркивает:

«Если мы станем точкой зрения электромагнитной теории света, если мы сделаем допущение, что волны Герца суть световые волны большого периода, то мы можем наши опыты рассматривать как попытку на чрезмерно больших схематичных моделях молекул в основных чертах исследовать законы тех молекулярных сил, которые обусловлены взаимным лучеиспусканием молекул» [12].

На основе глубоко продуманных и доказательных опытов в работе следует общее утверждение:

«Главный интерес исследования пондеромоторного действия волнообразного движения лежит в принципиальной возможности распространить найденные законы на область светового и теплового излучения отдельных молекул тела и предвычислять получающиеся при этом между молекулярные силы и их величину» [13].

Хотелось бы подчеркнуть, что П. Н. Лебедев уже в эпоху *зарождения радиофизики и радиотехники* поставил совершенно новую задачу миниатюризации приборов для излучения и исследования электромагнитных волн тем самым как бы *предначертал* современное направление конструкторской мысли и практических решений в этой области. В цитируемой выше работе проявилось мастерство Лебедева. Достаточно сказать, что резонатор, частоту колебаний которого можно было регулировать, имел весьма сложное устройство, а весил всего лишь 0,8 грамма! Здесь ученик впервые получил электромагнитные волны длиной 3 миллиметра. Напомним, что до этого были известны волны в 60 сантиметров, полученные самим Герцем. Лебедев поставил свое обрзанный «рекорд», который оставался непревзойденным в течение 25 лет. Только в 20-х годах XX столетия рекорд был перекрыт исследователями А. А. Глаголевой-Аркадьевой (1884—1945) — длиной волны 80 микрон и М. А. Левитской (1883—1963).

У Лебедева появилась мысль продолжить опыты Г. Герца. Результатом размышлений физика служит труд «О двойном преломлении лучей электрической силы», сразу же признанный классическим. Он появился одновременно на русско-немецком («*Annalender Physik*») языках. В начале этой статьи кратко излагается ее цель и содержание:

«После того, как Герц дал нам методы экспериментально проверить следствия электромагнитной теории света и тем открыл для исследования неизмеримую область, естественно появилась потребность сделать его опыты в не большом масштабе, более удобным для научных изысканий» [14]. Автор утверждает:

«Мне удалось придать наименьшим аппаратам получить и наблюдать электрические волны, длина которых превосходила долей одного сантиметра ($\lambda = 0,5$ см) и которые ближе к бол ее длинным волнам теплового спектра, чем к электрическим волнам, которыми в начале пользовался Герц; при этих волнах можно пользоваться такими маленькими параболическими зеркалами, что призма для доказательства явления преломления может быть лишь немногим более одного сантиметра» [15].

Новое еще состояло в том, что Лебедев дальше Герца продвинулся в решении задачи — доказать тождество электромагнитных и световых волн. Отметим, что еще Майкл Фарадей (1791—1867)

величайший мыслитель, теоретик, экспериментатор на качественном уровне впервые доказал тождество электромагнитных и световых явлений [16].

Укажем нато, что *конструкторская деятельность ученого направлена на создание надежных миниатюрных приборов и измерительных устройств*. Приборно-экспериментальные средства П. Н. Лебедева характеризуются *высокой точностью*, дают возможность получить новую *достоверную информацию* о сложных, *опосредованно измеримых характеристиках параметров физического мира*. Своим тончайшими опытами исследователь *босновывает, доказывает важнейшую закономерность природы, содержание которой можно выразить так:*

«Повышение степени точности знания, точности познавательных средств исследований и измерений; выражение результатов познания в систематизированной форме, представленной в терминах физически измеримых величин. Это закономерности, вместе с тем, обязательно требуются и ко всем наукам, независимо от того, что выступает предметом их изучения»

[17]. Этот гениальный человек придумывает опыты, существенно расширяя наши возможности познания мира. Ученый *открывает эффективный путь к решению самых сложных проблем.*

Приборы П. Н. Лебедева были настолько миниатюрны, изящны, малы, что, по выражению итальянского физика Аугусто Риги (1850—

1921), который в 1894 г. разработал метод получения коротких волн, их (приборы) можно было носить в жилетном кармане. Генератор электромагнитных волн Лебедева состоял из двух платиновых цилиндров, каждый по 1,3 мм длиной и 0,5 мм в диаметре, между которыми проскакивала искра. Зеркала Лебедева имели высоту 20 мм, отверстие 12 мм, фокусное расстояние равнялось 6 м. Для исследования преломления электромагнитных волн использовалась эбонитовая призма высотой 1,8 см, шириной 1,2 см, весом менее 2 г. Напомним, что призма Герца для этой же цели весила 600 кг. Петр Николаевич посетил Германию, Австрию, Италию (1895) и с большим успехом читал лекции о своих работах. Естествоиспытатель К. А. Тимирязев потом отмечал:

«Волны Герца требовали больших помещений для их обнаружения, целых металлических ширм в качестве зеркал для их отражения, чудовищных, в несколько пудов весом, смоляных призм для их преломления. Лебедев со свойственным ему неподражаемым искусством превращает все это в изящный маленький набор каких-то физических бирюлек [простых вещей— *авт.*] из этой коллекции инструментов, помещающихся в карман сюртука, объезжает всю Европу, вызывая восторг своих ученых коллег»

[18]. Миниатюрные приборы ученого всегда вызывали восхищение физиков-экспериментаторов, а задача уменьшения размеров экспериментально-измерительной техники и сейчас является одной из важнейших, стоящих перед учеными и конструкторами. Так, например, американский суперкомпьютер ASCI Whitem американской фирмы IBM выполняет за секунду 12,3 трлн. операций (состоит из 8192 микропроцессоров). Японский гигант достигает скорости свыше 40 трлн. оп/с. (состоит из 5120 микропроцессоров).

Лебедев выдвинул задачу: иди по пути уменьшения длин электромагнитных волн до самых длинных инфракрасных и микроволн. Вовремя встречи на одном из международных съездов немецким физиком Генрихом Рубенсом (1865—

1922), который занимался исследованием инфракрасных волн, Лебедев высказал вежливо-шутливой форме пожелание встретиться с эфире. Эту мысль осуществили в 20-х гг. XX в. русские ученые-женщины А. А. Глаголева и М. А. Левитская.

В истории науки учение Лебедева о сущности электромагнитной природы молекулярного (атомного) взаимодействия занимает фундаментальное место, так как оно раскрыло взаимодействие молекул. Во второй половине XX столетия советские физики Б. В. Дерягин и Е. М. Лифшиц подтвердили идею обобщения П. Н. Лебедева, а также разработали теорию молекулярных сил. В частности, Б. В. Дерягин отметил, что Лебедев еще не знал о виртуальных фотонах, но он предсказал возможное существование пока еще непознанных «волновых» объектов, которые вносят свой вклад во взаимодействие молекул. Это лебедевское обобщение является пророческим: *квантовая электродинамика доказывает, что электростатическое и магнитно-статическое взаимодействия осуществляются с помощью обмена виртуальными фотонами*. Во взаимодействии сложных молекулярных соединений и конденсированных сред вносятся свой вклад электромагнитные флуктуации, а также квазичастицы (фононы и экситоны) [19].

Установленная Лебедевым сущность физического взаимодействия подтвердилась для случая взаимодействия ядерных образований: ядерные силы своим происхождением обязаны бменутакими «волновыми» образованиями, как μ -мезоны.

Развивая идеи Лебедева известный ученый Е. М. Лифшиц (род. в Харькове) построил теорию молекулярного притяжения на основе учета флуктуационного электромагнитного поля, существующего в твердых телах при любой температуре. Теория создана на квантовомеханической основе электромагнитных сил. Итак, *подтвердилось замечательное предвидение Лебедева: п* освоей природе молекулярные силы целиком электромагнитны.

История познания электромагнитных явлений свидетельствует о том, что многие свойства электричества и магнетизма даются человеку непосредственно через органы чувств и рецепторы. Но это лишь различные проявления взаимодействия электрических и магнитных явлений в целом. Осмысление, анализ, обобщение непосредственно наблюдаемых свойств приводят к выявлению некоторых других непосредственно ненаблюдаемых фактов, а затем к выдвижению гипотез о существовании глубоко скрытых от человека ненаблюдаемых свойств, характеристик электромагнетизма. Такие свойства сначала «открываются» абстрактно-теоретическим путем, рациональными методами познания, а их истинное существование подтверждается на основе прибора научно организованных экспериментов косвенно, опосредствованно. Следовательно, свойства, сначала «открываемые» гипотетическим путем, каждый раз требуют создания все более совершенных усилительных и преобразовательных приборов, чтобы ненаблюдаемое сделать косвенно наблюдаемым в физических приборах экспериментах.

Световое давление играет важную роль в космических явлениях Вселенной. Представление о свете как о материальных лучах возникло в глубокой древности. Еще Эпикур, Лукреций и другие мыслители полагали, что свет — поток мельчайших корпускул.

В дальнейшем возникли две прямо противоположные точки зрения о природе света. Согласно первой гипотезе, свет — поток самостоятельных мельчайших и невесомых корпускул. Другая гипотеза считала (полагала) свет качеством волнового движения эфира.

Гипотеза о том, что лучи света производят давление на тела и стремятся двигать их в направлении распространения света, впервые сформулирована И. Кеплером. Другая гипотеза о том, что касается происхождения кометных хвостов. В трактате «De Cometis» (1619) говорится, что «эфир [Вселенная — *авт.*] кометами изобилует» и они «в эфире носятся». Указывается на то, что «голова кометы прямыми лучами Солнца ударяется и пронизывается; солнечные лучи пробивают тело кометы, освещают, истощают и, наконец, уничтожают: как шелк копряд, соткав кокон, так комета, испустив хвост, истощается и, наконец, умирает». И. Кеплер приходит к *кардинальному выводу* о том, что *солнечные лучи своим действием превосходят силы гравитационного притяжения*, поэтому «хвост кометы всегда удаляется в сторону, противоположную Солнцу, и лучами Солнца формируется» [20].

Иногда ссылаются на световое давление и на некий характер. П. Н. Лебедев в обзорной статье «Давление света» приводит такой пример. В интересной книге де Мерана «О северных сияниях» (1696) профессор Гартзакер (1656—1725) сообщает о том, что путешественники заметили интересное явление:

«течение вод Дуная значительно медленнее, когда лучи Солнца противодействуют его движению (утром), и делается более быстрым после полудня, когда лучи Солнца помогают его течению».

Проблема опытного обнаружения давления света стала особенно острой после создания гениальным английским математиком, физиком-теоретиком Джеймсом Кларком Максвеллом (1831—1879) электромагнитной теории — электродинамики. Ученому удалось теоретически вычислить давление света (1873). В своем главном труде «Трактат об электричестве и магнетизме» свой *эвристический вывод* он выразил так: «Плоское тело, выставленное на солнечный свет, будет испытывать давление только на освещенной стороне и, следовательно, будет отталкиваться с той стороны, откуда падает свет. По-видимому, гораздо большую энергию излучения можно получить с помощью сконцентрирован

ныхлучейэлектрическойлампы.Такиелучи,падающиенатонкийметаллическийдиск,искусно подвешенныйввакууме,возможно,смогутпроизвестимеханическийэффект,поддающийсяна блюдению» [21].Несколькопозже(1876)итальянскийфизикАдольфоБартоли(1851— 1896),исходяизтермодинамическихсоображений,нашелвыражениедлядавлениясветовогоизлучения.

Экспериментальныепопыткисобнаружитьсветовоедавлениебылившвоевремяпредпри нятыфранцузскимифизикамиШарлемДюфе(1698—1739)иОгюстеномФренелем(1788— 1827),английскимхимикомифизикомУильямомКруксом(1832— 1919).ИсследуяпричинынеудачФренеля,Круксобнаружилновоеявление,такназываемый*ради ометрическийэффект*.Онпроявляетсявовзаимодействииокружающегогазаснеравномерно нагретымсветомтвердымителами.НооткрытьсветовоедавлениеКрукстоженесмог.*Радиоме трическийэффект*представлялсобойосновнуюпомехуприисследованииисветовогодавления.

ТщательныеопытывыдающегосярусскогофизикаП. Н. Лебедева,вкоторыхбылаизме ренавеличинадавлениясветанатвердыетела,сталанетолькошедевромэкспериментальногоис кусства,ноияркимподтверждениемтеорииМаксвелла.

ПетрНиколаевичЛебедев(1866— 1912)родилсявМосквевкупеческойсемье.Онотвергаеткарьерупредпринимателяиотправляе тсявСтрасбургквыдающемусянемецкомуученому,главифизическойшколыАвгустуКундту. ПословамП. Н. Лебедева—

«художникуипоэтуфизики».Молодойисследовательпоражаетсвоегоучителяалантливостью, смелостьюидей,стремлениемработатьнадтрудныминаучнымипроблемами.Однаизних:оп ределитьдавлениесвета.ОсновныефизическиеидеипоэтойпроблемеП. Н. Лебедевизлагаетв небольшойзаметке«Оботталкивающейсилелучеиспускающихтел»

(1891).Онаначинаетсятакимисловами:

«Максвеллпоказал,чтосветовойилитепловойлуч,падающаянапоглощающеетело,производитнан егомеханическоедавлениевнаправленииипадения»

[22].ИзтеорииМаксвеллавывтекаетвыводотом,чтолучисвета,падаяотвеснонаплоскуюповерх ностьплощадьювдинквадратныйметр,

«должныпроизводитьдавление,котороевслучаечернойповерхностиравняется0,4,авслучаезе ркала— 0,8 мг»

[23].Экспериментальнаяпроверкаэтоготеоретическогоположенияпредставляетсобойоченьс ложную,трудноразрешимуюзадачу.

Во-

первых,величинасветовогодавленияоченьмала:наповерхностьв1 м²солнечныйсветдавитсси лойоколо0,5 мг,анасекомое—

мошкадавитсбольшейсилой,чемсветовойлуч!Поэтомутребовалосьпостроитьчрезвычайнот очныйприбор,провеститонкиеэкспериментыдляобнаружениясветовогодавленияиегоизмер ения.П. Н. Лебедевсоздаетсвоюзнаменитуюустановку—

системулегкихитонкихдисковназакручивающемсяподвесе.Этобыликрутильныевесысневи даннойдосихпорчувствительностьюиоточностью.

Во-

вторых,серьезнойпомехойявлялсярадиометрическийэффект(открытУ. Круксом):припаден иисветанатело(тонкиедискивопытахЛебедева),ононагревается.Причемтемператураосвеще ннойсторонывбудетбольше,чемтемпературатеневой.Аэтоприведетктому,чтомолекулыгазао тосвещеннойстороньдискабудутотбрасыватьсясбольшимискоростями,чемоттеневой.Кром етого,приналичииразноститемпературвозникают(тепловые)конвекционныепотокигаза.Эти факторымогутпревышатьвеличинусветовогодавлениявтысячираз.Обладаяталантомконтр уктора,мастерствомискуснейшегоэкспериментатора,П. Н. Лебедевпреодолеваэтэтитрудно сти.

Десятьлет(1891—

1900)упорногоизобретательноготрудопавпервоклассногоисследователяушлинаборьбусрадиом етрическимэффектомКрукса,которыйфизикисчиталинепреодолимойтрудностью.П. Н. Леб

едевустранилданное явление следующим способом. Над сосудом, в котором создавался вакуум, помещалась капля ртути. При небольшом (незначительном) подогревании ртути испарялась, а ее пары вытесняли из сосуда воздух, который увлекался вакуумным насосом. Затем сосуд охлаждался до температуры, равной 39°C , а ртутные пары оседали на стенках. Таким путем удалось получить достаточно высокий вакуум: $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

Метод получения глубокого вакуума, предложенный Лебедевым, оказался гениальным предвидением новых путей создания наиболее совершенных современных вакуумных насосов техники. Этот метод позволил осуществить опыты по световому давлению, а также провести эксперименты по выявлению важнейших закономерностей в физике [24].

Платиновые диски (крылышки) подвешиваются предельно тонкими, толщиной всего лишь $0,1$ —

$0,01$ мм, что приводит к быстрому выравниванию температуры обеих сторон. Установка (подвес) помещался в стеклянный вакуумный сосуд ($p \approx 1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.).

Луч света от дуговой лампы падал на диск (крылышко) и, закручиваясь, давал возможность измерять механическое действие давления света. Для измерения энергии падающего света использовался термоэлемент. Измерение угла поворота крутильных весов, а также энергии падающего света позволяет проверить выводы теории Максвелла. Опыты П. Н. Лебедева, несмотря на простоту экспериментальных ситуаций, поражают нас своей сложностью и изобретательностью, тонким, виртуозным мастерством.

Первый очень важный экспериментальный результат — измерение светового давления на твердое тело П. Н. Лебедев получает в 1899 г. Своих успешных опытах он докладывает в Париже (1900 г.) на Всемирном конгрессе физиков. В 1901 г. в немецком физическом журнале «Annalen der Physik» опубликована знаменитая работа П. Н. Лебедева «Опытное исследование светового давления», которая сразу же стала классической [25]. Величина светового давления соответствует теории Максвелла.

Полученные результаты можно сформулировать таким образом:

«1. Падающий пучок света производит давление как на поглощающие, так и на отражающие и непрозрачные поверхности.

2. Силы давления света прямо пропорциональны энергии падающего света.

3. Наблюденные силы давления света количественно равны максвелл-бартолиевым силам давления лучистой энергии.

Таким образом, *существование сил давления опытным путем установлено для лучей света»* [26].

Результаты получают высочайшую оценку ученым всего мира и являются блестящим экспериментальным подтверждением теории Максвелла. Эксперименты по световому давлению приносят П. Н. Лебедеву всемирную славу. Известный английский физик В. Томсон (лорд Кельвин), узнав о результатах опытов Лебедева, в беседе с русским ученым К. А. Тимирязевым сказал: «Вы, может быть, знаете, что я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его светового давления. И вот ваш Лебедев заставил меня сдать ся перед его опытами» [27].

Крупный немецкий физик-спектроскопист Фридрих Пашен (1865—1947) писал Лебедеву из Ганновера:

«Я считаю Ваш результат одним из важнейших достижений физики за последние годы и не знаю, чем восхищаться больше —

Вашим экспериментальным искусством или выводами Максвелла и Бартоли (итальянский физик —

авт.). Я оцениваю трудности Ваших опытов тем более, что я сам несколько времени тому назад искал цель доказать световое давление и проделывал подобные же опыты, которые, однако, не дали положительного результата, потому что я не сумел исключить радиометрических действий» [28].

П. Н. Лебедев обращает особое внимание на принципиально различие сил солнечного ветра и сил тяготения. Их можно обнаружить только в лабораторных условиях. «Новое межзвездное пространство силы светового давления, — утверждает исследователь, — действуя на тела малых массами, не только становятся соизмеримыми с силами тяготения этих масс, но могут во много раз превосходить их по величине. Наиболее ярко проявление светового давления мы наблюдаем на образованиях кометных хвостов, и именно объяснение особенностей формы этих хвостов привело к выяснению роли светового давления в космических явлениях» [29].

Доказав существование светового давления на твердое тело и измерив его величину, П. Н. Лебедев решил взяться за гораздо более трудную задачу — измерение давления света на газ. Ему очень хотелось проверить гипотезу И. Кеплера, объяснившего почти 300 лет тому назад (в 1619 г.) появление, развитие и изменение направления кометного хвоста при движении кометы в окрестности Солнца. Согласно Кеплеру, кометный хвост — это мельчайшие частички ее вещества, которые под действием давления света устремляются от Солнца.

Задача эта очень многим (практически всем, кроме Лебедева) казалась совершенно безнадежной. Действительно, согласно расчетам Максвелла, подтвержденным на опыте Лебедевым, давление света на 1 см^2 поверхности тела равно $0,4 \cdot 10^{-7}$

г. Размер частичек космического хвоста может колебаться в диапазоне от 10^{-7}

см для простых двухатомных молекул до 10^{-5} см для более сложных образований, площадь — 10^{-14} — 10^{-10} см^2 , т. е. давление на каждую из них фантастически мало (10^{-21} — 10^{-17} г). Поэтому не удивительно, что многие физики относились к идее измерения этого эффекта весьма скептически. Известные ученые — физико-химик Сванте А. Аррениус (1859 — 1927), будущий лауреат Нобелевской премии по химии (1903), Арнольд И. В. Зоммерфельд (1868 —

1951), который прославился не только своими работами, но и вырастил нескольких Нобелевских лауреатов по физике, Карл Шварцшильд (1873 —

1916) неверили в существование давления света на молекулы газа и отрицали возможность такого рода давления. Они ждали, что за решение этой задачи возьмется именно Лебедев; другого ученого, способного справиться с экспериментом такой трудности, тогда не было.

Что же касается Лебедева, он верил в существование эффекта, и в возможность его измерения, а также в свою способность это сделать. Исследователь четко представлял, что из-за чрезвычайных трудностей будущей работы выполнить ее сможет только человек, накопивший опыт измерения давления света на твердое тело, т. е. по существу фактически он один. И Лебедев взялся за решение этой проблемы.

Итак, П. Н. Лебедев неограничивается исследованием давления света на твердое тело. Он предпринимает сложнейшие и более тонкие экспериментальные исследования светового давления на газы, занявшие 10 лет.

Чтобы решить почти фантастическую задачу — выявить световое давление на газы (которое вдесять раз меньше его давления на твердое тело), необходимо обладать глубоким теоретическим знанием из различных областей физики, химии, техники; быть уверенным в результатах будущих исследований; стремиться понять устройство природы; проникнуть в тайны солнечного излучения и обнаружить его взаимосвязь с другими характеристиками и параметрами мира. Трудно назвать все варианты опытов, которые были выполнены в процессе поиска новой закономерности мира. Достаточно сказать, что для проведения многочисленных измерений было создано более двадцати поршневых приборов. Совершенствование измерительной техники сопровождается повышением их точности и устранением ряда мешающих факторов (например, тепловые, конвекционные потоки).

В связи с чрезвычайной малостью ожидаемого эффекта очень важен был правильный выбор газа. Он должен удовлетворять двум условиям: во-первых, чувствительность южной частотных составляющих светового спектра источника, во-

вторых большой теплопроводностью. Последнее было важно потому, что даже малейший градиент (возрастание, убывание) температуры ($\sim 0,001^\circ\text{C}$ в слое толщиной несколько миллиметров) вызывает конвекционные токи, приводящие к такому же повороту крутильных весов, что и измерение давления света. Подчеркнем, что ни один из испытанных газов не удовлетворял этим двум условиям. И только после многочисленных опытов П. Н. Лебедев установил ся на смеси «чувствительного» газа с водородом, который обладает наивысшей теплопроводностью. В начале 1909 г. опыт был успешно завершен.

Для измерения малых сил давления П. Н. Лебедев проводит эксперименты таким образом, чтобы «газ свободно мог перемещаться в направлении пронизывающих его лучей и производить давление на очень чувствительный поршневой аппарат, на который лучи света непосредственно действовать не могли»

[30]. Далее исследователь отмечает, что легко подвижный поршень прикреплен к коромыслу «чувствительных крутильных весов, которые закручиваются, как только на поверхности поршня устанавливается некоторая разница давлений газа»

[31]. Освещая слой газа со стороны, и одновременно фиксируя отклонение поршня, можно измерить величину давления световых лучей на газ. Для исключения влияния конвекционных потоков газ смешивался с водородом, который обладал значительной теплопроводностью. Это позволяло выравнивать плотность газа в разных точках. Такая трудная экспериментально-

техническая работа считается непревзойденным образцом экспериментальной деятельности.

Многолетние исследования П. Н. Лебедева являются итогом всей его научной деятельности. Полученные результаты (1910 г.) доказывают существование светового давления на газы и дается при этом оригинальным выводом:

«1. Существование давления света на газы установлено опытным путем.

2. Величины этого давления прямо пропорциональны энергии пучка света и коэффициенту поглощения газа.

Таким образом, гипотеза о давлении света на газы, триста лет тому назад высказанная Кеплером, получила в настоящее время как теоретическое, так и экспериментальное обоснование»

[32]. Эта работа представляет собой вершину экспериментального искусства.

Экспериментальное доказательство существования давления света на газы принесло П. Н. Лебедеву новую славу ученого, выполняющего свои исследования на грани, пределов технических возможностей научных приборов измерительной техники, поражающих глубиной и интуицией и гениальностью.

Изумительные эксперименты ученого по световому давлению на газы можно считать его *лебединой песней*. Сообщение о лебедевском решении важной физической проблемы было опубликовано в виде рефератов во всех ведущих изданиях России, Германии, Франции, Великобритании и Америки. П. Н. Лебедев был избран почетным членом Королевского института в Лондоне, что считалось великой честью. Много лет спустя физик А. К. Тимирязев (1880—

1955) высказал мысль, что эта работа Лебедева осталась непревзойденной:

«Давление света на твердые тела измерили многие ученые, повторив опыты Лебедева. Световое же давление на газыещеникемне было повторено. Никто не отважилсяеще пойти по пути Лебедева!».

Научный мир был снова потрясен результатами Лебедева. Многие коллеги прислали Петру Николаевичу свои поздравления. Зарубежом уникальное достижение Лебедева очень высоко оценили такие выдающиеся физики, как В. Вин, Г. Лоренц. Одним из первых откликнулся знаменитый немецкий астроном и физик Карл Шварцшильд:

«Я хорошо помню, скаким сомнением я в 1902 г. отнесся к Вашему намерению измерить давление излучения на газы, и с тем большим восхищением я прочел сейчас, как Вы преодолели все препятствия»

[33]. Немецкий физик Вильгельм Вин (1864—1928) в письме к российскому физiku Владимиру Александровичу Михельсону (1860—1927) писал, что Лебедев «владел искусством экспериментирования в такой мере, как два ликто другой в наше время».

Доказательство реального существования такого свойства света, как давление, имеет философское значение. Из факта существования давления электромагнитных волн следует важный вывод: то, что они обладают импульсом, а значит, и массой. Столкновение квантовой теории, световое давление —

результат передачи импульса фотонов в процессах поглощения или отражения света. Электромагнитное поле обладает импульсом и массой, т. е. оно материально. Физическая реальность существует не только в форме вещества, но и в форме поля.

Световое давление играет важную роль в двух противоположных по масштабам областях явлений —

астрономических и атомных. В астрофизике световое давление наряду с давлением газов обеспечивает стабильность звезд, противодействуя силам гравитационного сжатия. Возможность использовать световое давление в решении целого ряда практических задач появились после создания лазеров —

оптических квантовых генераторов. Американский физик Т. Г. Меймонизобрел первый оптический квантовый генератор —

рубиновый лазер (1960). За фундаментальные исследования в области квантовой радиофизики, позволившие создать генераторы и усилители нового типа —

мазеры и лазеры, советским физикам Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и американскому физiku Ч. Таунсу присуждена Нобелевская премия (1964). Лазерный луч можно фокусировать в пятно размером с микрон, близким к теоретическому пределу, порядка длины волны. Лазеры получили широкое применение в научных исследованиях (физика, химия, биология и др.), в практической медицине (хирургия, офтальмология и др.), а также в технике (лазерная технология). Лазеры позволили осуществить оптическую связь, они перспективны для осуществления управляемого термоядерного синтеза.

П. Н. Лебедев уезжает в Страсбург (Германия, 1887) для получения университетского образования. Здесь его учителем становится немецкий физик-экспериментатор Август Кундт (1839 —

1894). Что представлял собой этот известный ученый, к которому Лебедев относился с уважением и благодарностью?

«Создание Страсбургского института, — пишет П. Н. Лебедев, — служит прототипом для физических институтов всех стран, принадлежит к числу крупнейших научных заслуг Кундта: он впервые в своей полнотевыяснил тена и выгоднейшие условия, при которых надо учиться и работать современному физiku»

[34]. Обладая замечательным «физическим чутьем» — *Physikalische Nase* —

А. Кундт гадал о связи между отдельными явлениями, судивительной легкостью схватывал сущность математической теории, умел находить смелые следствия теории, доступные экспериментальному исследованию. Он отличался изобретательностью в постановке вопросов, трудолюбием, настойчивостью в их решении.

А. Кундт читал курсы лекций по экспериментальной физике одновременно для студентов математического и медицинского факультетов в течение семестра по пять часов в неделю, касаясь самых сложных вопросов, добиваясь гармонии и целостности.

Что еще являлось характерной особенностью курса? Кундт излагал материал творчески и давал критический анализ того, что содержало все же ещепочти мало туманного и фантастического.

«Кундт никогда не учил догматически, он всегда избегал внешней, формальной законченности, вызывая слушателя неверное представление, что физика —

законченная мертвая мозаика: всего изложения физика была живой наукой, в которой рядом с бесспорно установленными фактами были массовые вопросы. Кундт читал физику так, как надо ступнать только ко умственному коглубокого исследователя. На его лекциях слушатели невольно и незаметно проникались духом науки» [35].

Такое преподавание физики представлялось Лебедеву новым и перспективным. Оно сейчас не утратило своей актуальности! Еще одной чертой педагогического мастерства Кундта явля-

ялось его умение учить «физически думать» (*Physikalischedenken*) и помогать обрести «физическое чутье» (*Physikalische Nase*).

Тесное сотрудничество с этой выдающейся личностью сыграло, пожалуй, решающую роль в формировании педагогических взглядов Лебедева, которые пригодились ему впоследствии в Московском университете. В известной мере ему удалось даже превзойти своего учителя по Страсбургскому университету.

П. Н. Лебедев считал, что преподавать должно, что соответствует его непосредственным научным интересам. Выполнение этого требования поможет привить студентам *творческие* навыки и *научный* настрой. В письме российскому физику Николаю Александровичу Умову (1846—

1915) подчеркивается, что чтение *теоретического* курса «откроет мне новые горизонты, заставит много подумать, что побудит меня творчески работать для уяснения самого вопроса; слушатели из *прочувственной* лекции вынесут *научное настроение!* Я глубоко убежден в значении *или эзии эксперимента*» [36] в качестве неотъемлемого элемента лекционного курса для целостного восприятия мира физических явлений и закономерностей.

Личный опыт Лебедева позволил выявить ряд характеристик становления молодых научных кадров. Речь идет об *интересе* ко определенной области *знания*, а также об открытии и широких, совершенных неожиданных *перспективах научных поисков*. Обращается внимание на то, что постоянно пользуясь трудами своих предшественников, ученый все больше убеждается в *преемственности идей*, учится *ценить духовное наследие* предыдущих поколений. У него формируется сознание *нравственной ответственности* перед будущими поколениями: работать так, как трудились его предшественники [37].

Актуальными и современными представляются мысли ученого о самостоятельной работе учащихся над книгой. Чтобы помочь начинающим самостоятельно преодолеть трудности в освоении нового текста, П. Н. Лебедев рекомендовал не забывать эффективное «правило Даламбера», согласно которому нужно «*не останавливаться на непонятном, но смело и уверенно идти дальше: надежда понять kwam вернется, и вы потом гораздо легче освоите непонятное*».

Заметим попутно, что новые информационные технологии в основном помогают учащимся. Но не следует забывать еще одно *правило: пока студент не запишет своей рукой математическое доказательство или уравнение, закон природы—*

это остается в виртуальном мире. Только запись (рукой) позволяет запомнить раз и навсегда. В этом случае «работают» важнейшие элементы памяти— моторная, зрительная, ассоциативная. Надежные результаты можно получить в *единстве классических и современных методов* получения нового знания.

Богатый опыт Кундта в вопросах преподавания физических дисциплин позволил П. Н. Лебедеву выработать, сформулировать важнейшее *правило чтения научной литературы: «Читай только то, что вам кажется интересным. К тексту относитесь критически, но бойтесь думать о прочитанном по-*

своему. Главное состоит в переходе от известного к неизвестному, в отыскании пути, по которому следует идти». Поэтому наличие только одних формальных знаний без критического их осмысления не может служить критерием творческого потенциала исследователя.

«Мой книжный шкаф “знает” несравненно больше меня, — подчеркивал Лебедев, — “знает” обстоятельно и наверняка, но все-таки пренесть нельзя сказать, что он физик, а я — физик» [38].

С. И. Вавилов (1891—1951) справедливо отмечает, что «П. Н. Лебедев стал пионером замечательного для России семидесятилетия — большой коллективной исследовательской лаборатории» [39].

Одним из первых в мире физиков показал, что *коллективная форма работы в науке* является наиболее удачными и эффективными *методами физического исследования*. А решение *комплексных проблем* по одному научному плану будет наиболее целесообразными *перспективным*.

П. Н. Лебедев известен как *создатель первой российской школы физиков*, которая была сформирована им в Московском университете, где он с 1891 г. работал лаборантом физической ла-

боратории, а с 1900 г. — профессором. «Петр Николаевич Лебедев не только прославил русскую науку по самым животрепещущим вопросам современной науки, — подчеркивал его ученик Т. П. Кравец, — но и создал обширную физическую школу, в которой воспитал плеяду талантливых молодежи. Он первый организовал лабораторию, в которой будущий ученый-физик может творчески работать. Воспитание достойной смены, подготовка руководящих кадров русской физики стали осуществляться в широких масштабах без иностранной помощи» [40].

Н. А. Капцов — другой ученик П. Н. Лебедева вспоминает: это «гениальный ученый, в исследованиях которого исключительная глубина мысли сочеталась с необыкновенным искусством эксперимента. П. Н. Лебедев был одновременно организатором широко поставленной коллективной научной работы в области физики. Он принадлежал к тем ученым, которые не только сами двигают науку вперед, но и вовлекают в эту работу молодое поколение. Заветной мечтой Петра Николаевича было передать свое ученикам свой метод, свое умение научно творчески мыслить, воспитать из них ученых, способных удовлетворить практические запросы Родины» [41].

Петр Николаевич требовал, чтобы каждый строго продумывал весь план своей научной работы. Как только в ходе исследования выяснялись новые данные, Петр Николаевич «после короткого раздумья, — пишет Н. А. Капцов, — предлагал новое, непредусмотренное прежним планом, направление работы. Ему тут же приходило в голову множество свежих мыслей. Он увлекался ими, раскрывал перед молодыми исследователями новые широкие горизонты, увлекал его своим энтузиазмом. В эти минуты он, может быть, больше чем в любом другом случае передавал своим ученикам крупную долю своего умения, выражаясь словами Кундта, «физически мыслить», посвящая их тайны своего научного творчества» [42].

Таким образом, в лаборатории П. Н. Лебедева рождалась новая физика. «Посещавшие лабораторию могли здесь видеть научную идею в момент ее возникновения» (В. К. Аркадьев).

Важнейшими сторонами лебедевской школы являются: четкость постановки научных задач, актуальная тематика, обширная программа, высокая требовательность к технике проведения эксперимента, глубокая научная принципиальность, коллективистский дух, истинно научная атмосфера.

В недрах первой научной школы Петр Николаевич вырастил в последние 10 лет своей жизни до 30 физиков, ставших крупными учеными. Среди них П. П. Лазарев, С. И. Вавилов, Н. Н. Андреев, В. К. Аркадьев, Н. А. Капцов, А. Р. Колли, Т. П. Кравец, В. Д. Зернов, А. Б. Млодзеевский и др. Россия помнит великого физика, блестящего экспериментатора-виртуоза. Его имя носят Физический институт Академии (ФИАН имени П. Н. Лебедева) и премия Президиума АН, вручаемая за лучшую работу.

Нобелевский комитет в 1902 г. предложил П. Н. Лебедеву высказать свое мнение о возможных кандидатах на Нобелевскую премию по физике [43]. Надо подчеркнуть, что самого Лебедева дважды выдвигали на Нобелевскую премию [44]. Первый раз его кандидатуру предложили вестный российский физик Орест Данилович Хвольсон в 1905 г. Вторично Лебедева выдвинули на премию в 1912 году. Это сделал Вильгельм Вин, удостоенный Нобелевской премии в 1911 г. Интересно, что В. Вин назвал трех кандидатов (что допускается правилами), причем премию он предлагал разделить между ними поровну. Кроме П. Н. Лебедева были А. Эйнштейн и Г. А. Лоренц.

Российская зарубежная научная общественность проявила заботу о судьбе выдающегося ученого в связи с его вынужденным уходом из Московского университета. Лебедев получил ряд лестных приглашений из разных российских университетов и зарубежных научных учреждений с предложением занять там почетные места. Приглашения поступили от Харьковского, Киевского, Варшавского университетов. Известный ученый Сванте Аррениус (1859—1927), директор отдела физической химии Нобелевского института написал: «Для Нобелевского института было бы без сомнения большой честью, если бы Вы приехали тут

арботать, и, конечно, мы смогли бы *предоставить* Вам всевозможности работать *позадуманн о му плану*. Вы будете иметь *вполне самостоятельное положение, как это подобает Вашей научной квалификации*. Для нас в Швеции было бы *величайшей честью* иметь возможность *спасти Вас для науки*»

[45]. В другом письме С. Аррениуса и имя П. Н. Лебедева подчеркивается, что «Вам *нужна полная свобода* продолжать *без помех* *развивать* Ваши *прекрасные и плодотворные идеи*. Я надеюсь, что эта возможность *представится именно у нас*» [46].

Ювелирные сложности и изяществу эксперименты П. Н. Лебедева по «взвешиванию света» были устремлены одновременно и в далекое прошлое, и в будущее физической науки. Их значение состоит в следующем.

1. Великой заслугой П. Н. Лебедева является экспериментальное доказательство того, что свет может оказывать непосредственное *пондеромоторное* (механическое) воздействие на твердые тела и газы, т. е. приводит их в движение без предварительного образования световой энергии в другую форму, например, тепловую, а уже потом механическую. Доказательство существования этого эффекта стало яркими аргументами в пользу подтверждения справедливости электромагнитной теории Максвелла. Следовательно, потоки излучения обладают энергией, а значит, массой. С другой стороны, нашел подтверждение квантовый вариант природы электромагнитного излучения, поскольку существование светового давления позволяло интерпретировать свет как поток фотонов, обладающих не только энергией, но и импульсом. Этот факт означает, что элементарные частицы света (фотоны) имеют массу.
2. Открытие давления света на твердые тела и газы способствовало более глубокому пониманию природы света. Оказалось, что свет как особый вид материи, обладает таким фундаментальным свойством, как масса. С. И. Вавилов утверждает, что современное открытие Лебедева «*свет* *полным основанием стал для физики одной из форм движения материи, и противопоставление света и материи навсегда исчезло в этом синтезе*».
3. Опыты Лебедева показали материальность света, предвосхитив замечательный вывод специальной теории относительности о взаимосвязи массы и энергии.

Поэтому есть все основания сделать вывод о том, что в процессе формулировки кристаллизации Эйнштейном кардинального уравнения $E = mc^2$ об эквивалентности массы и энергии, выходящего из основных законов природы, находится не только электродинамика Д. К. Максвелла, но и результаты решающих экспериментов П. Н. Лебедева по обнаружению и измерению светового давления.

Из опытов ученого так же следовало, что с излучением связана не только энергия, но и импульс, что само по себе представляло вывод фундаментального значения. Достаточно посмотреть на лебедевскую формулу для светового давления $P = (E/v)(1 + \beta)$, где E — лучистая мощность, падающая на поглощающую поверхность, v — скорость света, β — отражательная способность поверхности (учитывая, что давление света численно равно изменению количества движения mc), чтобы «перебросить» от нее мостик к эйнштейновскому соотношению массы и энергии $E = mc^2$.

Именно эти оригинальные исследования служили ориентиром в процессе открытия А. Эйнштейном закона природы о неразрывной связи энергии и массы. Так как этот вопрос не получил еще адекватной оценки в учебной и научной литературе, остановимся на нем более подробно.

Обратимся к трудам А. Эйнштейна. После выхода свет статьи «К электродинамике движущихся тел» (1905) А. Эйнштейн написал своему другу Конраду Габихту: «Мне пришлось голову еще одно следствие электродинамической работы. Из принципа относительности в сочетании с фундаментальными уравнениями Максвелла следует, что *масса должна быть непосредственной мерой энергии, содержащейся в теле; свет переносит массу*». Эти мысли А. Эйнштейн изложил в работе «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?» (1905). *Статья* *объемом в три печатных страницы* принадлежит к самым коротким в то же время и не сравнимым по важности последствий публикациям в мировой истории естество

нания. Автор приходит к такому заключению:

«Если тело отдает энергию E в виде излучения, то его масса уменьшается на E/c^2 . Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии»

[47]. В этой работе впервые установлена связь между массой и энергией. Позднее ученый формулирует самое парадоксальное утверждение специальной теории относительности:

«Масса и энергия эквивалентны друг другу». На этом основании удалось вывести знаменитое уравнение Эйнштейна, связывающее энергию и массу: $E = mc^2$, где E — энергия тела, m — масса тела, c — скорость света [48]; [49]; [50]; [51].

По утверждению М. Борна, «уравнение Эйнштейна $E = mc^2$ представляет собой, возможно, самый важный результат теории относительности» [52].

Досоздания специальной теории относительности законы сохранения энергии и массы рассматривались как два самостоятельных закона сохранения. Теперь же оба эти закона слились в один. По выражению Эйнштейна, масса должна рассматриваться как «сосредоточение колоссального количества энергии». Все это дает возможность сформулировать *единый закон*, который можно выразить следующим образом: *для замкнутой материальной системы сумма массы и энергии остается неизменной при любых процессах*.

Интересной биографии А. Эйнштейна ее автор — американский математик Б. Хофман при участии Э. Дюкас — секретаря великого исследователя утверждают: «Постарайтесь представить себе всю дерзость этого вывода: ведь теперь каждый клочок земли, каждое перышко, каждая пылинка становятся громадным резервуаром заключенной в них энергии. В то время не было возможности подтвердить это практически. Тем не менее, еще в 1907 г. Эйнштейн отзывается об этом уравнении как о наиболее важном следствии, вытекающем из его теории относительности. Этот факт подтверждает не обычную способность Эйнштейна к научному предвидению. Дело в том, что для количественно и проверки этого уравнения потребовалось двадцать пять лет, а реализация лабораторного эксперимента была сопряжена с немалыми трудностями. Вывод формулы $E = mc^2$ был значительной степенью обусловлен эстетическими соображениями. Применение ее на практике повлекло за собой трагические последствия. Но этого Эйнштейн не мог предвидеть» [53].

Понятия массы и энергии были выработаны физикой независимо одно от другого и относились к различным противоположным сторонам физического мира. Масса выражала инерцию материальных объектов, их устойчивость; энергия означала способность совершения работы, она представляет физическую меру движения.

Понятия массы и энергии фиксируют разные характеристики, свойства, стороны материальных объектов и процессов, а закон эквивалентности массы и энергии устанавливает связь этих характеристик.

«Таким образом, мы достигли огромного единения наших знаний о материальном мире: *материя* является наиболее широким смыслом этого слова (в том числе свет) и имеет два фундаментальных качества: *инерцию, измеряемую ее массой, и способность совершать работу, измеряемую ее энергией*. Эти два качества строго пропорциональны друг другу», —

к такому выводу приходит крупнейший физик XX столетия, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии (1954) Макс Борн (1882—1970)

[54]. Электроны и атомы представляют собой пример гигантских скоплений энергии в очень малых областях пространства.

Закон природы о взаимосвязи массы и энергии, выраженный в уравнении $E = mc^2$, связывает два фундаментальных свойства любых материальных объектов: массу и энергию, а также выявляет их внутреннюю связь, носит универсальный характер. Энергия, как мера движения, изменения, находит выражение в своей противоположности —

массе, как мере инерции, устойчивости. Диалектическое, философское содержание закона пропорциональности состоит в обнаружении внутренней, неразрывной связи двух (ранее казавшихся совершенно независимыми) фундаментальных характеристик материальных объектов, процессов, свойств.

Пословам М. Борна, доказательство знаменитого уравнения $E = mc^2$, выражающего эквивалентность массы и энергии, оказалось «фундаментально важным для ядерной физики, для понимания как структуры вещества, так и происхождения звездной энергии, а также для технического использования ядерной энергии»

[55]. Экспериментально проверить универсальный закон взаимной связи массы и энергии можно только на ядерных процессах или на процессах превращения элементарных частиц. Данный закон получен точно экспериментально и подтвержден в результате измерения энергии ядерных реакций.

Блестящий популяризатор науки Дэвид Боданис создал замечательную книгу « $E = mc^2$. Биография самого знаменитого уравнения в мире»

[56]. Автор увлекательно, ярко и просторно раскрыл тайну Великого Уравнения, которое, связавоедино энергию, массу и скорость света, создало новую Картину Вселенной. «Я написал биографию $E = mc^2$, — говорит он в предисловии. —

Биография, как известно, подразумевает рассказ о детстве, взрослении и зрелых годах героя. То же самое и с уравнением».

Это действительно так. Больше бы таких чудесных и интересных книг. Вместе с тем популяристость изложения сопровождается и достаточной высокой уровнем понимания автором проблемы. Единственное замечание, которое не изменит содержания издания —

это достоверность материалов, точность фактов. Дело в том, что труды П. Н. Лебедева и А. Эйнштейна вышли в свет в престижном немецком журнале «Annalen der Physik». Нисам А. Эйнштейн, ни Д. Боданис по неизвестным нам соображениям не назвали имя Петра Николаевича — первооткрывателя давления света, установившего связь массы и энергии. Устранение такого пробыла означает только одно: «Хорошие книги будут лучше».

Представитель младшего поколения ученых П. Н. Лебедев, Президент Академии наук СССР Сергей Иванович Вавилов обобщил триумфальные результаты своего учителя в ряды сферического познания. По его словам, лейтмотивом научной работы Великого Мастера явилось исследование давления света.

«Эта тема занимала внимание и силы в течение 20 лет, начиная с 1892 г. и до конца жизни, — пишет С. И. Вавилов. —

Давление света доказано им деликатнейшими опытами как для твердых тел, так и для газов и измерено. П. Н. Лебедев предугадывал громадную роль светового давления в жизни Вселенной. Современная астрофизика вполне подтвердила это ожидание; с каждым годом все шире раскрывается первостепенная роль давления света в космических процессах, и его значение становится эквивалентным ньютоновскому тяготению. С другой стороны, доказанный факт светового давления необычайно облегчил конкретизацию той неразрывной связи между массой и энергией, которая по всей широте была выяснена теорией относительности. Элементарное световое давление современной квантовой физики, момент фотона $h\nu/c$, есть обобщение лебедевского опыта. На почве этого обобщения стало возможно понимание особенностей рассеяния лучей Рентгена и лучей гамма. Так называемый эффект Комптона есть, в сущности, осуществление лебедевского опыта в элементарном процессе столкновения фотона и электрона.

Таким образом, работы Лебедева по световому давлению — это не отдельный эпизод, но важнейший экспериментальный узел, определивший развитие теории относительности, теории квантовой современной астрофизики. Не только историк, но и исследователь-физик еще долго будет прибегать к работам П. Н. Лебедева как к живому источнику» [57].

Некоторые замечания о современных представлениях на проблему светового давления. Известно, что в природе существуют четыре взаимодействия: сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное. По своей интенсивности наиболее слабым является гравитационное. Оказывается, что отталкивание Земли световым давлением Солнца в 10^{13} раз слабее их взаимного притяжения. Поэтому нам не страшна угроза оторваться от Солнца и затеряться в бесконечном холодном пространстве Вселенной.

Вместе с тем среди природных явлений помимо интерпретации Кеплера происхождения хвоста кометы можно найти и другие процессы, в которых световое отталкивание превосходит гравитационное притяжение. Из астрофизики известно, например, что горячие звезды под действием светового давления испускают газ огромной скоростью, равной $2 \cdot 10^8$ см/с, и гравитационное притяжение не может помешать его распространению.

Если в лабораторных условиях сфокусировать лазерный луч очень маленькое (сравнимое с длиной волны) пятно, то его пределом окажется сконцентрированной огромная световая энергия. Она будет настолько велика, что под действием развивающегося давления света можно наблюдать явление так называемой оптической левитации. В этой ситуации частички вещества размером 10^{-5} — 10^{-2} см (т. е. гораздо крупнее частичек, которые входят в состав хвоста кометы) движутся, перемещаются в воздухе, несмотря на влияние гравитационного притяжения [58].

В современной физике световое давление стало применяться для решения задач, относящихся к методам ускорения частиц и разделению изотопов. Так, например, в мощных лазерных пучках световое давление могут быть очень большими. Это происходит тогда, когда частота лазерного излучения совпадает с частотой атомного перехода. В данном случае, поглощая квант света, атом всегда получает импульс в направлении пучка. В обзоре А. П. Казанцева [59] ставится вопрос об использовании сил резонансного светового давления в оптике и квантовой электронике.

П. Н. Лебедев видел свое призвание в решении самых трудных в техническом оснащении и сложных в научном отношении проблем физики. К числу таких тем как раз относились происхождение нормального геомагнетизма, или магнетизма вращающихся массивных космических образований типа Земли и Солнца, и проблема происхождения электрических свойств материи. Эти проблемы, по мнению ученого, представляют собой глубокий пласт «огромной сложности мысли». И далее он продолжает развивать перспективу будущих исследований в письме к К. А. Тимирязеву (1911):

«Сейчас, как кажется, ухватило очень важное соотношение: магнитные свойства вращающейся планеты связаны с гравитационными свойствами материи — все сводится к тому, что два равных противоположных электрических заряда равны в своих действиях не абсолютно —

и если в нашу обычную электростатику ввести этот поправочный член, то получается гравитация, и вдобавок магнетизм планет. Но еще Менделеев говорил:

“Оно, конечно, сказать все можно — а ты пойди — демонстрируй!” —

и вот сейчас заняты проектами новых опытов: они оказываются чудовищно трудными и потребуют огромных затрат, так как возможны только с огромными массами, но положительный результат их может оказать очень большое влияние на все учение об электричестве.

Как видите — проекты грандиозные и, если *Erb* [доктор П. Н. Лебедева — авт.] даст мне здоровье — я их осуществлю — тут стоит работать» [60].

В 1908 г. Лебедев выдвинул гипотезу происхождения магнетизма массивных космических образований — допущение о гравитационно-центробежных двигателях, и решил проверить его экспериментально. Однако эффект не был обнаружен. Гипотеза не выдержала опытной проверки. Что же касается будущих предположений для объяснения «магнитных сил очень больших движущихся масс, то для проверки таких гипотез с помощью опытов надо изменить, чтобы получить достаточную чувствительность измерений, гораздо больше, чем при предварительных исследованиях», — к такому выводу приходил ученый [61].

К данному вопросу обращались многие естественные испытатели. Например, А. Паннекук (Голландия), В. Эльзассер (США), Я. И. Френкель (СССР), П. С. Блэккет (Великобритания). Последний установил, в частности, что магнитные моменты Земли и Солнца почти пропорциональны их механическим моментам. Это означает, что в образовании магнетизма участвует основная масса этих вращающихся космических образований (планет). Пока можно лишь утверждать, что

роисхождении магнетизма космических массивных объектов магнетизма элементарных части органически связан с их собственными вращением.

Таким образом, проблема поиска связи между вращением массивных тел и их электромагнитными свойствами остается одной из интереснейших проблем физики. Мы убеждаемся в том, что Лебедев выбирает качество объекта своих исследований наиболее важные, сложные, узловые вопросы науки. Можно смело утверждать, что эксперименты гениального ученого займут выское, достойное место в истории познания удивительного, загадочного явления природы.

Современный физик видит единственный путь познания происхождения электрических свойств материи. Речь идет о тех особенностях движения материи, которые присущи ей на уровне субмикромра. Но они остаются пока загадкой для науки. Именно эти свойства и параметры движения физического мира являются причинами электрических, магнитных и других его характеристик.

14 марта 1912 перестал биться сердце знаменитого ученого. П. Н. Лебедев был настоящим лидером среди физиков, гордостью мировой науки. Великий физиолог Иван Петрович Павлов, лауреат Нобелевской премии (1904) в свое телеграмме писал:

«Все душой разделяю скорбь утраты незаменимого Петра Николаевича Лебедева. Когда же Россия научится беречь своих выдающихся сынов — истинную опору Отечества?!».

Гневными и пророческими словами оканчивается некролог, написанный естествоиспытателем К. А. Тимирязевым:

«Успокоили Лебедева. Успокоят русскую науку. А кто измерит глубину нравственногорастления молодых сил страны, мобилизуемых на борьбу с этой ее главной умственной силой? И это в то время, когда цивилизованные народы уже сознают, что залог успеха в мировом состязании лежит не в золоте только и железе, даже не в одном труде пахаря в поле, рабочего в мастерской, но в идущей от этого трудоплодотворной творческой мысли ученого в лаборатории»

[62]. «Мы, смертные, достигаем бессмертия востающихся послена свещах», — справедливо подчеркивал А. Эйнштейн. Бессмертие Лебедева состоит в вечности жизни его творения, составляющего золотой фонд мировой науки. Не только историк, но и исследователь физике ще долгодобудет обращаться к новаторским, классическим трудам гениального мыслителя, ученого нобелевского масштаба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сульман Р. Завещание Альфреда Нобеля. История Нобелевских премий. — М.: Мир, 1993. — 142 с.
2. Там же. — С. 130.
3. Завещание Альфреда Нобеля // Волянский Ю. Л., Залюбовский И. И., Пугач Б. Я., Стегний Б. Т., Вербицкий П. И., Задорожный Г. В. Нобелевские лауреаты Слобожанщины. — Харьков: Факт, 2005. — С. 17—18.
4. Мечников И. И. Страницы воспоминаний. Сборник автобиографических статей. — Изд-во АН СССР, 1946. — С. 100.
5. Там же. — С. 101—103, 111.
6. Там же. — С. 102.
7. Лебедев П. Н. Оботталкивающей силе лучеиспускающих тел // Лебедев П. Н. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — С. 31.
8. Лебедев П. Н. Давление света // Лебедев П. Н. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — С. 368—388.
9. Лебедев П. Н. Оботталкивающей силе лучеиспускающих тел // Лебедев П. Н. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — С. 35.
10. Там же.
11. Лебедев П. Н. Экспериментальное исследование пондеромоторного действия волн на резонаторы // Лебедев П. Н. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — С. 68—121.
12. Там же. — С. 91.

13. Тамже. —С. 121.
14. *Лебедев П. Н.* О двойном преломлении лучей электрической силы // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 127.
15. Тамже.
16. *Пугач Б. Я.* Теоретическое и эмпирическое в научном творчестве Майкла Фарадея. — Харьков: Харьков. гос. Университет, 1991. — 100 с.
17. *Пугач Б. Я.* История науки и техники: проблемы закономерности развития // *Пугач Б. Я.* Фундаментальные проблемы истории и философии науки. — Харьков: Факт, 2004. — С. 34.
18. *Тимирязев К. А.* Сочинения. — М.: Сельхозгиз, 1939. — Т. 9. —С. 60.
19. *Дерягин Б. В.* Электромагнитная природа молекулярных сил // *Природа.* — 1962. — № 4. —С. 17.; *Успехи физических наук.* — 1967. —Т. 91. —Вып. 2. —С. 34.
20. *Лебедев П. Н.* Давление света // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 382—383.
21. *Максвелл Д. К.* Трактат об электричестве и магнетизме. — М.: Наука, 1989. —Т. 2. — С. 342.
22. *Лебедев П. Н.* Об отталкивающей силе лучей испускающих тел // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 31.
23. *Лебедев П. Н.* Опытное исследование светового давления // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 188.
24. *Пугач Б. Я.* Фундаментальные проблемы истории и философии науки. — Харьков: Факт, 2004. —С. 277—307.
25. *Лебедев П. Н.* Опытное исследование светового давления // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 187—210.
26. Тамже. —С. 210.
27. *Лазарев П. П.* Очерки истории русской науки. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. — С. 144.
28. Ф. Пашен—П. Н. Лебедеву // *Научное наследство.* — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — Т. 1. —С. 569.
29. *Лебедев П. Н.* Давление света // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 381—382.
30. *Лебедев П. Н.* Опытное исследование давления света на газы // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 301.
31. Тамже. —С. 302.
32. Тамже. —С. 321.
33. Шварцшильд К. — Лебедеву П. Н. // *Научная переписка П. Н. Лебедева.* — М.: Наука, 1990. —С. 339.
34. *Лебедев П. Н.* Август Кундт // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 53.
35. Тамже. —С. 59.
36. П. Н. Лебедев—Н. А. Умову // *Научная переписка П. Н. Лебедева.* — М.: Наука, 1990. —С. 135.
37. *Лебедев П. Н.* Русское общество и русские национальные лаборатории // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 345—346.
38. *Научное наследство.* — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. —С. 610.
39. *Вавилов С. И.* Петр Николаевич Лебедев // *Вавилов С. И.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. —Т. 3. —С. 767.
40. *Кравец Т. П.* Петр Николаевич Лебедев // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 391.
41. *Капцов Н. А.* Роль Петра Николаевича Лебедева в создании научно-исследовательских кадров // *Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. —С. 406.

42. Там же. — С. 409.
43. П. Н. Лебедев—Нобелевскому комитету//Научная переписка П. Н. Лебедева. — М.: Наука, 1990. — С. 223.
44. Crawford E., Heilbron J. L. Ullrich. The Nobel population. 1901—1937. Berkeley: Office for history of sci. and technology University California, 1987. — P. 31–32, 52–53.
45. С. Аррениус—П. Н. Лебедеву//Научная переписка П. Н. Лебедева. — М.: Наука, 1990. — С. 364.
46. Там же. — С. 376.
47. Эйнштейн А. Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии//Эйнштейн А. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. — Т. 1. — С. 38.
48. Эйнштейн А. Закон сохранения движения центра тяжести и инерция энергии//Эйнштейн А. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. — Т. 1. — С. 39–44.
49. Эйнштейн А. Принцип относительности и его следствия в современной физике//Эйнштейн А. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. — Т. 1. — С. 161–164.
50. Эйнштейн А. Элементарный вывод эквивалентности массы и энергии//Эйнштейн А. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1966. — Т. 2. — С. 650–652.
51. Эйнштейн А. $E = mc^2$: Настоятельная проблема нашего времени//Эйнштейн А. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1966. — Т. 2. — С. 653–656.
52. Борн М. Эйнштейновская теория относительности. — М.: Мир, 1972. — С. 276.
53. Хофман Б., при участии Э. Дюкас, Альберт Эйнштейн. Творец и бунтарь. — М.: Прогресс, 1983. — С. 70.
54. Борн М. Эйнштейновская теория относительности. — М.: Мир, 1972. — С. 278–279.
55. Борн М. Физика и относительность//Борн М. Физика в жизни моего поколения. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. — С. 324.
56. Боданис Д. $E = mc^2$. Биография самого знаменитого уравнения в мире. — М.: Колибри, 2009. — 448 с.
57. Вавилов С. И. Памяти П. Н. Лебедева//Вавилов С. И. Собрание сочинений. Работы по философии и истории естествознания. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — Т. 3. — С. 166–167.
58. Эшкин Артур. Давление лазерного излучения//Успехи физических наук. — 1973. — Т. 110. — Вып. 1. — С. 101–114.
59. Казанцев А. П. Резонансное световое давление//Успехи физических наук, 1978. — Т. 124. — Вып. 1. — С. 113–145.
60. П. Н. Лебедев—К. А. Тимирязеву//Научная переписка П. Н. Лебедева. — М.: Наука, 1990. — С. 372.
61. Лебедев П. Н. Магнитометрическое исследование вращающихся тел//Лебедев П. Н. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — С. 334.
62. Научное наследство. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — Т. 1. — С. 619.