

И.К. Кикоин

Журнал Квант №9

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 50
ББК 22
К38

К38 **Кикоин И.К.**
Журнал Квант №9 / И.К. Кикоин – М.: Книга по Требованию, 2015. – 84 с.

ISBN 978-5-458-31353-7

ISBN 978-5-458-31353-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2015

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2015

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

один из лучших учеников. Другим таким учеником, разделявшим с Александром пальму первенства, был его многолетний друг Яков Тамаркин. Классом старше занимался во 2-й гимназии еще один юноша, имя которого известно, вероятно, читателям «Кванта», — это был в будущем знаменитый математик академик Владимир Иванович Смирнов, товарищ Фридмана по аспирантуре, соавтор его работ, автор пятитомного курса высшей математики. В одном классе со Смирновым учился еще один необычайно одаренный юноша — Михаил Петелин, также товарищ и соавтор Фридмана. Редкое соцветие талантов, не в последнюю очередь, думается, проявившееся благодаря педагогическим способностям учителей — математиков Я. В. Иодынского и П. Н. Гензеля и физика И. В. Глинка.

В 1903 году (Фридман был тогда в шестом классе) И. В. Глинка организовал в физическом кабинете гимназии внеклассные занятия по физике, а вскоре после этого — физический кружок, собиравшийся три раза в неделю. Наиболее инициативные его участники руководили практически занятиями своих товарищей. Затем кружок стал несколько торжественно называться «Обществом любителей физики 2-й Санкт-Петербургской гимназии». Гимназисты читали на его заседаниях реферативные доклады, организовали свою кружковую физическую библиотечку, начали издавать рукописный журнал, в котором помещались сделанные учениками обзоры по новейшим достижениям физики.

Фридман был, очевидно, очень привязан к гимназическому физическому кружку и, по воспоминаниям одного из своих товарищей по университету, бывал на его заседаниях, уже став студентом.

Тщетно пытался я найти Александра Фридмана в числе озорников, описанием подвигов которых заполнены ежедневные записки в кондуите 2-й гимназии. Видимо, был он поначалу довольно тихого нрава, потом вместе с Тамаркиным серьезно увлек-



Александр Александрович Фридман. (Фото начала 10-х годов.)

ся математикой, а еще позднее, уже в самых последних классах — революционным движением. Здесь он проявил себя опытным конспиратором: гимназическое начальство и не подозревало, что один из учащихся — член Центрального комитета Петербургской социал-демократической ученической организации. Была у Фридмана и «партийная» кличка — «Лилловый».

Однажды Фридман и Тамаркин, в то время ученики восьмого класса, на уроке были необычайно возбуждены, разговаривали. Их даже выставили из класса. Однако, когда учитель узнал причину такого возбуждения, он не дал «делу» ход. Оказалось, что именно в то утро друзья узнали, что их первый математический труд — статья по теории чисел — принят к печати известным немецким математическим журналом и получил одобрение крупнейшего математика — Д. Гильберта.

Гимназию Фридман окончил с золотой медалью.

В материалах фонда гимназии сохранились задачи, которые были предложены гимназистам на выпускных экзаменах. Приведем две

такие задачи (из числа четырех, занесенных в протоколы экзаменационной комиссии), чтобы у современных школьников-старшеклассников создавалось представление о степени трудности соответствующей экзаменационной процедуры в мае 1906 года.

Алгебра письменная. Решить в целых и положительных числах неопределенное уравнение $ax + by = c$, в котором a равно корню уравнения

$$\frac{x-1}{1+\sqrt{x}} = 4 - \frac{1-\sqrt{x}}{2},$$

уменьшенному на 5 единиц, b равно пятому члену геометрической прогрессии, в которой все члены положительны, второй больше первого на $1\frac{1}{9}$, а разность между четвертым и первым есть $14\frac{4}{9}$, и, наконец, c равно коэффициенту того члена разложения

$$\left(z\sqrt[3]{z^3 + \sqrt{\frac{1}{z}}} \right)^m$$

который после упрощения содержит пятую степень буквы z и где m равно корню уравнения

$$\frac{\lg x}{2 - \lg 5} = 1.$$

Геометрия письменная. В полукруге радиусом R проведена хорда CD , параллельная диаметру AB и стягивающая дугу α ; из точки D опущен перпендикуляр DE на AB , и точка E соединена с C . Фигура, ограниченная прямыми DE , EC и дугой DC , вращается около диаметра. Определить объем тела вращения, если известно, что $R = 23,476$ м, а дуга α определяется уравнением $5 \cos 2\alpha + 13 = 24 \cos \alpha$.

В 1906 году Фридман и Тамаркин — их имена во все годы учения идут рядом, как, скажем, имена Ильфа и Петрова, — поступают на математическое отделение физико-математического факультета Петербургского университета. И тут и им, и их товарищам очень повезло: как раз в этом году в Петербургский университет перевелся из Харьковского университета замечательный математик Владимир Андреевич Стеклов. Вот что Стеклов писал позднее, в 1911 году (этот отзыв хранится в том же архиве, что и материалы гимназии, но в фонде Университета): «Замечу, что выпуск 1910 г. (год окончания Фридманом и Тамаркиным университета, — В. Ф.) составляет какой-то исключительный случай. Из выпуска 1911 г. и среди студентов 4-го курса предстоящего выпуска нет ни одного, равного по способностям к гг. Тамаркиным, Фридманом, Булыгиным, Пете-

линым, Смирновым, Шохатом и др. Не было ни одного такого случая и за мою 15-летнюю преподавательскую деятельность в Харьковском университете. Этим благоприятным случаем необходимо воспользоваться для пользы Университета».

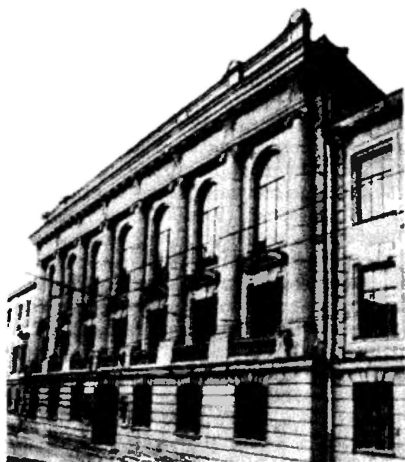
Еще будучи студентами-второкурсниками, Тамаркин и Фридман написали совместно сочинение на соискание золотой медали на тему «Разложение уравнений второй степени в целых числах». Стеклов писал в отзыве на эту работу, что она «обнаружила в авторах редкую для их возраста начитанность, знакомство с предметом и способность к систематическим исследованиям». Сочинение было удостоено золотой медали. Неудивительно, что после успешного окончания курса наук и получения диплома 1-й степени Фридман и Тамаркин были оставлены в университете для подготовки к профессорской деятельности (аналог современной аспирантуры). К этому времени относится организация Фридманом и его товарищами «Математического кружка», который в течение четырех лет — с 1910 по 1914 годы — регулярно собирался для изучения и обсуждения различных математических проблем, штудирования книг классиков, для бесед о самих основах любимой науки. Фридман был одним из активнейших членов кружка.

С 1907 года он посещал также заседания кружка новой физики, руководителем которого был проживавший тогда в Петербурге венский физик П. С. Эренфест. Там разбирались новые работы по теории квантов и теории относительности. Фридман уже знал имя Эйнштейна, но вряд ли он подозревал в то время, что его научный путь пересечется с эйнштейновским и что произойдет это сравнительно скоро — в 1922 году.

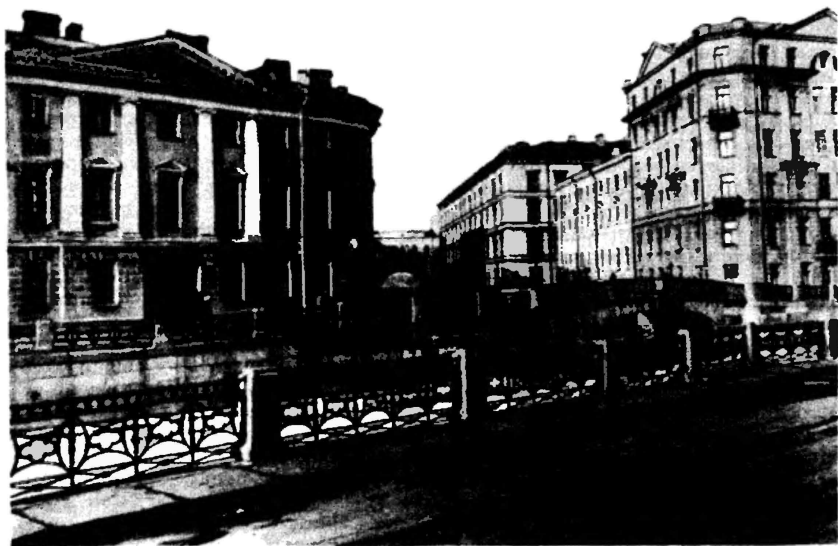
В преддверии первой мировой войны с А. А. Фридманом произошла некоторая метаморфоза: молодой ученый кабинетного типа, увлекавшийся проблемами теории чисел, математического анализа, основами геометрии и теоретической механикой, под влиянием крупного русского ученого ака-

демика Б. Б. Голицына (и с одобрения В. А. Стеклова) увлекся вопросами аэро- и гидродинамики и метеорологии. В 1913 году он начал работать (наряду с преподаванием математики в Горном институте и Институте инженеров путей сообщения) в Главной физической обсерватории. В Павловске, под Петербургом, находился филиал этой обсерватории, и Фридман занимался там изучением поведения воздушных потоков, организовывал подъемы на воздушных змеях приборов, измерявших силу и направление ветров на различных высотах, сам с этой же целью совершал полеты на дирижабле. Пятый — воздушный — океан стал на всю жизнь подлинной страстью Александра Александровича!

Когда началась мировая война, Фридман уже в августе 1914 года поступил добровольцем в действующую армию. Ему было поручено налаживание аэронавигационной служ-



Дом на улице Плеханова (бывшей Казанской), в котором находилась 2-я Петербургская гимназия. Сейчас в этом здании — школа № 232.



В этом доме на Набережной Мойки жила семья А. А. Фридмана. Дом сохранился и ныне находится под охраной государства как памятник архитектуры XIX века.

бы, включавшей в себя и составление инструкций для полетов, и метеорологические прогнозы, и разработку приборов, обеспечивающих безопасность полета. За участие в разведывательных полетах русской авиации на Северном фронте и проявленную при этом храбрость Фридман уже в первые месяцы войны получил Георгиевский крест (к которому позднее присоединился и второй такой крест, и Георгиевское оружие — награда за особое мужество). На фронте Фридман не только продолжает совершать боевые вылеты, но и занимается составлением таблиц прицельного бомбометания — ведь поначалу, когда авиация из разведывательной стала превращаться в бомбардировочную (максимальный вес авиабомбы составлял в то время около 16 кг), было совсем неясно, в какой момент надо сбрасывать бомбу, чтобы она попала в цель.

В сентябре 1925 года приехавший в Ленинград немецкий профессор метеоролог Г. Фиккер рассказал академику В. А. Стеклову, что в минувшую войну он находился в осажденном русскими войсками городе-крепости Перемышле. И вот единственное точное попадание русской бомбы, которое ему довелось наблюдать, произошло с аэроплана, на котором летел Фридман. Это свидетельство неизменно упоминается в немногих публикациях об Александре Александровиче. Неясно, каким же образом Фиккер, находясь в 1915 году в Перемышле, об этом узнал. Ситуация прояснилась, когда мне удалось найти в сентябрьском номере одной из ленинградских газет (за 1925 г.) запись беседы Фиккера с корреспондентом этой газеты. Немецкий ученый рассказал, что впервые встретился с Фридманом летом 1923 года в Германии. В разговоре коллег очень быстро выяснилось, что оба они — по разные стороны от линии фронта — служили во время войны в военной авиации. Фридман помнил точную дату своего наиболее удачного полета над Перемышлем, а Фиккер запомнил день, когда буквально на его глазах там разорвалась бомба, сброшенная с русского

военного аэроплана. Даты совпадали! В своем интервью Фиккер сказал: «Так выяснилось точное время и место столь... неприветливого нашего знакомства на поле брани». Знакомства, сменившегося в 23—25 годах тесным сотрудничеством.

В 1917 году Фридман возглавляет в Москве завод «Авиапром», выпускающий авиационные приборы, продолжает составлять таблицы бомбометания. Через год он переезжает в Пермь и становится профессором организованного там Университета, одним из активных создателей его физико-математического общества, научного журнала при этом обществе; выполняет ряд работ по гидродинамике и теоретической механике. В 1920 году он возвращается в Петроград. В городе — страшная нехватка квалифицированных педагогических кадров, и Фридман сразу же оказывается профессором четырех (!) вузов города: Университета, Политехнического института, Института инженеров путей сообщения и Военно-морской академии.

К этому времени он знакомится с последними работами Эйнштейна по приложению уравнений общей теории относительности к Миру в целом. Из уравнений Эйнштейна следовало, что Мир (Вселенная) в целом нестационарен. Это заключение противоречило философским установкам великого физика, полагавшего, что наша Вселенная вечна и не меняется со временем. Поэтому Эйнштейн ввел в соответствующее уравнение дополнительный член (так называемый λ -член), который приводил к стационарному решению. Теперь получался желаемый результат: Мир существовал всегда и будет существовать вечно, проблема «начала» и «конца», прочно ассоциировавшаяся с религиозными учениями и древними легендами, таким образом, не возникла.

Фридман подошел к этой проблеме не предвзято и показал, что уравнения Эйнштейна (взятые без λ -члена) допускают решение, в соответствии с которым расстояние между различными объектами Мира (например, галактиками) меняется во времени,

причем оно может как возрастать, так и уменьшаться. Наша Вселенная может долгое время расширяться (название «расширяющаяся Вселенная» однозначно связывается с именем Фридмана и соответствует ныне переживаемой ею фазе). А будет ли это расширение безграничным или же сменится сжатием, зависит от того, какова средняя плотность ρ материи во Вселенной. Если ρ меньше некоторого критического значения $\rho_k \approx 10^{-29}$ г/см³, то расширение будет продолжаться. Если же $\rho > \rho_k$, то оно сменится сжатием; Вселенная сожмется в «точку», которую называют точкой сингулярности. После этого произойдет «Большой взрыв» — и снова вещество, сконцентрировавшееся до умопомрачительных плотностей, начнет обратное движение к расширению. «Сценарий» того, что произошло после Большого взрыва, уже сейчас во многих деталях сумели воссоздать физики-теоретики и астрофизики. Он блестяще изложен в книге американского физика, лауреата Нобелевской премии Стивена Вайнберга «Первые три минуты». Интересно отметить, что само представление о рождении (или, лучше сказать, возрождении) Вселенной в Большом взрыве впервые было сформулировано американским физиком русского происхождения Г. А. Гамовым, который в 20-е годы учился у Фридмана в Петроградском университете и считал себя его учеником.

Александр Александрович Фридман был первым, кто получил формулы для определения возраста нашей Вселенной и, исходя из очень неточных данных, оценил его в 10 миллиардов лет. По нынешним оценкам он составляет 15—20 миллиардов лет. Космологическая работа Фридмана, вышедшая в свет в 1922 году в ведущем немецком физическом журнале, вызвала возражения Эйнштейна, который, как указывалось, полагал Вселенную стационарной и потому счел ошибочными выводы Фридмана о возможности ее эволюции во времени. Об этом Эйнштейн и написал краткую заметку в тот же журнал. Фридман в конце 1922 года

написал Эйнштейну письмо, в котором отстаивал свои взгляды. Содержание письма довел до сведения Эйнштейна петроградский коллега Фридмана — профессор Юрий Александрович Крутков, оказавшийся весной 1923 года за границей. В мае этого года он несколько раз встречался с Эйнштейном, и 18 мая сделал такую полусутолившую запись в своем дневнике: «Победил Эйнштейна в споре о Фридмане. Честь Петрограда спасена!». Эйнштейн направил (все в тот же журнал) еще одну заметку, в которой снимал свои прежние возражения против выводов Фридмана и признавал его результаты выдающимися и проливающими новый свет на проблемы космологии. Великому ученому и раньше приходилось делать ошибки, но позднее, в 1931 году, он признался, что более досадной ошибки, чем в случае оценки работы Фридмана, он в своей жизни не совершал.

Фридман не дожил до триумфа своей теории, в которой он «на кончике пера» открыл расширяющуюся Вселенную и, в общих чертах, предсказал возможные пути ее эволюции. Как упоминалось в начале статьи, доказательства пришли позднее. Через четыре года после кончины Александра Александровича американский астроном Э. Хаббл на основе изучения спектров далеких галактик показал, что галактики удаляются от нас со скоростью v , пропорциональной отдалению их от нас расстоянию r : $\vec{v} = H\vec{r}$. Коэффициент пропорциональности H , не зависящий от $\vec{r}$ (и зависящий, вообще говоря, от времени), получил название постоянной Хаббла. По современным данным H принимают равной 75 км/с Мпс). Заметим, что постоянная Хаббла вместе с постоянной всемирного тяготения G определяет величину критической плотности ρ_k : $\rho_k = 3H^2/8\pi G \approx 10^{-29}$ г/см³.

В 1965 году Р. Вильсон и А. Пензиас в США обнаружили реликтовое излучение — зримый след Большого взрыва. Работа Фридмана получила новое и мощное подтверждение.

Мы не будем здесь воспроизводить формулы и рассуждения, которые привели Фридмана к его выводам. Укажем, однако, что в 1934 году оказалось возможным целый ряд важнейших заключений сделать не на сложном языке общей теории относительности, который использовал в своих работах Александр Александрович, а на более простом и привычном ньютоновском языке. Очень ярко об этом рассказал на страницах «Кванта» (№ 3, 1984) замечательный советский физик-теоретик Я. Б. Зельдович, необычайно много сделавший и для глубокого развития идей Фридмана, и для их пропаганды.

В первой половине 20-х годов Фридман продолжал работать одновременно и в области физики атмосферы, и в области теории относительности. В июле 1925 года, будучи директором Главной геофизической обсерватории, он совершил вместе с профессиональным летчиком-авиатором П. Ф. Федосеенко героический полет в атмосферу на воздушном шаре; был установлен всесоюзный рекорд высоты (7400 м). Фридман записал свои впечатления о полете. То же сделал и Федосеенко. Замечательные статьи! Из них — особенно, конечно, из статьи Федосеенко — мы узнаем, что мужественный летчик-наблюдатель времен Первой мировой войны, Александр Фридман остался таким же храбрым человеком, став всемирно известным ученым.

Летом 1925 года он впервые за много лет поехал на три недели отдохнуть в Крым. Возвращаясь домой — в Ленинград он приехал 17 августа, — Александр Александрович заболел брюшным тифом и от этой нелепой случайности погиб в 37-летнем возрасте 16 сентября, в расцвете творческих сил и таланта. Газеты откликнулись на это печальное событие рядом публикаций. В частности, «Вечерняя Красная Газета» — предшественница «Вечернего Ленинграда» — 18 сентября напечатала интервью с врачом, лечившим Фридмана. Последний день своей жизни Александр Александрович был в бреду, и бред

его, как сказал врач, был очень характерен: «Он говорил о студентах, лекциях, вспоминал о полетах, старался делать какие-то вычисления. Порой казалось, что он читает лекцию». Вот когда ходяч я фразой о том, что ученый до последних мгновений жизни думает о своей науке, перестает быть метафорической, а превращается в констатацию истинного положения вещей!

Имя Александра Александровича Фридмана золотыми буквами вписано в историю мировой науки. Его талант и заслуги были признаны при жизни. В 1931 году его работы были удостоены Премии имени В. И. Ленина. Его известность и слава сейчас, с развитием астрофизики, с дальнейшим проникновением в тайны Вселенной, все более и более возрастают.

Рекомендуемая литература

- Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы математической физики. М.: «Наука», 1973. (§ 16 гл. II: «Расширяющаяся Вселенная», с. 118—126).
- Новиков И. Д. Эволюция Вселенной. М.: «Наука», 1979.
- Зельдович Я. Б. Вселенная. «Квант» № 3, 1984.
- Вайнберг С. Первые три минуты. М.: «Наука», 1981.
- Зельдович Я. Б. Почему расширяется Вселенная? «Природа» № 2, 1984.
- Новиков И. Д. Как взорвалась Вселенная. «Природа» № 1, 1988.
- Новиков И. Д. Вселенная как тепловая машина. «Квант» № 4, 1988.

Александр Аркадьевич Борин — известный специалист в области аэродинамики. В течение многих лет он работал в Центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ) и в опытных конструкторских бюро ведущим конструктором по особо сложным объектам авиационной техники. Эту статью А. А. Борин написал по просьбе редакции «Кванта». Так случилось, что она ста-

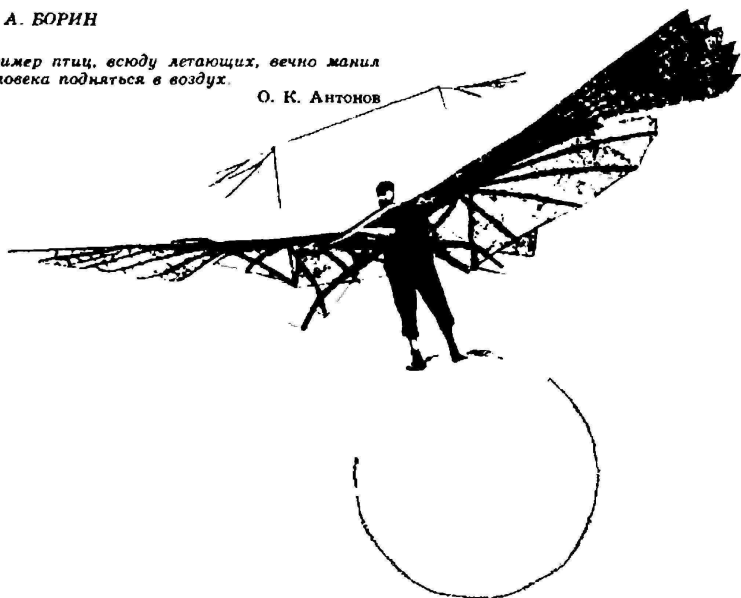
ла его последней работой — в июле 1987 года Александра Аркадьевича не стало. Мы решили опубликовать статью в том виде, в каком она была подготовлена автором. Понимая, что не все в ней доступно нашей читателю, мы попросили члена редколлегии «Кванта» профессора А. Л. Стасенко дать необходимые пояснения по тексту. Они приведены как примечания в конце статьи.

ПОЛЕТ ПТИЦЫ И ПОЛЕТ ЧЕЛОВЕКА

А. А. БОРИН

Пример птиц, всюду летающих, вечно манил человека подняться в воздух.

О. К. АНТОНОВ



Спор, длящийся столетия

Мечта о полете — о машущем полете — стара если не как мир, то, во всяком случае, как история развитого человеческого сознания. Древние, имея перед глазами пример птиц, не могли представить себе иной способ полета. Такова и легенда об Икаре.

Такова и первая сохранившаяся в истории попытка осмыслить полет с точки зрения тогдашних научных знаний. Это сделал Леонардо да Винчи. Понадобились еще сотни лет наблюдений и опытов, чтобы прийти

к той очевидной для нас мысли, что летать можно и на неподвижном крыле. Теперь же мы прошли по этому пути так далеко, что оставили позади пернатых летунов почти по всем показателям, хотя ни один летательный аппарат не «владеет своим телом» столь совершенно, как птица.

Однако еще на рубеже нашего столетия представления ученых и техников были наивны и далеки от действительности. «Мы встречаем опять беспочвенные попытки летать на аппаратах, наивно имитирующих птиц,

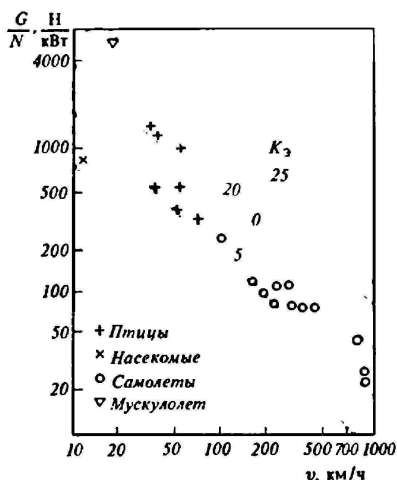


Рис. 1. Зависимость нагрузки на мощность от скорости крейсерского полета.

или новые исследования... частично повторяющие исследования Леонардо...» Так писал об этом времени замечательный советский ученый в области ракетно-космической техники М. К. Тихонравов в своей книге «Полет птиц и машины с машущими крыльями». Более того, точно такие же попытки повторяются в 30-х годах нашего столетия и, по крайней мере в проектах, неистребимо живут до наших дней. Легенда о машущем полете человека жива со времен древних греков, изменилось лишь ее содержание. В завораживающем своей легкостью парении птицы древние мифотворцы видели надежду на осуществление полета, нынешние же — они искусенной, ибо человек полетел, — ищут не достигнутое нами совершенство, свято веря, что творения природы всегда и во всем выше робких созданий разума.

Вопреки бесчисленным неудачам, машущий полет и сегодня привлекает громадное число энтузиастов. Его кажущаяся легкость побуждает любителей строить модели и подавать хитроумные проекты в счастливой уверенности, что именно им известен секрет, который позволит наконец человеку совершить машущий полет.

Но потом наступает разочарование: шагнуть дальше летающих моделей — а их за последнюю сотню лет построено без числа — не удалось пока никому. Случайно ли это? Или постоянные неудачи имеют более глубокие корни? Может ли человек летать в точном смысле «как птица»? И — главный вопрос: будет ли этот способ полета лучше обычного? или хуже?

Крейсерский полет

Крейсерским будем называть горизонтальный полет на режиме, обеспечивающем наибольшую дальность. Достигновения миниатюрных существ — птиц — в этой области поражают воображение. Достоверно известно, что в 20-х годах стая чибисов пересекла Атлантику, покрыв 4000 км за 24 часа (средняя скорость 167 км/ч). Стая золотистых ржанок совершила перелет через Тихий океан на 10 000 км со средней скоростью более 100 км/ч.

Не менее впечатляет тот факт, что по нагрузке на единицу мощности (см. примечание¹⁾) птицы многократно превышают самолеты. Ведь очевидно, что аппарат, способный переносить по 1000Н на каждый киловатт мощности, несравненно выгоднее другого, переносящего (при прочих равных условиях) только по 100Н. Следовательно, заявляют адепты машущего полета, по энергетике птица во много раз совершенней самолета.

Но, не забудем, — «при прочих равных условиях!» В чем заключается их равенство?

Как и всякий энергетический процесс, полет птицы (или самолета) подчиняется закону сохранения энергии, который для любого объекта, движущегося с постоянной скоростью v в сопротивляющейся среде, может быть представлен в виде $N\eta_{дв} = F_c v$, где N — потребляемая при движении мощность, $\eta_{дв}$ — КПД движителя, F_c — сила сопротивления среды (на данной скорости). Вводя величину качества²⁾ $K = G/F_c$ и выражая скорость в единицах км/ч, получаем величину

нагрузки на единицу мощности:

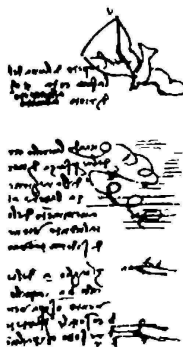
$$\frac{G}{N} = 3600 \frac{K\eta_{де}}{v}.$$

Размерность этой величины — Н/кВт.

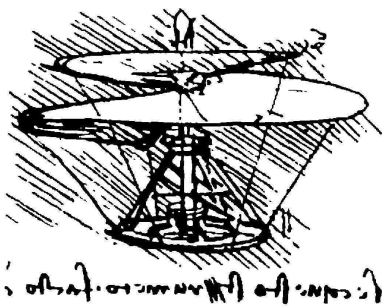
Эта зависимость универсальна: она справедлива для любых движущихся объектов (птица, самолет, поезд, корабль, жидкость, перекачиваемая по трубам) вне зависимости от происхождения силы, приводящей их в движение (мускулатура, тепловой или электрический двигатель, ветер), и от устройства движителя (колесо, винт, машущее крыло, насос). Чтобы решить задачу до конца в каждом конкретном случае, достаточно найти величину «эквивалентного качества» $K_s = K\eta_{де}$, поскольку кроме K_s нагрузка на мощность G/N зависит только от скорости v . Таким образом, критерием энергетического совершенства, оценивающим рациональность выбора технического решения или природного устройства объекта, является не нагрузка на мощность, коренным образом зависящая от скорости (не соблюдается «равенство прочих условий»!), а безразмерная величина K_s .

Теперь становится ясной причина больших значений G/N у птиц и насекомых. Ее отчетливо иллюстрирует график на рисунке 1. Даже при низком уровне энергетического совершенства (у саранчи, например, $K_s = 2,8$, тогда как у хороших самолетов $K_s = 13$ и больше) удельные нагрузки у них выше просто потому, что мала скорость полета. В этом смысле особо показательна точка графика, соответствующая знаменитому мускулолету «Госсамер — Кондор», перелетевшему Ла-Манш. Этот аппарат, построенный по самолетной схеме — неподвижное крыло и винтовой движитель, благодаря очень малой скорости полета ($v = 17,8$ км/ч) имеет недостижимую ни для каких птиц нагрузку на мощность 4400 Н/кВт.

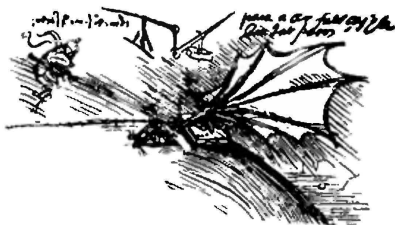
Физический смысл изложенного крайне прост: при затрате определенной мощности переносимый груз тем больше, чем меньше скорость. В этом и заключается «тайна» больших нагрузок на мощность у летающих животных.



Эскиз и описание маневра птицы в воздухе (из работ Леонардо да Винчи).



«...когда этот прибор, сделанный винтом... быстро приводится во вращение —...винт ввинчивается в воздух и поднимается вверх» — таким текстом сопровождал Леонардо да Винчи этот свой эскиз летательного аппарата.



Леонардо да Винчи. Модель летательной машины.

Итак, критерий энергетического совершенства — K_s . Вполне естественно, что величина K_s кардинально влияет на дальность горизонтального полета L . Согласно формуле Бреге,

$$L = - \frac{K_s}{C_y} \frac{\lg(1 - \bar{m}_{\text{гор}})}{\lg e},$$

где C_y — удельный расход горючего, $\bar{m}_{\text{гор}} = m_{\text{гор}}/m_0$ — относительная масса горючего, m_0 — стартовая масса объекта³⁾.

Из формулы видно, что абсолютные размеры и масса не оказывают влияния на дальность полета. Таким образом, сопоставление миниатюрных размеров птиц с покрываемыми ими расстояниями относится скорее к области эмоций, нежели к научной аргументации. При оценке же реально действующих факторов сравнение и здесь не обнаруживает какого-либо преимущества птиц.

Данные о перелетах — бесценный материал для исследователя. Достаточно хорошо измерить пройденное расстояние и относительную потерю массы (а это не представляет затруднений), чтобы получить надежную оценку энергетического совершенства объекта.

К сожалению, этих данных о птицах обычно и недостает. В сведениях об упомянутом перелете ржанок не указаны ни вес птиц, ни скорость ветра; более того, нет никаких указаний на то, что птицы не кормились в пути. Перелет чибисов через Атлантику сопровождался сильным попутным ветром — до 95 км/ч; потеря веса не измерялась. Полные и достоверные экспериментальные данные имеются лишь для одного случая: перелета стаи американских славков *Dendroica striata* от штата Массачусетс (США) до Бермудских островов (расстояние 1300 км). Скорость полета контролировалась радаром; учитывался ветер на трассе. Потеря массы составила в среднем 0,165 от стартовой.

Соответствующие данные по самолетам: относительная потеря массы устаревшего самолета ЛИ-2 — 0,182 при дальности полета 2090 км, самолета АНТ-25, совершившего в 1937 го-

ду перелет Москва — Сан-Джасинто (США) — 0,542 при дальности 13 000 км. Пользуясь известными значениями удельной теплоты сгорания авиационного топлива и «горючего» (жира) птиц, а также термическим КПД, по этим данным можно определить K_s : для птицы $K_s=10,6$, для самолета ЛИ-2 $K_s=8,7$, для АНТ-25 $K_s=13,9$. Эти данные подтверждают отсутствие энергетического превосходства птиц. Интересно отметить, что относительной потере массы 0,165 у самолета АНТ-25 соответствует дальность только 3300 км.

Взлет, посадка, висение на месте

Да, скажут ревнители машущего полета, но ведь птица взлетает и садится вертикально, а для самолетов, лишенных этой возможности, мы вынуждены строить дорогостоящие взлетно-посадочные полосы.

Тут, как говорится, ничего не скажешь: осуществить аппарат, взлетающий как вертолет и летящий горизонтально как самолет, мы можем лишь ценой громадного расхода топлива на взлете. Необходимо, однако, внести некоторые уточнения.

Из второго закона Ньютона следует, что подъемная сила P всякого динамического несущего органа (крыла, несущего винта) равна произведению секундной массы отброшенного вниз воздуха m_s на вертикальную скорость отброшенной струи. Обозначив площадь, ометаемую несущим органом (рис. 2), через s и имея в виду, что скорость отброшенной струи v_2 на режиме висения вдвое превышает скорость в плоскости несущего органа v_1 , найдем подъемную силу, равную весу аппарата: $P=G=m_s v_2=2m_s v_1=2\rho s v_1^2$ (ρ — плотность воздуха у земли)⁴⁾.

Не вся затрачиваемая энергия идет на отбрасывание струи; учитывая потери ее (на закручивание струи, на трение несущего органа о воздух), введем «относительный КПД» η_0 и найдем мощность, необходимую для поддержания единицы веса:

$$\frac{N_{\text{потр}}}{G} = \frac{1}{\eta_0 \sqrt{2}} \left(\frac{G}{s} \right)^{1/2}.$$