

6. Колесникова, Л. И. *Экология и здоровье школьников* / Л. И. Колесникова // *Экологическое образование: до школы, в школе, вне школы.* – 2006. – № 3. – С. 7–11.

7. Тозик, О. В. *О возможности коррекции физического состояния учащихся старших классов средствами оздоровительной аэробики* / О. В. Тозик // *Известия ГГУ им. Ф. Скорины.* – 2018. – № 8 (110). – С. 20–24.

8. Маркова, А. И. *Школы здоровья и здоровье школьников* / А. И. Маркова // *Гигиена и санитария.* – 2013. – Т. 92. – № 3. – С. 60–66.

9. Петров, Д. Е. *Воркаут – путь оздоровления населения* / Д. Е. Петров, А. В. Сомов // *Научно-методический электронный журнал «Концепт».* – 2017. – № 9. – С. 40–44.

УДК 796.382:612.76

ШИНДЕР Максим Владимирович
ФИЛИППОВА Анастасия Витальевна
САМОЙЛЕНКО Наталья Сергеевна

*Белорусский государственный университет физической культуры,
Минск, Республика Беларусь*

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ АСПЕКТОВ БИОМЕХАНИКИ НА ПРИМЕРЕ ИГРЫ В БИЛЬЯРД

Статья посвящена исследованию, связанному с подготовкой оригинального методического материала по теме «ударные взаимодействия» с целью наглядного и эффективного его представления в учебном процессе по биомеханике. Полученные на основе скоростной видеосъемки и качественного биомеханического анализа данные позволяют не только получить яркое представление об общих закономерностях механики ударных взаимодействий на примере бильярда, но и перенести полученные знания на другие спортивные дисциплины, в которых такие взаимодействия играют существенную роль. Представленный подход к преподаванию указанной темы позволяет в значительной мере повысить интерес к ее изучению и, как следствие, способствовать пониманию и практическому применению знаний о закономерностях ударных взаимодействий в спортивной практике.

Ключевые слова: бильярд; поступательное и вращательное движение; ударные взаимодействия; импульс; момент импульса.

STUDY OF SPECIFIC ASPECTS OF BIOMECHANICS ON THE EXAMPLE OF THE GAME IN BILLIARDS

The article is devoted to the research related to an original workbook preparation on the topic of “shock interactions” for the purpose of its visual and effective presentation in the educational process in Biomechanics. The data obtained on the basis of high-speed video filming and qualitative biomechanical analysis make it possible not only to get a vivid idea of the general laws of the mechanics of shock interactions using the example of billiards, but also to transfer the knowledge gained to other sports disciplines in which such interactions play an essential part. The presented approach to teaching this topic allows you to significantly increase interest in its study and, as a result, contribute to understanding and practical application of knowledge about the laws of shock interactions in sports practice.

Keywords: billiards; progressive and rotational motion; shock interactions; impulse; angular momentum.

Введение. Бильярд – это игра, смысл которой состоит в ударах деревянными палками по шарам, с целью попадания их в определенные места на специальном столе, известна с древнейших времен. Принято считать, что своим появлением она обязана Индии или Китаю, откуда была завезена и получила распространение в Европе в XV–XVI вв.

На сегодняшний день бильярд остается не только популярным и востребованным развлечением, но и приобрел спортивное направление, включающее в себя многочисленные виды и варианты исполнения этой зрелищной игры.

Кроме спортивной и развлекательной составляющей, она также привлекает к себе внимание ученых-исследователей в

области математики и физики. Они пытаются в той или иной степени описать закономерности, наблюдаемые на бильярдном столе во время игры: удар кием по шару и последующее движение этого шара по столу, взаимодействие шаров друг с другом, отскоки их от бортов и многое другое. Впервые подробный анализ этих явлений был проведен известным французским ученым-механиком Гаспаром Кориолисом, результаты которых были изложены в его книге «Математическая теория явлений бильярдной игры» [8], опубликованной в 1835 г., и внесшей большой вклад в развитие и совершенствование бильярда.

Подобно тому, как азартные игры привели к созданию «теории вероятностей», игра в бильярд послужила предметом серьезных научных исследований по механике и математике, объединившись в настоящее время в такое направление математической физики, как теория бильярдов.

Именно поэтому сейчас бильярд изучают в некоторых учебных заведениях, справедливо считая, что изучение техники игры облегчает студентам понимание практического применения физики и математики. В специально оборудованных аудиториях студенты наблюдают за движением шаров и стараются объяснить их на основе своих знаний [2, 16, 15].

В биомеханике спортивных движений существует множество ситуаций, связанных с осуществлением ударных взаимодействий. Кроме собственно спортивного бильярда, удары составляют основу таких игровых видов спорта, как футбол, волейбол, теннис, бокс, хоккей и многих других. Если учесть, что создание ударных взаимодействий в спорте обеспечивается движениями человека (биологического объекта), то здесь в силу вступают закономерности спортивной биомеханики и существенную актуальность приобретает построение учебного материала по данному предмету в наглядной и доступной для усвоения форме. В этом отношении имен-

но бильярд представляется перспективной базой для построения учебного процесса, связанного с разделом биомеханики ударных взаимодействий.

Целью настоящего исследования является анализ и отбор типовых ситуаций в бильярде, которые могли бы служить основой наглядного представления материала, позволяющего обеспечить не только более высокий интерес к теме ударных взаимодействий в спорте, но и способствовать более прочному его усвоению.

Основными задачами представленного исследования являлись:

- анализ принципиальных возможностей практического применения элементов игры в бильярд для повышения эффективности усвоения учебно-методического материала по дисциплине «биомеханика»;
- исследование и отбор основных технических приемов бильярда для наглядного представления закономерностей выполнения ударных действий в спорте;
- подготовка наглядного дидактического материала для иллюстрации закономерностей ударных взаимодействий в спорте на примере игры в бильярд.

В качестве основных методов исследования в работе использованы: анализ научно-методических источников, скоростная видеосъемка и качественный биомеханический анализ основных технических действий в бильярде.

Игра в бильярд, по мнению многих представителей точных наук (физиков, математиков), представляет собой наглядную модель, прекрасно демонстрирующую законы классической механики. Анализируя различные ситуации игры, можно получить представление о таких основополагающих понятиях как ударные взаимодействия, поступательное и вращательное движение, импульс, момент импульса, энергия, законы их сохранения, законы динамики для ударных взаимодействий и т. д. [4, 6, 7, 9, 14].

Ударные взаимодействия, представляющие собой основу игры в бильярд, являются прекрасным примером демонстрации вышеперечисленных физических явлений и параметров одного из самых сложных разделов биомеханики – «динамика».

В свое время на проблему подачи учебного материала указывал популяризатор физики в СССР Яков Перельман. Он обращал внимание на то, что раздел механики, где говорится об ударе тел, загроможден обилием формул, прикрывая собой суть явлений. Этот материал медленно усваивается и очень быстро забывается. А ведь как говорил в связи с механикой ударных взаимодействий знаменитый натуралист XIX века Кювье «Удалившись от удара, мы не можем составить ясной идеи об отношениях между причиной и действием» [12].

Технический арсенал ударных действий в бильярде имеет свою терминологию. Так, действие начинается ударом кия по шару, именуемому битком. Шар, в который направлен удар, называется прицельным, и, наконец, важнейшим моментом игры является соударение любого шара с бортом игрового стола. Удар кием, в зависимости от поставленной задачи, может наноситься в любую точку на шаре. При этом в зависимости от выбранной точки удара биток может приобретать поступательное, вращательное движение или одновременно обе указанных формы. При ударном взаимодействии с прицельным шаром последнему, как правило, передается поступательное движение, которое постепенно дополняется вращением, возникающим из-за трения о поверхность бильярдного сукна.

Анализ литературных источников [1, 10, 11, 12, 13] показал, что техническими приемами, наилучшим образом представляющими биомеханические закономерности ударных взаимодействий, являются: клапшtos, накат, оттяжка, свояк, француз и масса.

Клапшtos – это удар, при котором в момент соприкосновения шаров у битка от-

сутствует какое-либо вращение. Клапшtos возможен только при попадании «лоб в лоб». Биток начинает прямолинейное движение, ударяется в прицельный шар (рисунок 1), который приобретает после удара поступательное движение, сам же биток при этом останавливается на месте (рисунок 2). С точки зрения механики, биток после удара кием, приобретая поступательный импульс, скользит по сукну стола и, ударяясь в прицельный шар, обменивается с ним полученным импульсом. По закону сохранения импульса, который очень наглядно проявляется в данной ситуации, шары в течение короткого промежутка времени обмениваются импульсами. При этом биток при ударе передает направленный вперед импульс и, поскольку массы шаров равны, первый шар отдает второму весь свой импульс. При отсутствии у битка какого-либо первоначального вращения, он, естественно, остановится, а второй шар начнет двигаться как первый до столкновения (рисунок 3). Таким образом, при клапшtose происходит полный обмен импульсом между шарами.



Рисунок 1



Рисунок 2



Рисунок 3

Анализ данной ситуации позволяет наглядно представить в ходе учебного процесса такие понятия, как импульс и закон его сохранения.

Накат – это удар кием в точку, которая находится сверху, над центром битка («верхний винт») (рисунок 4), после которого тот, двигаясь вперед, получает не только поступательный импульс, но и вращение. В данном случае шар катится в направлении ударного шара. Он ударяет прицельный шар, передавая ему поступательное движение (рисунок 5). При этом биток в момент удара на очень короткое время остается на месте, как при клапштосе, а потом продолжает движение вперед (рисунок 6). Это возобновление движения вызвано дополнительным вращением, которое получил биток при ударе кием в верхнюю часть шара. В результате удара с другим шаром биток прекращает поступательное движение, но вращательное остается. Вращательный импульс и взаимодействие вращения с поверхностью бильярдного стола через силу трения заставляют биток катиться следом за прицельным шаром (рисунок 7).

В результате подробного рассмотрения закономерностей такого удара могут быть наглядно представлены такие понятия механики, как упомянутый выше импульс, а также вращательный импульс (момент импульса) и динамика взаимодействия тел через силы трения (законы Ньютона).

Оттяжка – это удар кием в нижнюю часть шара («нижний винт») (рисунок 8). По структуре и закономерностям удар аналогичен накату, только после удара биток передает прицельному шару поступательное движение, сохранив при этом обратное вращение вокруг горизонтальной оси (рисунок 9). После удара биток откатывается назад (рисунок 10).

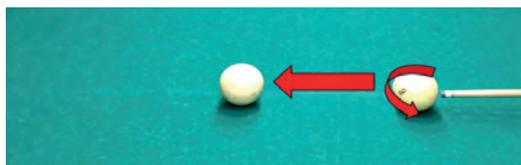


Рисунок 4



Рисунок 5

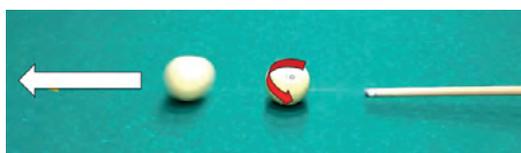


Рисунок 6

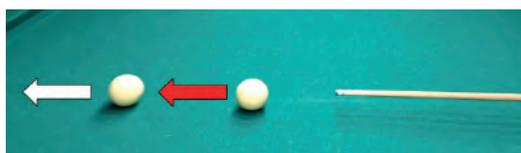


Рисунок 7



Рисунок 8



Рисунок 9



Рисунок 10

Удар правее или левее центральной вертикальной линии битка придает ему боковое вращение, называемое боковым винтом. Если шар просто раскрутить, он, получив вращательный импульс (момент импульса), будет вращаться вокруг продольной оси как «волчок», но при ударе кий сообщает ему и горизонтальный импульс, который обеспечивает поступательное движение, впоследствии передаваемое другому шару. В зависимости от выбранной точки удара (справа от центра шара или слева) биток, столкнувшись с прицельным шаром, передаст ему импульс, а сам, увлекаемый собственным моментом импульса и силой трения с сукном бильярдного стола, пойдет вправо или влево по криволинейной траектории.

Свояк представляет собой удар, цель которого – направить в лузу сам биток (рисунки 11, 12, 13). В таком случае битку придается боковое вращение, после которого он соприкасается с прицельным шаром и, отталкиваясь от него, падает в лузу.



Рисунок 11



Рисунок 12

Роль вращательного движения, сообщаемого битку, наиболее наглядно представлена при ударе, называемом «француз». Француз – это «свояк», забитый на винте медленным подкатом вдоль борта от

стоящего вдоль борта шара. (рисунки 11, 12, 13, 14). Здесь биток получает боковое вращательное движение одновременно с поступательным. В результате удара с боковым нижним вращением и использованием сил трения биток падает в лузу.

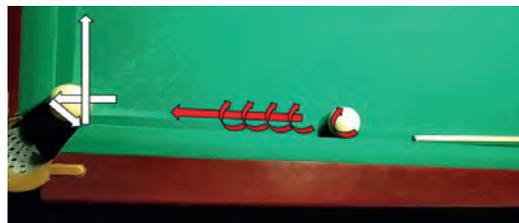


Рисунок 13



Рисунок 14

В бильярдной игре приходится постоянно рассматривать удары шаров, имеющих два или даже три движения. Один из них – масса.

Массе – это удар кием в точку, правее или левее от вертикальной линии шара, при котором ему сообщается поступательное движение на фоне вращения вокруг вертикальной оси. Здесь этот удар кием по битку выполняется не горизонтально, а с определенным углом к плоскости стола. В результате получается изогнутая траектория, напоминающая по форме параболу (рисунки 15, 16, 17, 18). В данном случае может быть получена отличная иллюстрация к векторному сложению движений, направленных под углом друг к другу. Так, вращение шара вокруг его центра тяжести вызывает силу трения, которая направлена перпендикулярно скорости поступательного движения и обеспечивает ускорение соответствующего направ-

ления. В результате шар перемещается по параболической траектории.

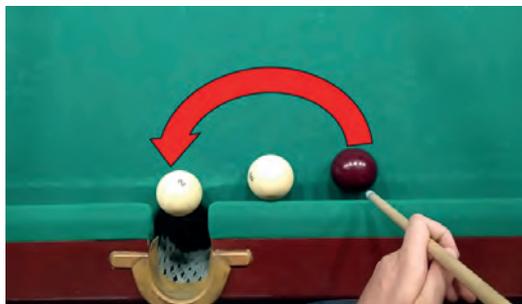


Рисунок 15

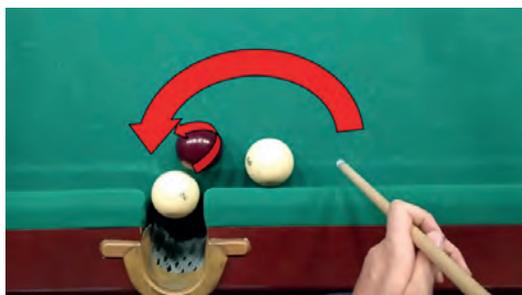


Рисунок 17

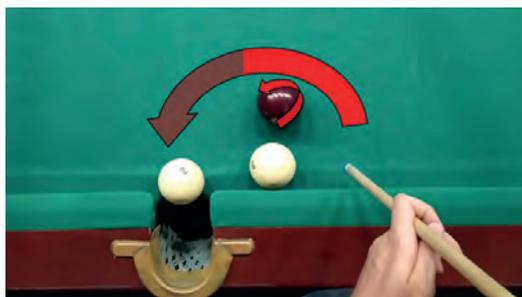


Рисунок 16



Рисунок 18

Многие виды спорта предполагают различного рода столкновения. При этом, ударное взаимодействие происходит не только через спортивный снаряд, но и непосредственно между спортсменами. В качестве характерных примеров можно привести такие виды спорта как хоккей, регби, гандбол, баскетбол, различные виды единоборств. Футбол, волейбол, теннис, бадминтон – между спортсменом и снарядом.

Качественный и количественный анализ столкновений осуществляется на основе законов сохранения и изменения таких физических величин, как импульс (поступательное движение) и момент импульса (вращение). Взаимодействие бильярдных шаров представляет собой прекрасную иллюстрацию указанных закономерностей.

Если в качестве примера представить ситуацию столкновения двух тел, движущихся прямолинейно, то основным понятием, которое определяет характер дальнейшего движения, в данном случае является импульс.

Импульс – векторная величина, направление которой совпадает с направлением скорости. При поступательном движении импульс тела равен произведению его массы на вектор скорости (mV). Согласно второму закону Ньютона, изменение количества движения равно импульсу силы. Импульс силы – это произведение силы на время ее действия ($F\Delta t$). Именно импульс силы является средством передачи механического движения [18].

Закон сохранения импульса утверждает, что если на систему тел не действуют внешние по отношению к ней силы, то суммарный импульс представляет собой постоянную величину и в результате внутренних взаимодействий тел может только перераспределяться между ними, передаваясь от одного тела к другому. Согласно третьему закону Ньютона, если тело воздействует на другое тело с силой в

течение какого-то времени, то второе тело в течение такого же времени действует на первое с точно такой же силой, но противоположной по направлению. Так как импульс, полученный одним телом, равен импульсу, потерянному другим, т. е. происходит лишь обмен импульсами между сталкивающимися телами [3].

Если представить столкновение двух хоккеистов, изображенных на рисунках 19–21 [19], то проекция суммарного импульса на первоначальное направление движения после столкновения равна аналогичной проекции суммарного импульса до столкновения. Закон сохранения импульса в данном случае, с учетом неупругости взаимодействия, может быть представлен следующим соотношением:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V, \quad (1)$$

где m_1 и m_2 – массы хоккеистов, V_1 и V_2 – их скорости, V – скорость после ударного взаимодействия.

Подстановка в формулу данных, представленных на рисунке 19, позволяет определить результирующую скорость V , которая составит минус 0,118 м/с. Отрицательный знак, что соответствует движению обоих игроков после удара влево.

Приведенный пример наглядно показывает, что в контактных видах спорта, при одинаковой скорости, преимущество имеют игроки большей массы.

При существенном различии скоростей рассматриваемая закономерность также будет проявляться вполне отчетливо. Это можно показать на примере игры в бильярд, если взять шар для русского бильярда массой 284 г, и придать ему скорость 2 м/с. Навстречу ему пустить шар для игры в пул массой 170 г, со скоростью 6 м/с (рисунок 22). В ходе соударения, которое мы будем рассматривать как упругое, выполняются два закона – упомянутый выше закон сохранения импульса и закон сохранения энергии (формулы 2 и 3).

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 V'_1 + m_2 V'_2, \quad (2)$$

$m_1 V_1^2/2 + m_2 V_2^2/2 = m_1 V'^2_1/2 + m_2 V'^2_2/2$ (3)
где V'_1 и V'_2 – скорости шаров после ударного взаимодействия.

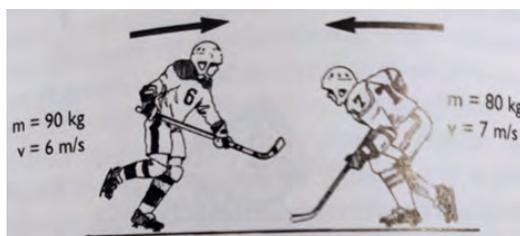


Рисунок 19



Рисунок 20

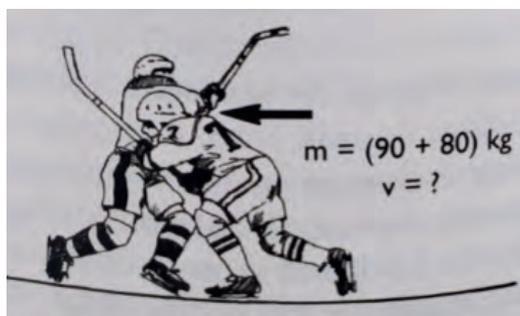


Рисунок 21

Если подставить указанные выше данные в соотношения (2) и (3), представляющие собой достаточно простую систему уравнений, и решить ее относительно скоростей после удара, получим следующие значения:

$$V_1 = -2,464 \text{ м/с}, V_2 = 1,457 \text{ м/с}.$$

Таким образом, для рассматриваемой ситуации маленький и легкий шар для игры в пул за счет преимущественного значения скорости может отбросить большой и тяжелый шар для русского бильярда в обратную сторону (рисунки 23, 24).



Рисунок 22. – Движение шаров навстречу друг другу



Рисунок 23. – Столкновение шаров

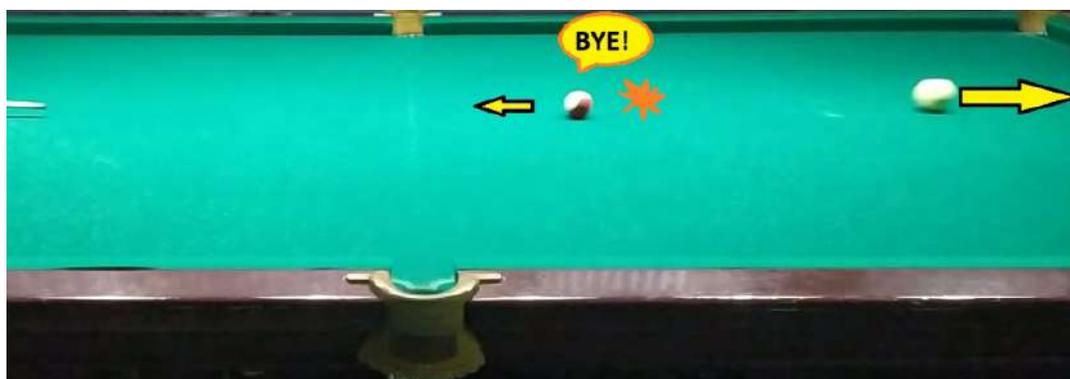


Рисунок 24. – Движение шаров после столкновения

Используя игру в бильярд в качестве иллюстрации закономерностей биомеханики, можно применять шары различной массы и размеров, варьировать способы удара кием по битку, сообщать разные значения импульса силы. Это поможет не только понять закономерности ударных

взаимодействий, но и перенести полученные знания на другие спортивные дисциплины.

Кроме анализа соударения шаров между собой, важным аспектом использования рассматриваемого подхода к изучению студентами физкультурного УВО

такого раздела биомеханики, как динамика, является наглядное представление закономерностей ударного взаимодействия шаров с бортом бильярда.

Здесь просматривается очевидная аналогия с ситуациями, имеющими место в футболе, теннисе (большом и настольном), хоккее, где происходит отражение спортивного снаряда от поверхности объекта, масса которого во много раз превосходит массу снаряда.

Бильярдный стол можно приблизительно считать замкнутой системой, в которой шары обязательно будут сталкиваться не только друг с другом, но и с бортами. Для попадания шара в лузу возможны различные варианты его отражения от борта. Удары, при которых шар попадает в лузу с отскоком от борта, бывают нескольких видов. Наиболее часто применяемые: дуплет (отскок прицельного шара от одного борта) и триплет, при котором отскок шара происходит от двух бортов.

При выполнении дуплета прицельный шар, отразившись от борта, падает в лузу. С точки зрения механики, прицельный шар и борт в момент удара деформируются, запасая потенциальную энергию упругой деформации и затем большая часть этой энергии возвращается шару в виде кинетической энергии отскока (рисунки 25, 26, 27, 28). Здесь прекрасно иллюстрируется закон сохранения энергии (поскольку взаимодействие можно с известной степенью приближения считать упругим).

Отскок играет важную роль и во многих других видах спорта, таких как баскетбол (отскок мяча при передаче от пола, от щита при атаке), в сквоше – отскок мяча от стен площадки, в хоккее при передаче шайбы через борт. В последнем иногда бывает, что шайба, отскочив от борта после удара или броска, залетает в ворота. Такая ситуация представлена на рисунке 29 [5]. Рассчитать такой удар несложно, если знать «Правило зеркала» в бильярде.



Рисунок 25



Рисунок 26

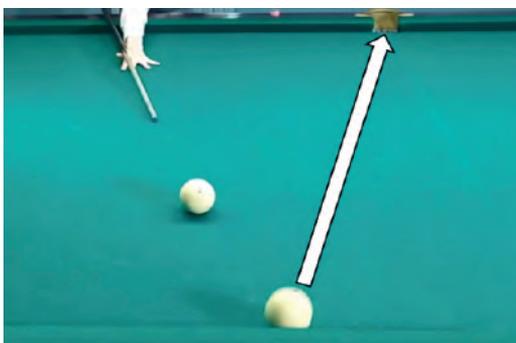


Рисунок 27



Рисунок 28



Рисунок 29

«Правило зеркала» в бильярде имеет схожие характеристики с законом отражения света. Это правило работает только при слабом ударе без каких-либо боковых вращений. Так, если у шара отсутствуют таковые, и скорость движения невысока, то угол между траекторией движения шара к линии борта и перпендикуляром к нему будет практически равен углу отражения.

В случае, если шар имеет боковое вращение, то угол отражения шара от борта будет зависеть от направления вращения. Так, при левом вращении (против часовой стрелки, рисунок 30) шар будет отражаться от борта ближе к направлению, перпендикулярному борту по сравнению с траекторией отражения без боковых вращений. Аналогичная закономерность будет проявляться и при противоположном вращении, только в обратную сторону [15].

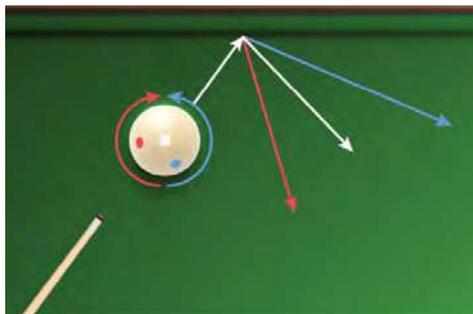


Рисунок 30

В бильярдных ударах есть интересные моменты, аналогичные ситуациям в футболе, где вращение мяча не только создает эффект Магнуса (искривление траектории), но и существенно влияет на его отскок от поверхности поля или штанги ворот. Пример такой ситуации приведен на рисунке 31.

Заключение. Проведенное исследование показало аналогию закономерностей ударных взаимодействий в бильярде и в целом ряде видов спорта, что позволяет эффективно использовать полученные результаты скоростной съемки и качественного биомеханического анализа в качестве наглядного материала, позволяющего поднять преподавание биомеханики в спортивных УВО на более высокий качественный уровень.

В результате исследования осуществлен отбор наиболее информативных элементов игры в бильярд, позволяющих наглядно представить основные закономерности ударных взаимодействий спорта в ходе учебного процесса по биомеханике.

К элементам техники, наиболее наглядно отражающим биомеханические закономерности ударных взаимодействий в спорте, можно отнести удары клапшtos, накат, оттяжка, свояк, француз и masse, а также особенности взаимодействия шаров с бортами бильярда.



Рисунок 31

1. Балин, И. В. Бильярд / И. В. Балин. – 3-е изд., стер. – М. : Цитадель, 2002. – 416 с.
2. Бильярд как наука [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.billi.ru/articles/biljard-kak-nauka.htm>. – Дата доступа: 10.05.2021.
3. Блумфилд, Л. А. Как все работает. Законы физики в нашей жизни / Л. А. Блумфильд. – М. : АСТ, 2016. – 705 с.
4. Вайткене, Л. Д. Физика / Л. Д. Вайткене. – М. : АСТ, 2017. – 217 с.
5. Генденштейн, Л. Э. Открываем законы физики. Механика / Л. Э. Генденштейн, М. Л. Курдюмов, Б. И. Вишневецкий. – М. : Мир, 1992. – 268 с.
6. Гоник, Л. Физика. Естественная наука в комиксах / Л. Гоник, А. Хаффман ; пер. с англ. В. Кадученко. – 2-е изд., испр. – М. : Колibri, Азбука-Аттикус, 2016. – 224 с.
7. Касьянов, В. А. Физика. 10 класс. Профильный уровень : учеб. для общеобразоват. учреждений / В. А. Касьянов – 13-е изд. – М. : Дрофа, 2013. – 434 с.
8. Кориолис, Г. Математическая теория явлений бильярдной игры / Г. Кориолис ; пер. с фр.: И. Н. Веселовского, М. М. Гернета. – 2-е изд. – М., ЛКИ, 2007. – 240 с.
9. Курьсь, В. Н. Биомеханика. Познание телесно-двигательного упражнения : учеб. пособие для вузов / В. Н. Курьсь. – М. : Советский спорт, 2013. – 366 с.
10. Лошаков, А. Л. Азбука бильярда. Новая / А. Л. Лошаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Центрполиграф, 2014. – 258 с.
11. Матвеев, Д. Н. Бильярд – игра, спорт, искусство : моногр. / Д. М. Матвеев, Н. А. Сараев. – М. : Молодежный книжный центр, 2003. – 261 с.
12. Перельман, Я. И. Занимательная механика / Я. И. Перельман. – М. : РИМИС. 2010. – 192 с.
13. Полей, А. А. Школа русского бильярда / А. А. Полей, Е. В. Маслов. – М. : Флинта, 2007. – 291 с.
14. Сотский, Н. Б. Биомеханика : учеб. для студентов / Н. Б. Сотский. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : БГУФК, 2005. – 192 с.
15. Физика игры на бильярде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.billiard1.ru/compary/news/fizika_igry_na_bilyarde_/. – Дата доступа: 10.05.2021.
16. Физика на бильярдном столе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://akvobr.ru/fizika_na_bilyardnom_stole.html. – Дата доступа: 10.05.2021.
17. Шапран, Е. Физике шара, математика кия. Играем в бильярд [Электронный ресурс] / Е. Шапран. – Режим доступа: <https://oyla.xyz/article/fizika-sara-matematika-kia-igraem-v-bilard>. – Дата доступа: 10.05.2021.
18. Энока, Р. М. Основы кинезиологии : [моногр. : пер. с англ.] / Р. М. Энока. – Киев : Олимп. лит., 2000. – 400 с.
19. Susan, J. H. Basic Biomechanics / J. H. Susan. – Boston : McGraw-Hill Education, 2014. – 560 p.