

например, с помощью ложки и тонкой струйки воды из водопроводного крана (рис. 11). Если держать ложку так, чтобы она могла качаться, и приблизить ее к струе, то можно почувствовать, как ложка дернется по направлению к потоку воды. Это — проявление третьего закона Ньютона: если ложка притягивает струю, то и струя должна притягивать ложку.

Эффект имеет границы. Если вы используете сферу вместо ложки, то обнаружите, что вода будет следовать только части пути. К тому же, если поверхность резко искривлена, вода не будет следовать ей, а будет только немного изгибаться и сразу же отрываться от поверхности.

**Качественное представление подъемной силы.** Описанные ранее эксперименты с миниатюрной аэродинамической трубой без труда объясняются с точки зрения эффекта Коанда: изогнутое вниз крыло (со стандартным профилем) увлекало воздушный поток вниз, следовательно, по третьему закону Ньютона, на крыло со стороны воздуха действовала сила противодействия, направленная вверх. Изогнутое вверх крыло (с вогнутым профилем) увлекало воздушный поток вверх, и результатом была сила, направленная вниз. Эффект Коанда помогает нам мысленно вообразить, почему угол атаки (крыла с равным наклоном во всю длину) является решающе важным; почему самолеты могут летать перевернутыми; почему «действуют» плоское и тонкое крылья; почему опыт 1 с выпуклой и вогнутой полосками бумаги показывает то, что можно было увидеть своими глазами.

Все, что было до сих пор представлено, никоим образом не является завершенным объяснением подъемной силы, а лишь указывает путь к установлению полезной картины явления. Воспользуемся этим путем для разумного рассмотрения проблемы вращающегося мяча.

**Почему искривляется траектория вращающегося мяча.** Посмотрим по-другому на рисунок 2. Эффект Коанда говорит нам, что воздух увлекается поверхностью мяча. Рассмотрим сторону А, которая вращается в направлении полета, причем сделаем это в системе отчета, в которой мяч неподвижен, а воздух движется и обтекает мяч. Сторона А стремится

увлечь воздух своим вращением. Это действие противопоставлено надвигающемуся воздуху. Поэтому увлечение воздуха вокруг мяча на этой стороне должно сначала замедлять надвигающийся воздух и затем ускорять его в противоположном направлении. На стороне В, которая вращается в направлении, противоположном полету, воздух уже движется (относительно мяча) в направлении надвигающегося воздуха и поэтому более легко увлекаем. Воздух с большей готовностью следует изгибу около В-стороны и приобретает скорость в направлении А-стороны. Поэтому мяч движется в направлении В-стороны противодействием со стороны воздуха.

Самое время вновь обратиться к простому опыту. Затруднительно экспериментировать с бейсбольными мячами, потому что их сила тяжести велика в сравнении с аэродинамическими силами, действующими на них, и очень трудно контролировать величину угловой скорости и направление вращения. Поэтому рассмотрим случай, где аэродинамические эффекты легче увидеть. Возьмем дешевый надувной пляжный мяч (дорогой мяч сделан из более тяжелого материала и хуже показывает аэродинамические эффекты). Брошенный с достаточным вращением (низ мяча движется вперед), такой мяч взмывает вверх по кривой по мере продвижения вперед. Подъемная сила благодаря вращению может быть настолько сильной, что оказывается больше, чем направленная вниз гравитационная сила! Вскоре сопротивление воздуха останавливает и вращение мяча, и его движение вперед, и он падает, но не раньше, чем продемонстрирует, что объяснение Трефила, как вращение влияет на полет мяча, является неправильным.

Появление подъемной силы, возникающей благодаря вращению тела во время движения в воздухе, обычно называют эффектом Магнуса<sup>5</sup>. Некоторые книги обсуждают «ротатор Флеттнера», который является давно заброшенной попыткой использовать эффект Магнуса для разработки эффективного корабельного паруса. (Флеттнер предлагал заменить парус

са на судах парой вращающихся вертикальных цилиндров, развивающих, при наличии ветра, боковую силу тяги.) Помимо Трефила, многие авторы получают эффект в обратном направлении, хотя работы университетского уровня обычно получают его правильно.

\*\*\*

Это был шок осознать, что мой учитель и даже библиотечные книги могут быть неправы. И это было откровение, что я мог верить собственным размышлениям перед лицом такой «концентрированной» оппозиции. Игра с моделями самолетов позволила мне сделать огромный шаг в направлении к интеллектуальной независимости и духа новаторства, что позже в зрелом возрасте привело меня к созданию проекта компьютера «Macintosh» и другим изобретениям.

<sup>5</sup> Г. Магнус (1802–1870) — немецкий физик и химик, демонстрировавший этот эффект в 1853 г.