



ФІЗИКА У ФУТБОЛІ

С. Б. Кривчун

Досліджено прояви законів природи під час гри у футбол, точки дотику науки і спортивної гри. Доводиться, що для досягнення спортивних вершин не досить лише фізичної підготовки. Матеріал розраховано на вчителів та учнів загальноосвітніх шкіл.

Ключові слова: фізика, футбол, закони Ньютона, сили тяжіння, траєкторія польоту м'яча, величина та напрям швидкості м'яча, правильність і точність удару.

Кривчун С. Б. Физика в футболе

Исследуются проявления законов природы во время игры в футбол, точки соприкосновения науки и спортивной игры. Доказано, что для достижения спортивных вершин не достаточно только физической подготовки. Материал рассчитан на учителей и учащихся общеобразовательных заведений.

Ключевые слова: физика, футбол, законы Ньютона, силы притяжения, траектория полета мяча, величина и направление скорости мяча, правильность и точность удара.

Krivchun S. B. Physics in Football

Author of this paper researches how laws of the nature works in the time of playing football, cross points of science and sport game. She comes to the conclusion that physical training is not enough to achieve the highest scores in sport. Paper would be interesting for teachers and students of secondary schools.

Keywords: physics, football, Newton laws, attractive forces, ball trajectory, size and direction of ball speed, correctness and accuracy of kick.

Захоплення моїх учнів футболом навело на думку дослідити закони природи, що мають вияв у цьому виді спорту. Дітям подобається футбол, оскільки він потребує високої швидкості реакції та мислення. Ця стаття написана з метою зацікавлення учнів фізикою, її популяризації як науки та сприяння поглибленню знань школярів на прикладах вияву фізичних законів під час гри у футбол.

Це – одна з найбільш популярних спортивних ігор на планеті. Серед учених саме фізики найбільше захоплювалися футболом. Достатньо згадати таких корифеїв науки: британців Ф. Астона, наукові праці якого стосуються атомної і ядерної фізики, Е. Резерфорда, котрий заклав основи сучасного вчення про радіоактивність і теорії будови атома, відкрив альфа- і бета-промені; данця Н. Бора, автора першої квантової теорії атома. Свого часу Н. Бор був запасним голкіпером збірної Данії з футболу. Слід згадати також і француза Ф. Жоліо-Кюрі, який досліджував ядерні реакції, спричинювані альфа-частинками, відкрив новий

тип радіоактивності – позитронної – та штучну радіоактивність.

Під час гри мають вияв багато законів фізики, зокрема три закони Ньютона, закони всесвітнього тяжіння, збереження імпульсу та енергії. До того ж, футбол яскраво і багатоваріантно демонструє таке поширене у природі явище, як удар, закони якого пояснює фізика. Із розвитком суспільства спортивні ігри покращуються, зокрема завдяки раціональнішому використанню в ігрових ситуаціях досягнень біофізики та інших наук. У цьому контексті слід згадати такі факти.

Організм людини складається із 639 м'язів. Ураховуючи можливості переміщення корпусу тіла, голови й кінцівок, людина за допомогою м'язів може здійснювати 107 рухів, тобто мати 107 ступенів свободи. [6; с. 98]. Однак реалізувати одночасно всі ступені свободи не можна; космонавт, наприклад, в умовах невагомості і без скафандра може реалізувати 39 ступенів свободи, а у скафандрі – лише 36. Від кількості таких ступенів свободи залежить спритність, із якою

людина керує своїм тілом. Під час тренувань із метою опанування більшою кількістю ступенів свободи руху футболіст здобуває перевагу над менш підготовленим супротивником.

Оскільки у м'язах людини відбувається пряме перетворення хімічної енергії у механічну (без стадій перетворення хімічної енергії в тепло – цей процес відбувається в шлунку) м'язи мають високий ККД – приблизно 80–90 %, що значно перевищує ККД теплових машин. ККД усього організму – лише 20 %, оскільки цю величину знижують процеси в шлунку. Якщо ж людина підніме до максимального рівня чіткість, швидкість руху, ККД може бути збільшеним до 25 %. Відомо, що при високій чіткості і швидкості руху людина у межах кількох секунд може розвивати за допомогою м'язів потужність, що перевищує середню потужність коня, однак при тривалій роботі м'язи втомлюються і зменшують віддачу. У результаті за повний робочий день потужність людини може становити приблизно 1/12 кінських сил. Зрозуміло, що футболісти повинні враховувати в грі ці можливості організму людини. Для поліпшення техніки володіння гравцями м'ячем, підвищення сили й точності удару використовується швидкісна кінозйомка взаємодії футболіста з м'ячем, виявляючи такі фази цього процесу, що не фіксуються оком, але які можуть виявитися корисними для його покращення, наприклад, успішного виконання такого важкого удару, як «сухий лист».

Особливо слід відзначити важливість швидкості реакції у футболі. Насамперед це стосується гри воротаря. Оцінити швидкість його реакції можливо, якщо пам'ятати, що для людини і багатьох тварин верхньою межею швидкості реакції є час, необхідний нервовій клітині для прийому інформації. Цей час дорівнює 0,01с; коли об'єкт зафіксований оком, мозок розрізняє його за 0,05 с. Відомо також, що «один із головних біоритмів мозку припадає на діапазон частот 8–13 Гц, або середню частоту 10 Гц, якій відповідає період 0,1с. Цей час характеризує такий стан мозку, коли він не вступив у роботу, але повністю до неї підготовлений» [1; с. 158]. Таким чином, швидкість реакції голкіпера може перебувати у межах 0,1–0,05с. Оскільки період кліпання ока здійснюється у межах 0,2–0,5 Гц, воротар не повинен кліпати при пробитті йому пенальті. І ще: зазвичай, що талановитіша людина, тим швидше вона міркує; це важливо й у футболі: від швидкості реалізації ідей, які виникли у футболістів у ході гри, нерідко залежить результат матчу. Швидкість ігрового мислення гравців футбольної зустрічі – одна з важливих умов успішного її розвитку й завершення.

У футболу давня й славетна історія, що наводить на роздуми про таємниці його популярності. Футбол – це один із найбільш універсальних видів спорту.

Футболіст повинен не тільки гарно володіти м'ячем, точно передавати його партнерам і влучно бити по воротах, а й швидко бігати, високо стрибати, володіти своїм тілом, як акробат, бути витривалим, як марафонець, передбачати розвиток подій на зеленому полі на декілька кроків уперед, як шахматист, а також знати закони фізики.

Перший закон Ньютона

Будь-яка матеріальна точка (тіло) зберігає стан спокою або рівномірного прямилинійного руху доти, поки дія інших тіл не змусить її (його) змінити цей стан. М'яч інколи можна вважати матеріальною точкою і знехтувати його розмірами.

Можна побачити м'яч на зеленому полі стадіону, який знаходиться в стані спокою доти, доки на нього не діятиме гравець, а якщо м'яч уже рухається із певною швидкістю, яку можна вважати сталою на невеликому проміжку часу, то тільки зіткнення з різними частинами тіла гравця може змінити напрям швидкості та її модуль, тобто чисельне значення.

Правилами гри у футбол заборонено під час підкату торкання ніг гравця до взаємодії з м'ячем. У цьому випадку ноги гравця, який рухався з певною швидкістю, зупиняються, і гравець далі рухається за інерцією.

Стан м'яча змінюється під час дії на нього гравця з певною силою. Сила – векторна величина, яка є мірою механічної дії на тіло з боку інших тіл або полів, унаслідок якої тіло набуває прискорення або змінює свої форму та розміри.

Другий закон Ньютона

Прискорення, якого набуває матеріальна точка (тіло), пропорційне до сили, що його викликає, збігається з нею за напрямом і обернено пропорційне масі матеріальної точки (тіла).

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

М'яч набуває прискорення під час удару.

У механіці велике значення має принцип незалежності дії сил: якщо на матеріальну точку діє одночасно декілька сил, то кожна із цих сил надає матеріальній точці прискорення відповідно до другого закону Ньютона, нібито інших сил і не було. Відповідно до цього принципу, сили та прискорення можна розкласти на складові, використання яких приводить до суттєвого спрощення рішення задачі про рух тіла під дією кількох сил.

Якщо на матеріальну точку діє одночасно декілька сил, то під F у другому законі Ньютона розуміють результуючу силу.

Удар – це зіткнення двох або більшої кількості тіл, при якому взаємодія триває дуже короткий час. Виходячи із цього визначення, прикладом є удар по м'ячу.

Удар – це дія одного тіла на інше з певною силою, від напрямку, точки прикладання та величини якої залежить траєкторія польоту м'яча.

«Сухий лист» – нависний удар з обертанням м'яча та викривленою траєкторією польоту його руху в горизонтальній або вертикальній площині в результаті обертання. Такий удар просто феноменально виконував Валерій Лобановський. Навіть журналіст А. Галинський, який завжди неприязно ставився до спортсмена, вимушений був визнати: «Суть корнера Лобановського полягала у поєднанні удару величезної сили, який досягався за допомогою спринтерської швидкості дальнього розбігу та віртуозної підрізки м'яча. У кінцевому підсумку м'яч падав, наче «сухий лист», в одній точці» [4; с. 42]. У своїх «фірмових» кутових Лобановський використовував «ефект Магнуса», згідно з яким тіло, що обертається, відхиляється від прямолінійного руху. Футболіст за допомогою формул розраховував швидкість розбігу, точку прикладання удару по м'ячу та його силу, а потім довів виконання кутового до автоматизму, сотні разів відпрацьовуючи удар на тренуваннях.

Ефект Магнуса полягає в тому, що на м'яч, який обертається навколо вертикальної осі, під час польоту у повітрі діє горизонтальна сила, яка відхиляє його в сторону. «Ця сила обумовлена різницею тисків із двох боків м'яча: з того боку, який при обертанні рухається назустріч потоку, тиск виявляється більшим, ніж із протилежного» [5; с. 203].

Третій закон Ньютона

Взаємодія між матеріальними точками (тілами) визначається третім законом Ньютона. Будь-яка дія матеріальних точок (тіл) одна на одну має характер взаємодії, тобто сили, з якими діють тіла одне на одне, завжди однакові за модулем, протилежно спрямовані й діють уздовж прямої, що з'єднує центри тіл.

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$$

Ці сили прикладені до різних матеріальних точок (тіл), завжди діють парами і є силами однієї природи.

Приклад прояву третього закону Ньютона – взаємодія футболістів під час зіткнення та взаємодія гравців із м'ячем, коли кожне тіло набуває свого прискорення.

При використанні законів динаміки іноді припускаються помилки: оскільки сила, що діє, завжди викликає рівнозначну за модулями і протилежно спрямовану силу протидії, то їх рівнодійна сила повинна дорівнювати нулю і тіла взагалі не отримують прискорення. При цьому слід пам'ятати, що в другому законі Ньютона мова йде про прискорення, яке набуває тілом під дією прикладених до нього сил. Якщо прискорення дорівнює нулю, це означає, що нулю дорівнює й

рівнодійна всіх прикладених до тіла сил. Третій же закон Ньютона говорить про рівність сил, прикладених до різних тіл. На кожне з двох тіл, що взаємодіють, діє тільки одна сила, яка і надає цим тілам прискорення.

Рух м'яча під дією сили тяжіння

Сила тяжіння – це сила, що діє на будь-яку матеріальну точку (тіло), яка знаходиться поблизу земної поверхні, і визначається як геометрична сума сил: сили притягання Землі і доцентрової сили енергії, що враховує ефект добового обертання Землі. Спостереження дають змогу зробити висновок, що тіло, яке не має опори, падає на Землю.

Коли м'ячу надана початкова швидкість, можна розглядати декілька варіантів його польоту.

1. Швидкість спрямована під кутом до горизонту. Прикладом може бути вибивання м'яча за середину поля. Часто отримують мати справу з рухом тіл, що отримують початкову швидкість не паралельно до сили тяжіння, а під деяким кутом до неї. Коли футболіст б'є по м'ячу, він надає саме таку швидкість.

Як у цьому разі рухається тіло? Будемо вважати, що повітря не взаємодіє з тілом.

Траєкторією польоту м'яча є парабола. Якщо знехтувати впливом повітря на рух м'яча, то на м'яч, кинутий під кутом до горизонту, як і на тіло, що вільно падає, або на тіло, що отримало початкову швидкість, спрямовану вертикально, діє тільки сила тяжіння. Хоч би як тіло не рухалося, сила тяжіння може надати йому тільки прискорення g , спрямоване вниз. Цим визначаються і траєкторія руху тіла, і характер його руху.

Для розв'язування фізичної задачі щодо цього явища візьмімо за початок відліку координат точку, із якої кинуте тіло, а за початок відліку часу – момент кидання. Вісь x спрямуємо горизонтально, а вісь y – вертикально вгору. На рис.1 бачимо, що проекція вектора

$$\vec{v}_0 \text{ на осі } x \text{ і } y$$

відповідно дорівнюють:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha; \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

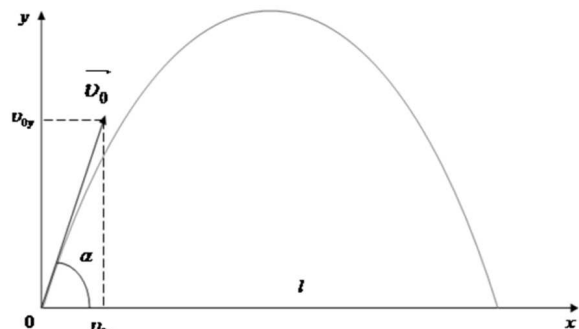


Рис. 1. Траєкторія руху тіла, кинутого під кутом горизонту

Оскільки на тіло діє сила тяжіння, то під час руху тіла змінюватиметься тільки проекція v_{0y} , а проекція v_{0x} – ні.

Тому координата x тіла з плином часу змінюється так само, як у прямолінійному рівномірному русі:

$$x = v_{0x}t. \quad (1)$$

Координата y змінюється так само, як у прямолінійному рівноприскореному русі:

$$y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}. \quad (2)$$

Щоб знайти траєкторію руху тіла, треба підставити в рівняння (1) і (2) значення часу t , які послідовно збільшуються, і обчислити координати x і y для кожного значення t , якщо відомі значення модуля початкової швидкості v_0 і кута α .

За знайденими значеннями x і y наносимо точки, що зображують послідовні положення тіла. Сполучаючи їх плавною кривою, отримуємо траєкторію руху тіла. Вона буде подібна до тієї, що зображена на рис.1.

Час польоту можна визначити так:

$$t_{\text{пльоту}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g},$$

тоді дальність польоту може бути знайдена за формулою:

$$l = x_{\text{max}} = v_0 \cos \alpha \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Звідси бачимо, що дальність l буде найбільша, коли $\sin 2\alpha = 1$.

Це означає, що $2\alpha = 90^\circ$ і $\alpha = 45^\circ$ [2; с. 109].

2. М'яч можна кинути й так, що його початкова швидкість буде спрямована горизонтально, як у випадку відбивання м'яча головою з льоту. Дальність польоту тоді залежатиме тільки від висоти, тобто зросту футболіста, та швидкості, наданої м'ячу:

$$x = l = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad [2; \text{с. 107}].$$

І траєкторія польоту в цьому випадку нагадує гілку параболи.

Сила тертя

Відомо, що будь-яке тіло, яке рухається поверхнею іншого тіла, при відсутності дії на нього інших тіл із часом сповільнює свій рух і нарешті зупиняється. Це пояснює сила тертя, яка заважає руху тіл, що стикаються і рухаються одне відносно одного. Сили тертя залежать від швидкостей тіл. Вони можуть бути різної

природи, але внаслідок їх дії механічна енергія завжди перетворюється на внутрішню енергію тіл, що стикаються.

М'яч під час польоту з великою швидкістю взаємодіє з частинками повітря. Тому для того, щоб ним легко було керувати і бути впевненим у точності свого удару, треба зменшити вплив тертя на політ м'яча. Для зменшення сили тертя м'яч повинен мати форму ідеальної кулі й рівну поверхню.



Рис. 2. М'яч "Танго 12"

Офіційним м'ячем чемпіонату Європи 2012 року з футболу в Україні та Польщі називають м'яч "Танго 12", який виготовлено технічним партнером УЄФА – компанією «Adidas» за новою безшовною технологією, на розробку якої пішло чотири роки. Капітан збірної Англії Девід Бекхем говорив: "Найголовніше для мене бути впевненим у м'ячі, знати, що він полетить туди, куди я його спрямую. Я відчув, що точність моїх кутових ударів, передач і вільних ударів значно покращилась. Я впевнений, що гра з таким чудовим м'ячем тільки додасть динаміки та видовищності, а воротарі змушені будуть працювати більше, ніж раніше" [3; с. 15].

На сучасному етапі технології виготовлення футбольних м'ячів постійно вдосконалюються, ураховуються всі вимоги та побажання спортсменів. На ігрові якості м'яча впливає й сила пружності, що виникає при його деформації, тому тиск повітря всередині камери футбольного м'яча повинен мати певне значення (0,7–1 атм.).

Після гри прийнято здувати камеру, щоб зменшити тиск всередині неї і цим зменшити навантаження на шви та панелі м'яча.

Закон збереження імпульсу

Імпульсом тіла називається добуток маси тіла на його швидкість:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Векторна сума імпульсів тіл, які утворюють замкнуту (ізолювану) систему, залишається сталою під час будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою:

$$p = \sum_{i=1}^n m_i v_i = const.$$

Гравця з м'ячем можна вважати замкненою системою тіл, на яку не діють зовнішні сили. Якщо ми маємо механічну систему, що складається з кількох тіл,

то, відповідно до третього закону Ньютона, сили, що діють між тілами, будуть рівними та протилежно спрямованими, тобто геометрична сума внутрішніх сил дорівнює нулю.

Закон збереження імпульсу виявляється під час будь-якої взаємодії футболіста з м'ячем. Імпульс, або певну кількість руху, отримують і гравець, і м'яч. Така взаємодія називається пружним ударом. Однак, ураховуючи, що маса футболіста значно перевищує масу м'яча, то більшої швидкості набуває м'яч. Для надання м'ячу ще більшої швидкості, наприклад, при виконанні кутового, футболіст набігає на м'яч, виконує удар з льоту.

Під час гри можна також спостерігати різні зіткнення гравців, які рухаються з певними швидкостями з метою оволодіння м'ячем, і результатом такого зіткнення може бути їх спільний рух, як у випадку із непружним ударом.

Механічна енергія

М'яч, що піднімається на певну висоту над поверхнею Землі, падаючи вниз, може виконати роботу, отже, система «м'яч – Земля» має енергію. Енергія, яка залежить від розміщення тіл, називається потенціальною.

$$E_k = mgh.$$

Під час удару м'яч пружно деформується, і ми маємо справу знову з потенціальною енергією, оскільки вона залежить від взаємного розміщення частин м'яча.

Енергію, яку має м'яч під час руху, називають кінетичною.

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

М'яч може одночасно мати і потенціальну, і кінетичну енергію. Під час руху та взаємодії з гравцями кінетична енергія м'яча може перетворюватися на потенціальну і навпаки. При цьому справджується закон збереження енергії. Повна механічна енергія замкненої системи тіл, які взаємодіють силами тяжіння та пружності, залишається незмінною. Усередині системи енергія може лише переходити від одного тіла до іншого чи перетворюватися з одного виду на інший.

Відносність руху

Положення тіла у просторі завжди задають відносно якогось іншого тіла – тіла відліку. Із цим тілом пов'язують систему координат, і положення тіла задають його координатами.

Але за тіло відліку можна взяти будь-яке тіло і з кожним із них пов'язати систему координат. Тоді положення того самого тіла можна розглядати відносно різних систем відліку. Координати того самого тіла відносно різних тіл відліку

можуть бути різними. Наприклад, положення м'яча на футбольному полі можна встановити, зазначивши, що він знаходиться на відстані L_1 від лівих воріт і на відстані L_2 від правих. При цьому поняття “зліва” та “справа” відносні. Це означає, що положення м'яча відносно, воно відмінне відносно різних систем відліку.

Механічний принцип відносності Галілея полягає в тому, що у всіх інерціальних системах відліку закони класичної динаміки мають однакову форму.

Відносний також і рух м'яча. Відносно одного воротаря м'яч може наблизитися, тоді як відносно іншого віддаляється. Різною буде й швидкість м'яча, що рухається відносно гравців, які пересуваються полем із власними швидкостями. Швидкість м'яча обчислюється за класичним законом додавання швидкостей.

Цікавим є використання закону додавання швидкостей для м'яча, що рухається в різних напрямках відносно Землі. Футболіст надає м'ячу швидкість v_2 . Унаслідок обертання Землі м'яч, перебуваючи ще на її поверхні, має швидкість v_1 , яка дорівнює швидкості цього місця.

Тоді в східному напрямі швидкість м'яча дорівнює

$$v = v_1 + v_2;$$

а в західному –

$$v = v_1 - v_2.$$

Але на полі під час передач м'яча швидкість обертання Землі не враховується.

Висновок

Звичайно, під час гри ніхто з гравців не здійснює розв'язків задач із розрахунку траєкторії польоту м'яча, величини та напрямку наданої м'ячу швидкості, бо правильність і точність удару відпрацьовується під час тренування, а на полі під час матчу розігрується та чи інша комбінація залежно від ситуації. Однак футбол, як доводить досвід видатних спортсменів, – гра не тільки атлетична, а й інтелектуальна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М.: «Высшая школа», 1990. – 479 с.
2. Бар'яхтар В. Г. Фізика. 10 клас. Академічний рівень : підручник для загальноосвіт. навч. закладів / В. Г. Бар'яхтар. – Харків : «Ранок», 2010. – 256 с.
3. Малов В. И. Сто великих футболистов / В. И. Малов. – М.: «ВЕЧЕ», 2004. – 428 с.
4. Очкурова О. О. 50 знаменитых спортсменов Украины / О. О. Очкуров. – Харьков : «Фолио», 2004. – 288 с.
5. Уокер Дж. Физический фейерверк / Дж. Уокер. – М.: «Мир», 1979. – 288 с.
6. Климов Е. А. Введение в психологию труда : учебник для ВУЗов / Е. А. Климов. – М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1998. – 347 с.

Цитувати: Кривчун С. Б. Фізика у футболі / С. Б. Кривчун // Постметодика. – 2014. – № 2. – С. 43 – 47.

© С. Б. Кривчун, 2014. Стаття надійшла в редакцію 23.02.2014 ■