



ФИЗИКА И СПОРТ. ОТСКОК МЯЧА ОТ СТЕНКИ.

*Старший преподаватель кафедры
«Физика и электроника»*

Каршинского инженерно-экономического институт

Салайдинов Ачил Мейлиевич

Аннотация: Совсем иначе обстоит дело, если мяч и стенка шероховатые, так что пренебрегать трением уже нельзя. Перпендикулярная составляющая скорости мяча при ударе о стенку меняет свое направление на противоположное, оставаясь неизменной по модулю. Будем также считать, что скорости точек мяча, касающихся стенки, не обращаются в нуль: в течение удара проскальзывание не прекращается.

Ключевые слова: Сила, мяч, стенка, энергия, тривиальная, угол, механической, параллель, эквивалент, симметрия, движения, деформация.

Решение задач составляет неотъемлемую часть полноценного изучения физики на любом уровне - от первоначального, вплоть до специального физического образования. Судить о степени понимания физических законов можно по умению сознательно их применять для анализа конкретных физических явлений. Для глубокого понимания физики необходимо четкое осознание степени общности различных физических законов, границ их применимости, их места в общей физической картине мира. Ещё более высокая степень понимания физики определяется умением использовать методологические принципы физики, такие как принцип причинности, симметрии и эквивалентности. Достижения и стремительные темпы развития науки и техники предъявляют высокие требования к уровню подготовки специалистов физика одна из основных наук о природе. Его надо в какой – те мере должны знать все, особенно кто занимается воспитанием.

Отражение от стенки. Под каким углом отскакивает футбольный мяч от стенки?

ΔЗадача, разумеется, тривиальная, если считать, что удар абсолютно упругий, а стенка и мяч идеально гладкие. Тогда трение между мячом и поверхностью стенки отсутствует и угол отражения β равен углу падения α (рис. 1).



Совсем иначе обстоит дело, если мяч и стенка шероховатые, так что пренебрегать трением уже нельзя. Однако и в этом случае легко найти угол отражения, если известен коэффициент трения μ мяча о поверхность стенки.

Будем рассуждать следующим образом. Разложим вектор скорости поступательного движения мяча до удара \mathcal{V} на две составляющие: \mathcal{V}_\perp , направленную перпендикулярно поверхности стенки, и \mathcal{V}_\parallel , направленную вдоль поверхности (рис.2). Обозначим соответствующие скорости мяча после отскока через \mathcal{V}'_\perp и \mathcal{V}'_\parallel . Перпендикулярная составляющая скорости мяча при ударе о стенку меняет свое направление на противоположное, оставаясь неизменной по модулю. Параллельная же составляющая скорости, вообще говоря, изменяется по модулю.

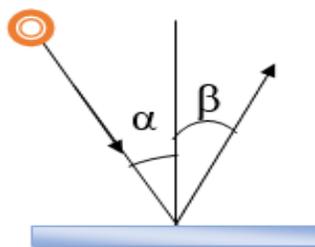


Рис.1 Отскок мяча от стенки

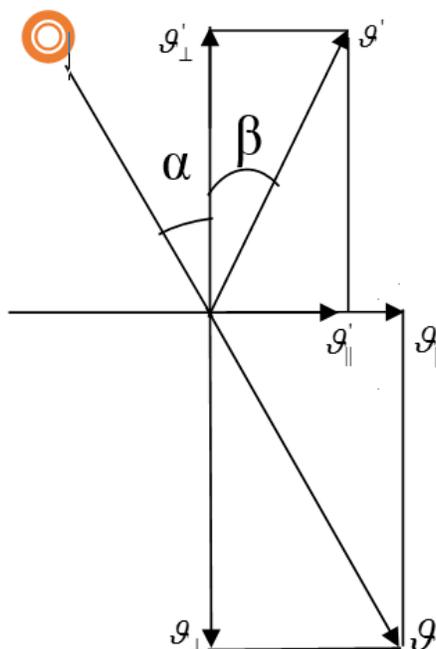




Рис.2. Разложение на составляющие скорости мяча до и после удара

Чтобы убедиться в этом, рассмотрим силы, действующие на мяч со стороны стенки при ударе (рис. 29.3). Направленная по нормали к стенке сила N – это сила упругости, возникающая при деформации мяча. Деформацию хорошо накачанного мяча можно считать упругой, после удара мяч восстанавливает свою форму. Поэтому энергия упругой деформации мяча после удара снова перейдет в кинетическую энергию.

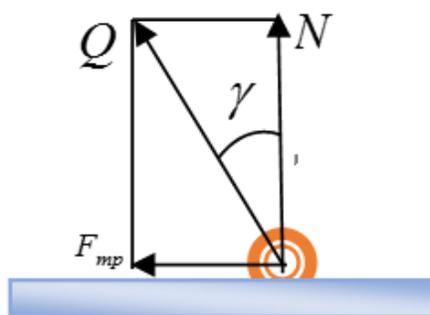


Рис.3. Силы, действующие на мяч во время удара

Другими словами, часть кинетической энергии мяча, связанная с его движением по нормали к стенке, остается неизменной.

Изменение составляющей скорости, параллельной поверхности, происходит под действием силы трения. Эта сила направлена в сторону, противоположную скорости точек поверхности мяча в месте соприкосновения со стенкой. Если мяч до удара не вращался, то скорости этих точек равны \mathcal{V}_{\parallel} , и действие силы трения приводит к уменьшению модуля \mathcal{V}_{\parallel} . Это значит, что угол отражения β меньше угла падения α . Именно этот случай и изображен на рис. 29.1 и 29.2. Сила трения может и увеличивать значение \mathcal{V}_{\parallel} , если до удара о стенку мяч вращался в направлении, указанном на рис. 29.4. При достаточно быстром вращении мяча ($\omega R > \mathcal{V}_{\parallel}$) касающиеся стенки точки мяча имеют скорости, направленные влево, сила



трения направлена вправо и значение возрастает. В этом случае угол отражения больше угла падения.

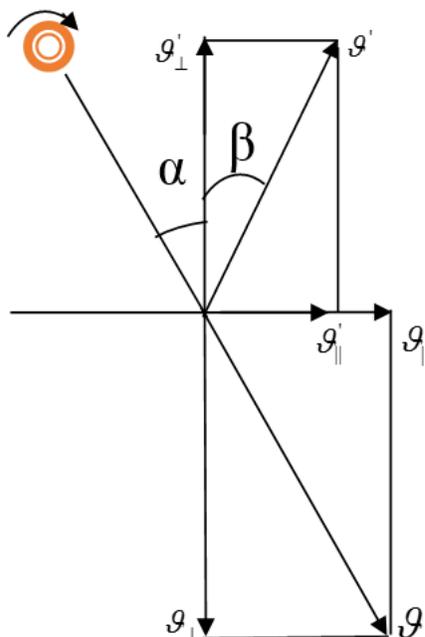


Рис.4. Скорости мяча до и после удара при вращении налетающего мяча по часовой стрелке

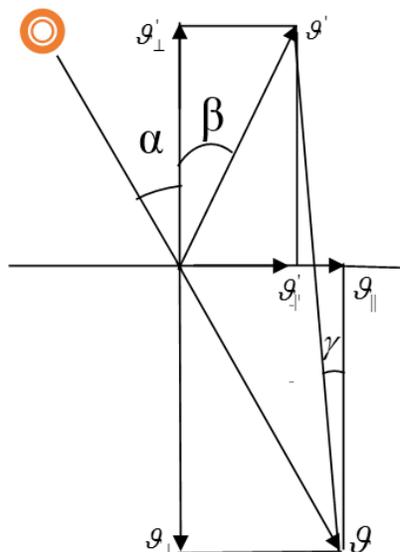


Рис.5. К вычислению угла отражения β .



Рассмотрим подробно случай, когда мяч до удара не вращается. Будем также считать, что скорости точек мяча, касающихся стенки, не обращаются в нуль: в течение удара проскальзывание не прекращается. Сила N (рис.3) возникает в момент соприкосновения мяча со стенкой, затем растет, достигая наибольшего значения в момент максимальной деформации мяча, а затем убывает до нуля. Сила трения скольжения F_{mp} в течение удара также не остается постоянной. В любой момент времени модули сил F_{mp} и N связаны законом Кулона – Амонтона:

$$F_{mp} = \mu N. \quad (1)$$

Поэтому в течение всего удара полная сила Q , с которой поверхность стенки действует на мяч, изменяется по модулю, но остается неизменной по направлению, образуя угол γ с нормалью к стенке. Как видно из рис.3, $tg\gamma = \mu$. Это позволяет найти угол отражения мяча β .

На основании второго закона Ньютона изменение импульса мяча при ударе о стенку Δp совпадает по направлению с силой Q , с помощью рис.2 построим вектор изменения импульса $\Delta p = m(g' - g)$ (рис.5). Этот вектор, так же как и вектор Q на рис.3, образует угол γ с нормалью к стенке. Непосредственно из рис. 29.5. видно, что

$$g'_{\parallel} = g_{\parallel} - 2g_{\perp} tg\gamma. \quad (2)$$

Деля обе части этого равенства на g_{\perp} и учитывая, что

$$\frac{g'_{\parallel}}{g_{\perp}} = tg\alpha, \quad \frac{g'_{\parallel}}{g_{\perp}} = tg\beta, \quad \text{а} \quad tg\gamma = \mu \quad \text{получаем}$$

$$tg\beta = tg\alpha - 2\mu. \quad (3)$$

Из полученной формулы видно, что при малых углах падения, когда, $tg\alpha < 2\mu$, результат теряет смысл. С чем это связано? Формула (3) выведена в предположении, что проскальзывание мяча не прекращалось в течение всего времени его контакта со стенкой. Однако при малых углах падения проскальзывание мяча может прекратиться раньше, чем он отделится от



стенки. Это связано с тем, что сила трения скольжения, направленная противоположно \mathcal{Q}_{\parallel} , не только тормозит поступательное движение мяча, но и вызывает его вращение по часовой стрелке, так как точка приложения силы трения не совпадает с центром мяча. Проскальзывание прекращается в тот момент, когда связанная с вращением скорость нижней точки мяча сравнивается по модулю с параллельной поверхности составляющей скорости центра мяча.

Случай, когда в процессе столкновения со стенкой проскальзывание мяча прекращается, более сложен для исследования, так как требует привлечения уравнения, описывающего вращательное движение. При этом оказывается, что ответ, даваемый формулой (3), становится неприменимым даже при угле падения α , тангенс которого несколько больше 2μ . Точный расчет дает для предельного угла падения $\operatorname{tg}\alpha = 5\mu$.

Отскочивший от шероховатой стенки мяч обязательно будет вращаться, даже если до удара он не вращался. Кинетическая энергия этого вращения возникает за счет уменьшения кинетической энергии поступательного движения. Некоторая часть механической энергии мяча при ударе переходит в тепло.

Нетрудно сообразить, что даваемое формулой (3) значение угла отражения β справедливо и в том случае, когда до удара мяч вращался против часовой стрелки. Не представляет труда найти угол отражения и тогда, когда до удара мяч вращался по часовой стрелке. Если это вращение достаточно быстрое, так что проскальзывание мяча не прекращается в течение удара, то, рассуждая так же, как и при получении выражения (3), находим

$$\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\alpha + 2\mu. \quad (4)$$

В этом случае кинетическая энергия поступательного движения мяча в результате удара о стенку увеличивается. Это увеличение, как и выделение тепла во время удара, происходит за счет кинетической энергии вращения.



ЛИТЕРАТУРЫ

1.БУТИКОВ Е.И., БЫКОВ А.А., КОНДРАТЬЕВ А.С. Физика в примерах и задачах: Учеб. Пособие. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Наука. Гл. ред. Физ-мат. Лит., 1989 г.

2.Узаков, Г. Н., Давлонов, Х. А., Хужакулов, С. М., Холиков К. Н. (2019, май). Оценка энергетической эффективности пиролизной установки для систем топливоснабжения теплиц. В материалах XIII международной научно-практической конференции «Международные тенденции в науке и технике» (т. 1, с. 33-35).

3.UZAKOV, G. N.; DAVLONOV, H. A.; HOLIKOV, K. N. Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters. Applied Solar Energy, 2018, 54: 481-484.

4.Nurmahmatovich Kholikov Komil. "Getting fuel by pyrolysis device and using it." Central asian journal of social sciences and history 2.2 (2021): 103-105.

5.Kholikov Komil Nurmahmatovich, & Hamidova Dilnura Anvar qizi. (2022). Renewable energy is a traditional energy production technology. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 10(2), 407–409.

6.Nurmahmatovich, Kholikov Komil. "General information about bioneft products." British Journal of Global Ecology and Sustainable Development 10 (2022): 121-124.

7.Kholikov Kamil Nurmahmatovich. (2022). The influence of the main technological parameters on the pyrolysis process. European Scholar Journal, 3(11), 35-38.

8.Нурмахматович, Холиков Комил. Возобновляемая энергетика – традиционная технология производства энергии. Международный журнал междисциплинарных исследований Galaxy, 10 (2), (2022). 407–409.

9.Холиқов Комил Нурмахматович. (2023). Бионефт маҳсулотларининг фракцион таркибини лаборатория курилмасида аниқлаш. Лучшие интеллектуальные исследования, 7(1), 16–24.

10.Холиқов Комил Нурмахматович. (2023). Пиролиз курилмасининг иссиқлик алмашинуви ва иссиқлик ўтказиш жараёнини аниқлаш. Ta'lim Innovatsiyasi va Integratsiyasi, 7(1), 137–146.



11. Кузнецов Б.Н. Катализ химических превращений угля и биомассы. – Новосибирск: Наука, 1990.
12. G.N. Uzakov, H.A. Davlonov, K.N. Xoliqov. *Applied Solar Energy*, 2020, Vol. 54, No. 6, pp. 481–484. © Allerton Press, Inc., 2019.
13. Салайдинов Ачил Мейлиевич, & Холиков Комил Нурмахматович. (2023). Алгоритмические приёмы в процессе решения физических задач. *World Scientific Research Journal*, 22(1), 53–60.
14. Kholikov K. Determination of the fraction composition of bio-oil products in a laboratory device // *BIO Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2023. – Т. 71. – С. 02016.
15. Nurmahmatovich, Xoliqov Komil. "Trubkasirnon piroliz pechidan olingan mahsulotlar va ularning tarkibi." *Лучшие интеллектуальные исследования* 20.4 (2024): 108-113.
16. Uzakov, G. N., Davlonov, H. A., & Xoliqov, K. N. (2019). *Applied Solar Energy*, 2020, Vol. 54, No. 6.